



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
FACULTAD DE METALURGIA – ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA

Disponibilidad técnica para equipos de excavación – carga de mineral laterítico

Tesis en opción al Título de Máster en Electromecánica

Autor: Ing. Marlo Leyva Tarafa

Moa, 2018



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
FACULTAD DE METALURGIA – ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA

Disponibilidad técnica para equipos de excavación – carga de mineral laterítico

Tesis en opción al Título de Máster en Electromecánica

Autor: Ing. Marlo Leyva Tarafa

Tutor(es): Prof. Asist. María Isabel García De la Cruz, Dr. C.

Prof. Aux. Jorge Luis Reyes De la Cruz, Ms. C.

Moa, 2018

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD:

Yo: Ing. Marlo Leyva Tarafa

Autor de esta tesis de maestría, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Ing. Marlo Leyva Tarafa

Dr. C. María Isabel García de la Cruz.

Ms. C. Jorge Luis Reyes De la Cruz

Agradecimientos

A mi madre y a mi difunta abuela por haberme criado con la personalidad que tengo.

A mi tutores, María Isabel García de la Cruz y Jorge Reyes de la Cruz.

A mis profesores de la edición, en especial a Tomás Fernández e Isnel Rodríguez, a todos mis compañeros de trabajo en el departamento de Ingeniería

A mi novia Mailiet M. Guilarte Breff, a mis hermanos Anderson y Taimi, a mí cuñada Daikelin y a su hija bella, mi muñequita Isabella, a mis amigos del barrio y del centro.

A mis diplomantes y a mi hijo Arlindo y los otros muchachos extranjeros que se han preocupado por mí.

A mis compañeros en especial a Dioelis Guerra y Jose A. Alayo, a Melba la doctora, a los muchachos y mis jugadores del futbol Orleidis, el Lucky a mis amistades del ISMMM y Yurisley por su preocupación y cooperación.

A la Revolución Cubana y al ISMMM por haberme formado y darme la oportunidad de realizarme como profesional

Temiendo que alguien quede olvidado, doy las gracias de corazón a todas las personas que de una forma u otra, han aportado su grano de arena para la realización de este trabajo en especial para mi formación como profesional.

DEDICATORIA

Es difícil nombrar en un pedazo de papel a todos los de una forma u otra, merecen una dedicatoria. Cuando se desea dedicar algo, siempre se piensa en las personas más cercanas a uno, en aquel que siempre te aconsejando, te proporciono momentos que se quedan plasmados para siempre en la memoria. Por esto yo les dedico desde lo más profundo de mi corazón este trabajo:

A mi abuela Calixta, a mi madre Isabel y a mi hermanito Anderson.

Resumen

En este trabajo, se estableció la vinculación de la disponibilidad con los indicadores de rendimiento como la productividad, el rendimiento y la eficiencia del equipamiento de excavación – carga que labora en el frente de carga de la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante “Ernesto Che Guevara”. Determinado el ciclo de trabajo promedio del equipo durante los trabajos de extracción y escombreo, se evidenció que no existe una diferencia significativa entre 2,83 min y 2,86 min para el llenado del vehículo de carga del material. Se determinó que para un tiempo medio de trabajo de 820,90 horas se garantiza una productividad de 82,48 t/h en las labores generales en el frente de carga, un promedio de 80,5 t/h en la extracción y en el escombreo de 73 m³/h; según los modelos estadísticos. Se obtiene un rendimiento general de 87,47 % y la eficiencia productiva de 94 %, teniendo en cuenta que la horas disponibles del equipo fueron 8 233 y un total de 527 horas para el mantenimiento. Se establece el modelo estadístico obtenido por la distribución de Weibull $Disponibilidad\ técnica = 28,537 \cdot Tiempo\ Medio\ entre\ Fallas - 176,43$ que describe la relación entre la disponibilidad técnica y los tiempos medio entre fallas, obteniéndose mediante este modelo una disponibilidad 97,04 %. Finalmente, se evaluó el impacto económico y ambiental del equipo durante el laboreo minero en el frente de carga.

Summary

In this work, the link between availability and performance indicators was established, such as the productivity, performance and efficiency of the excavation equipment - load that works on the cargo front of the Basic Mining Unit of the company Comandante "Ernesto Che Guevara". Determining the average work cycle of the equipment during the extraction and scrap work, it was evidenced that there is no significant difference between 2,83 min and 2,86 min for the filling of the material loading vehicle. It was determined that for an average working time of 820,90 hours a productivity of 82.48 t/h is guaranteed in the general work on the load front, an average of 80,5 t/h in the extraction and in the waste of 73 m³/h; according to the statistical models. There is a general performance of 87.47 % and the productive efficiency of 94 %, taking into account that the available hours of the equipment were 8 233 and a total of 527 hours for maintenance. The statistical model obtained by the Weibull distribution $Technical\ availability = 28,537 \cdot Mean\ Time\ Between\ Faults - 176,43$ is established, which describes the relationship between technical availability and mean times between failures, obtaining 97.04% availability through this model. Finally, the economic and environmental impact of the equipment during the mining work on the cargo front was evaluated.

TABLA DE CONTENIDOS

SÍNTESIS

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCERNIENTE A LOS EQUIPOS DE EXCAVACIÓN – CARGA Y LAS FORMAS DE EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS LATERÍTICOS	4
1.1. Introducción.....	4
1.2. Caracterización del proceso productivo de la Unidad Básica.....	4
1.2.1. Arranque y carga de mineral.....	5
1.3. Equipamiento minero y de transporte.....	6
1.4. Influencia de las propiedades físico-mecánicas de las menas lateríticas mullidas....	7
1.5. Características generales e indicadores tecnológicos o de explotación técnica de los equipos.....	10
1.5.1. Campo de aplicación de las retroexcavadoras hidráulicas.....	12
1.5.2. Consideraciones sobre los regímenes de explotación técnica de los equipos de excavación – carga.....	12
1.5.3. Normación y medición del trabajo de los equipos de excavación – carga.....	13
1.6. Fiabilidad de los equipos en los equipos de transporte y carga de mineral.....	14
1.6.1. Objetivo de la fiabilidad en los equipos de excavación – carga.....	15
1.7. Indicadores de rendimiento: productividad e índices de fiabilidad de los equipos...18	
1.7.1. Productividad de los equipos mineros.....	20
1.7.2. Disponibilidad de los equipos de los equipos de excavación – carga.....	21
1.7.2.1. Importancia de la disponibilidad en los equipos de excavación – carga.....	22
1.7.2.2. Principales factores a tener en cuenta para el cálculo de la disponibilidad.....	23
1.8. Mantenibilidad de los equipos de excavación – carga.....	24
1.9. Conclusiones del capítulo 1.....	26
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS DE ENSAYOS EMPLEADOS	27
2.1. Introducción.....	27
2.2. Descripción de los instrumentos y el material utilizado.....	27
2.3. Explotación técnica del equipamiento de excavación-carga.....	28
2.4. Diseño de experimentos.....	29
2.5. Formulación de la secuencia estadística.....	30

2.5.1. Procedimiento para la realización de la normación de las operaciones de los equipos de excavación – carga.....	34
2.5.2. Prueba de hipótesis para la comprobación del ciclo de trabajo en las operaciones mineras para muestras diferentes.....	37
2.5.3. Prueba de hipótesis para muestras en diferentes valores de humedad.....	38
2.6. Indicadores de fiabilidad.....	39
2.6.1. Mantenibilidad.....	40
2.6.2. Tiempo promedio entre falla (TPEF).....	41
2.6.3. Distribución Weibull.....	43
2.6.4. Disponibilidad técnica.....	45
2.7. Cálculo de los indicadores productivos y parámetros tecnológicos de los equipos de excavación.....	46
2.7.1. Determinación de la cantidad de ciclos de llenado, volumen productivo y productividad de los equipos.....	47
2.8. Determinación de los indicadores de rendimiento de los equipos de excavación – carga.....	48
2.8.1. Rendimiento nominal.....	49
2.8.2. Rendimiento real.....	49
2.9. Conclusiones parciales del capítulo 2.....	52
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	53
3.1. Introducción.....	53
3.2. Comportamiento del equipamiento de excavación – carga.....	53
3.2.1. Afectaciones presentadas en los equipos marca XCMG modelo XE – 700.....	54
3.3. Normación de los equipos de excavación – carga en las labores de minería y escombreo.....	54
3.3.1. Resultados de la comprobación del ciclo de trabajo en las operaciones mineras para muestras diferentes.....	56
3.4. Relación entre los índices de la fiabilidad.....	61
3.4.1. Determinación de la disponibilidad técnica del equipamiento en las diferentes actividades del laboreo minero.....	64
3.5. Indicadores productivos del equipamiento de excavación – carga.....	70
3.6. Relación entre la disponibilidad técnica y la productividad del equipamiento en las diferentes labores en la minería.....	70

3.7. Parámetros tecnológicos e indicadores de rendimiento del equipamiento de excavación – carga.....	75
3.8. Valoración económica.....	77
3.9. Impacto medio ambiental.....	80
3.10. Conclusiones del capítulo 3.....	81
CONCLUSIONES GENERALES.....	82
RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

INTRODUCCIÓN

En las minas de producción continua, los equipos mineros, se encuentran sometidos a explotación, que afecta de cierta manera a su estado técnico y en varias ocasiones originan averías que interrumpen el ciclo productivo y afectaciones en el suministro de mineral a la planta productora.

La explotación de los equipos mineros en la empresa productora “Comandante Ernesto Che Guevara” forma parte del proceso productivo de la industria, pero es de vital importancia el cumplimiento racional de los indicadores de rendimiento, donde radica la necesidad de optimizar el funcionamiento de estos; para elevar la eficiencia y productividad, con niveles de disponibilidad técnica establecidos.

Actualmente el equipamiento minero de arranque – carga de la Unidad Básica Minera de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” (UBMECG) se ha modernizado con el objetivo de ahorrar portadores energéticos; así como lograr las disponibilidades racionales partiendo de los niveles de utilización de los equipos para contribuir con los indicadores de rendimiento y de esta manera elevar la productividad.

Los diferentes indicadores de rendimiento y las características de explotación técnica de estos equipos se encuentran certificados mediante los catálogos de los fabricantes, donde los mismos se encuentran generalizados y no tienen en cuenta los factores de explotación a partir de las características físico – mecánicas de las menas y las condiciones de explotación en el área de extracción, además del ambiente general de los yacimientos, por tanto es de vital importancia establecer estos indicadores a partir de las condiciones reales de explotación teniendo en cuenta las condiciones de los yacimientos lateríticos donde se utiliza el equipamiento.

Situación problemática

En la Unidad Básica Minera de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” (UBMECG), la explotación del equipamiento de excavación – carga se rige por los parámetros técnicos – productivos e indicadores de explotación que regulan el funcionamiento de los mismos; la utilización y desempeño se encuentran planificados, pero no se encuentran acorde con las condiciones de explotación de los yacimientos lateríticos, por tanto durante el proceso productivo ocurren frecuentes averías, además

de las interrupciones debidas por mantenimiento planificado que disminuyen la disponibilidad técnica y el resto de los indicadores de rendimiento que influye directamente en la disminución de la productividad y la eficiencia del equipamiento. Aunque existen piezas de repuesto e insumos mínimos, aún es insuficiente para mantener el nivel de fiabilidad de las partes y piezas que componen las maquinarias mineras. Con el personal que allí labora, no existe un cumplimiento a cabalidad de los parámetros tecnológicos – productivos ya que no cumplen con los tiempos del ciclo de trabajo de los equipos; situación que afecta directamente a la productividad y a los costos asociados al mantenimiento, además del cumplimiento en la producción de la Unidad Básica Minera.

Problema

¿Es posible demostrar la vinculación de la disponibilidad técnica de los equipos de excavación – carga con la productividad, eficiencia y rendimiento general para la certificación del cumplimiento de las actividades mineras acorde con las condiciones reales de explotación en los yacimientos lateríticos de la Unidad Básica Minera empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”?

Objeto de investigación

Equipamiento de excavación – carga.

Objetivo general

Determinar los valores de los indicadores, productividad, rendimiento general y eficiencia, para la vinculación de estos con la disponibilidad técnica acorde a las condiciones reales de explotación en los yacimientos lateríticos.

Campo de acción

Disponibilidad técnica del equipo de excavación – carga en función de los indicadores de rendimiento.

Hipótesis

Al calcular la disponibilidad técnica del equipo de excavación – carga se podrá determinar los valores de la eficiencia, rendimiento general y productividad, para certificar el desarrollo de las actividades mineras teniendo en cuenta las condiciones de

explotación de los yacimientos lateríticos que explota la Unidad Básica Minera de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el equipo minero de excavación – carga para el cálculo de la productividad y el régimen de trabajo de los mismos a partir de las condiciones de explotación y las características físico – mecánicas del mineral laterítico.
2. Determinar la disponibilidad técnica del equipo de excavación – carga para la vinculación con los indicadores de rendimiento.
3. Fundamentar los resultados obtenidos del comportamiento de la variable que define la disponibilidad técnica del equipo de excavación – carga.

Para desarrollar los objetivos específicos se planificó el **sistema de tareas** siguiente:

1. Establecimiento del estado del arte en relación al equipo de excavación – carga.
2. Planificación de la experimentación donde se considere las variables para el proceso de modelación y análisis estadístico de las mismas en relación a la disponibilidad y los diferentes indicadores de rendimiento.
3. Análisis de los resultados relacionados con la disponibilidad técnica y su relación con los indicadores de rendimiento, productividad y eficiencia de los equipos.
4. Fundamentación de los resultados derivados del análisis estadístico así como de la modelación de las variables empleadas para la obtención de la disponibilidad técnica de los equipos.
5. Análisis económico e impacto medio ambiental.

CAPÍTULO1

MARCO TEÓRICO CONCERNIENTE A LOS EQUIPOS DE EXCAVACIÓN – CARGA Y LAS FORMAS DE EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS LATERÍTICOS

1. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1. Introducción

El proceso de extracción del mineral es el elemento básico en el proceso productivo de las empresas cubanas del níquel, donde el conjunto retroexcavadora – camión es el eslabón fundamental dentro de este sistema. El desarrollo de las máquinas de excavación va encaminado a realizar las principales labores mineras (extracción, escombreo); por tanto su desempeño es importante, donde se tienen en cuenta los principales parámetros tecnológicos e indicadores de rendimiento de estos equipos durante el desarrollo de los trabajos.

En tal sentido y según lo expresado el objetivo que se persigue es exponer los fundamentos teóricos acerca de la utilización de los equipos de excavación – carga que se emplean en la extracción y transporte del mineral en la Unidad Básica Minera de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” (UBMECG), además de los parámetros tecnológicos, indicadores de rendimiento y los índices de fiabilidad durante la realización del laboreo minero.

1.2. Caracterización del proceso productivo de la Unidad Básica

La Unidad Básica Minera de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” (UBMECG) está destinada fundamentalmente a suministrar la materia prima mineral a la empresa productora de níquel + cobalto que lleva el mismo nombre, que cuenta con una tecnología basada en la lixiviación carbonato amoniacal del mineral reducido o proceso Carón.

La actividad fundamental que se desarrolla en la mina es la extracción y transporte del mineral, por tanto todos los trabajos mineros están encaminados a que se realice exitosamente, dicha actividad debe garantizar las exigencias del proceso industrial y las condiciones naturales del yacimiento, por lo que se precisa de depósitos, donde se homogeniza los volúmenes y la calidad del mineral, procedente de los frentes de minería.

El proceso de extracción y carga se realiza con excavadoras dragalinas de 3 m³ y 5 m³ de capacidad, retroexcavadoras hidráulicas de hasta 6,2 m³ y el transporte con

camiones articulados de 40 t. En los depósitos además de estos equipos se utilizan camiones rígidos de 60 t y cargadores frontales de 4,4 m³ (García, 2013).

En el punto de recepción y trituración el mineral procedente de la mina es depositado 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 mm 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 A y B, el mineral pasa al transportador No.2, el cual mediante el transportador reversible No.3, pasa a los transportadores No.4 A o B, que tienen enlace con los transportadores número 14 y 15, los que trasladan el mineral directo a la fábrica (Justino, 2014).

El modo de explotación aplicado es a cielo abierto, con la utilización de medios mecánicos (excavadora, dragalina, buldócer y camiones de carga y transporte). La apertura es en forma de fosa en toda el área de explotación a lo largo de la rampa. Es decir, con desbroce principales y el posterior desarrollo de excavaciones secundarias a los diferentes frentes de trabajo (Da Mata, 2017).

En la UBMECG 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 (García, 2008).

La similitud de los ángulos de inclinación del cuerpo mineral y de la superficie del terreno natural posibilita la apertura y ejecución de la minería por cualquier horizonte o por varios a la vez y el desarrollo lo mismo de arriba hacia abajo quede abajo hacia arriba. La altura de los bancos fue diseñada a partir de diferentes análisis realizados de varios perfiles de los yacimientos, así como de los parámetros fundamentales del equipamiento (Lores, 2017).

1.2.1. Arranque y carga de mineral laterítico

En el estudio realizado por Santiago (2012) aborda que el proceso de extracción del mineral realizados por los equipos consiste en extraer del suelo natural el mineral para

su posterior transportación al depósito del mineral o el estéril a la escombrera en dependencia del tipo de mena por ley del mineral.

Las dos operaciones (arranque y carga) son realizadas por retroexcavadoras y camiones articulados, que es el elemento básico de mayor factibilidad en el proceso de la minería; en los tiempos planificados pero el autor no hace referencia a las características físico – mecánicas del mineral y su influencia en las operaciones realizadas por los equipos mineros.

El método de carga que se utilizará es el arranque y carga inferior (ver figura 1.1), que permite una disminución sensible en la duración del ciclo de trabajo de ambos equipos y su operación se hace menos compleja.

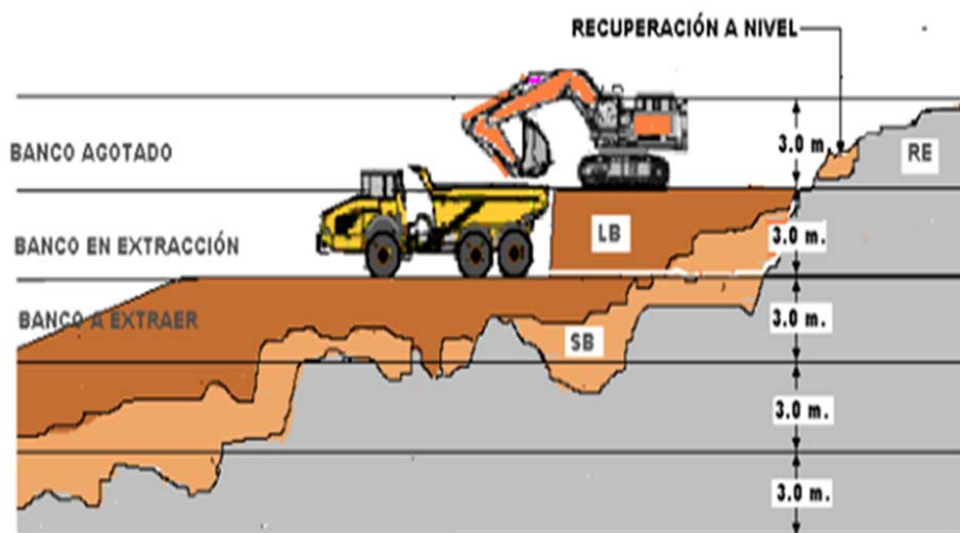


Figura 1.1. Esquema de arranque y carga inferior

Fuente: Proyecto de explotación del yacimiento de Punta Gorda. ECECG.

1.3. Equipamiento minero y de transporte

Ortiz *et al.* (2002) aborda el criterio de selección de los equipos de excavación y de acarreo y las principales características que presentan los mismos a partir de las condiciones de explotación en los yacimientos lateríticos, como indicadores específicos de rendimiento se encuentran capacidad de producción, fuerza de excavación, tiempo de ciclo, facilidad del mantenimiento, entre otros; pero el autor no expone la influencia de los indicadores de clase mundial para establecer el mantenimiento y la explotación de los equipos durante el proceso productivo.

Cuba (2012) plantea la utilización de los camiones articulados marca Volvo A40F para el transporte del mineral hacia las escombreras y los depósitos por su capacidad de carga, además del ahorro de combustible en el ciclo de trabajo que desarrolla durante esa actividad, influyendo la distancia de transportación del frente a los puntos de descarga y la velocidad promedio de traslación, aunque no muestra que presenta el ciclo de trabajo en la disponibilidad técnica y en el cumplimiento de los indicadores de rendimiento.

En la investigación realizada por Lores (2017) se expone que el conjunto excavadora – camión desarrolla el proceso de extracción y transporte, y es factible su utilización en los frentes con relieve más accidentados o con pocas complejidades hidrogeológicas y son utilizadas las dragalinas con alcance de 15 y 22 m de profundidad en los frentes de minería con complejidades hidrogeológicas, aunque sin exponer las características del mineral y su adherencia en el cubo durante las labores de extracción .

El autor Oliveros (2015), en su trabajo plantea la relación existente entre los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, consumo energético, de los equipos de transporte de la mena laterítica con las características de los caminos mineros y el coeficiente de agarre de los neumáticos para garantizar el abastecimiento continuo del material a las áreas de producción de la empresa, aunque no expresa el mantenimiento planificado que se debe realizar a partir de la explotación de este equipo.

1.4. Influencia de las propiedades físico-mecánicas de las menas lateríticas mullidas

En la investigación realizada por Mediaceja (2007) se aborda el grado de intemperización que presenta la roca que facilita a la protección contra el agrietamiento, la estabilidad desde el punto de vista ingeniero – geológico, por su dureza y solidez; pero no aborda la influencia de las características en los indicadores de explotación del equipamiento de extracción y transporte.

En el trabajo elaborado por Oliveros (2015) acerca de las propiedades del material y las características físico – mecánicas de las menas. La influencia de la adherencia de las menas mullidas a la cama del camión provocada por la humedad, que disminuye la

capacidad de carga de los vehículos de transporte luego de realización de varios viajes por la flotilla, aunque no expresa como desarrollar el cálculo de los índices de fiabilidad para establecer un posible plan de mantenimiento para los equipos de transporte.

Es característico que el peso volumétrico de las menas lateríticas varíesignificativamente por tipo litológico, lo cual determina que un mismo tipo de mena, al no estar condicionada por tipo antes referido, pueda tener diferente peso endependencia de la zona, sin embargo para los cálculos es comúnmente usado un solo valor de peso volumétrico para cada mena de acuerdo a su yacimiento o sector (Mediaceja, 2007).

En el trabajo de Mandela (2010), explica la influencia de los fluviales en la humedad del terreno de los yacimientos lateríticos y las propiedades físico – mecánicas que presentan las menas mullidas entre las que se pueden encontrar: porosidad (η): es la relación entre el volumen de hueco (V_v) y el volumen total (V). Los medios porosos tienen un valor entre 0 y 1. La porosidad se suele multiplicar por 100, dándose así los valores en porcentajes, pero no explica la dependencia de la misma para el desarrollo de la explotación por parte de los equipos de excavación que laboran en la extracción del mineral.

De igual manera el índice de poros: es el cociente entre el volumen de huecos (V_v), poros o vacíos y el de partículas sólidas (V_s). El índice de poros se expresa en forma decimal.

En el propio trabajo Mandela (2010), aborda que la humedad (w): es el peso de agua (W_w) dividido por el peso de partículas sólidas (W_s) de un elemento de un medio poroso (suelo, roca, residuo). La humedad tiene un valor generalmente entre 0 y 1. También puede expresarse en por ciento al igual que la porosidad, además la humedad natural es un parámetro que es variable en el tiempo. Su comportamiento espacio temporal depende entre otros factores de la composición granulométrica, los índices de poros, agrietamiento, espesores de la capa de suelos, profundidad del manto freático.

En trabajo anterior, se realiza un estudio hidrogeológico de la región de Moa donde se llega a la conclusión de que el nivel freático, contenido de humedad y el grado de saturación de la corteza laterítica y las rocas ultrabásicas es variable en el espacio y en

el tiempo. En la zona de Moa de forma interanual se establecen dos ciclos de variación del nivel freático del agua en las rocas ultrabásicas y el corte laterítico.

Estas fluctuaciones son más suaves en el corte laterítico debido a su alta porosidad, que para el tipo de suelo limo arcilloso que aparece en el área de estudio oscila entre 1,04 y 3,05; para un valor medio de 2,15; lo que confiere un mayor coeficiente de almacenamiento de agua. La subida del nivel freático en profundidad permite el ascenso capilar del agua y con ello el humedecimiento del corte laterítico (capa saprolítica).

Para el material laterítico homogenizado se desconocen las relaciones funcionales entre las propiedades físico-mecánicas que lo caracterizan, tales como humedad, composición granulométrica, ángulo del talud dinámico y esponjamiento. Tampoco son conocidas para este material las relaciones funcionales entre la masa volumétrica y la humedad (Sierra *et al.*, 2009).

Partiendo de que las composiciones mineralógicas son semejantes en los yacimientos lateríticos, la investigación (Sierra *et al.*, 2009) se enfoca al estudio de la relación existente entre la masa volumétrica mullida, la distribución granulométrica, el nivel de humedad de la mena y la influencia de estas dos últimas propiedades en el ángulo del talud de la carga. La investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades físico-mecánicas del mineral laterítico mullido y la relación entre ellas durante su acarreo.

En la propia investigación de Sierra *et al.*, (2009) se explica que el coeficiente de esponjamiento es la relación entre la masa volumétrica compacta y la mullida. Este coeficiente es importante para determinar la productividad a partir de conocer el volumen de la mena en el macizo. Si se desconoce la masa volumétrica compacta (antes de remover la mena) el coeficiente es determinado mediante el procedimiento: se extrae con la cuchara de una excavadora una cantidad determinada de mena del frente de explotación, luego se mide el volumen de la cavidad resultante (V_2) de la extracción.

Este material se deposita en una superficie definida y se procede a medir el volumen de la pila formada (V_1) de mena mullida. La relación existente entre los volúmenes V_1 y V_2 , se obtiene el coeficiente de esponjamiento, sin embargo no se establecen los cálculos para los indicadores de explotación y como los mismos se comportan a partir de la disponibilidad técnica que presenta el equipamiento.

En la propia investigación de Mediaceja (2007) y Sierra *et al.*, (2009) el valor medio anual de humedad en la mena laterítica es de 36 %.

En los estudios de Otaño (1981) se expone que el material con un mismo nivel de humedad tiene la misma distribución granulométrica. En consecuencia la masa volumétrica mullida depende de la distribución granulométrica y de los niveles de humedad que presente el material.

Según los estudios de Mediaceja (2007) los valores del material estéril y del mineral que se extrae en los yacimientos explotación de la UBMECG, se exponen en la tabla 1.1, a partir de las características de densidad, coeficiente de esponjamiento y su relación con la humedad natural.

Tabla 1.1. Algunas propiedades del mineral y estéril.

Material	Densidad (t/m ³)	Coeficiente de esponjamiento	Humedad (%)
Mineral	1,05	1,35	36
Estéril	1,05	1,37	36

Aunque los autores relacionan el estudio de la composición y las características del mineral no se abordan la influencia de estos aspectos en los indicadores de explotación como la productividad, eficiencia y producción de los equipos; además de la incidencia en la disponibilidad técnica a partir de la ocurrencia de fallas por el no cumplimiento del ciclo de trabajo y los errores en la operación durante la extracción del mineral en los niveles de alta humedad del yacimiento.

1.5. Características generales e indicadores de explotación técnica de los equipos

Sierra (2005) en su trabajo expone que los parámetros de explotación de los equipos (rendimiento, capacidad, tiempo de trabajo, productividad), son los indicadores fundamentales para determinar lo relacionado con la eficiencia y el rendimiento de los equipos, que los mismos aunque se expresen y se encuentren determinados por los catálogos de los fabricantes se deben de adaptar según las condiciones de explotación de estos equipos, estas cuestiones no se encuentran relacionadas con la utilización y la disponibilidad que deben de presentar estos equipos para cumplir con los parámetros de explotación.

Marsillí *et al.*, (2011); expresa que es necesario la evaluación de los indicadores de explotación de los equipos que participan en las operaciones mineras partiendo de una evaluación del aprovechamiento, iniciando por el ciclo de trabajo y la realización de fotografías para relacionar la efectividad con las fallas de las operaciones, y con estos conocer la fiabilidad de las operaciones ejecutadas por los equipos mineros, aunque no tiene en cuenta las condiciones del yacimiento y los aspectos relacionados con las características físico – mecánicas del mineral.

La evaluación de los tiempos de paradas y los tiempos para la ejecución de los trabajos, además de la capacidad de producción para realizar los diagnósticos y así conocer los índices de productividad se aborda en la investigación de Méndez (2014), para la evaluación de los equipos de producción en una cantera donde intervienen equipos de extracción – carga, acarreo y de beneficio; donde la operatividad de los parámetros tecnológicos de los equipos repercuten directamente en la producción de la empresa.

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

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

Las capacidades de pala (nominales) de los equipos normados en Cuba oscilan entre: 0,25 m³ y superiores a 6 m³ generalmente, pero los equipos utilizados en la en las empresas del níquel poseen mayor capacidad ya que son empleados en la explotación minera (García, 2013).

Es necesario conocer los movimientos que realizan los equipos de excavación – carga durante el laboreo minero, que no solo efectúan el traslado dentro del área de extracción también los movimientos del brazo, la excavación a la profundidad especificada y la carga del material (Lores, 2017); además de los giros para depositar en el vehículo de acarreo y hacia la posición inicial para los trabajos de excavación; estos movimientos cumplen con un ciclo de trabajo que es necesario de determinar y tabular para conocer el cumplimiento de las especificaciones técnicas (Da Mata, 2017).

Aunque los autores expresan los aspectos relacionados con los indicadores de explotación técnica y de rendimiento de los equipos, no se evidencia la vinculación directa que existe con la ocurrencia de fallas por la incorrecta operación o la sobre explotación del equipamiento que influye directamente con la disponibilidad técnica y el resto de los índices de fiabilidad.

1.5.1. Campo de aplicación de las retroexcavadoras hidráulicas

Las retroexcavadoras son empleadas en la realización de diferentes trabajos como: zanjas (para cimientos corridos, redes hidrosanitarias, con fines para la defensa, para drenaje); fosos de cimientos aisladas y en balsa; excavación y carga de material en canteras o préstamos; dragados y limpieza de sistemas de riego y drenaje, de ríos (García, 2013).

El criterio de selección debe realizarse teniendo presente lo antes planteado así como las características y datos siguientes: volumen de extracción, tipo de terreno, clase de labor a realizar (forma y dimensiones), dimensiones del área de trabajo, posibles obstáculos y vías de acceso (Ortiz *et al.*, 2012).

En los estudios revisados como antecedentes solamente se expone el criterio de selección a partir de las operaciones que deben de realizar los equipos, pero no se tienen en cuenta las incidencias en la disponibilidad técnica, ni el índice de fallas que ocurren en el equipamiento durante el desarrollo de sus actividades.

1.5.2. Consideraciones sobre los regímenes de explotación técnica de los equipos de excavación – carga

El ciclo de trabajo de los equipos de excavación – carga es la operación repetida que se lleva a cabo para la realización de una labor determinada, este es el elemento que caracteriza la funcionabilidad de los mismos, a partir de las funciones que realiza dentro del frente de carga y en depósito de los materiales. Generalmente este ciclo se encuentra dividido en tiempos variables y fijos, según la actividad que realice el equipo en cuestión (Da Mata, 2017).

El propio autor Da Mata (2017) expresa que el funcionamiento del equipo y la medición de su productividad están dados por la cantidad de ciclos de trabajo que se ejecute el

turno de trabajo, por lo que para la medición del mismo se preparan las mediciones para normar el trabajo que realiza en el frente de carga.

Por tanto es necesario la normación y medición del ciclo de trabajo que realizan estos equipos durante las labores de excavación para determinar el comportamiento y cumplimiento de los diferentes indicadores tecnológicos y de explotación.

En el análisis realizado por los autores se exponen la caracterización del ciclo de trabajo de los equipos durante la explotación de los mismos, pero no se muestra su vinculación con los indicadores de rendimiento y con los índices de fiabilidad como la disponibilidad técnica y la mantenibilidad de los equipos.

1.5.3. Normación y medición del trabajo de los equipos de excavación – carga

La normación del tiempo de ciclo de trabajo de los equipos de excavación – carga es utilizada para conocer el comportamiento de la productividad, además de los indicadores que rigen el rendimiento de los mismos en función del tiempo promedio de trabajo.

Cuba (2012) describe la normación del ciclo de trabajo de los vehículos de acarreo que forman parte del eslabón base en la cadena de producción de la mina donde refiere los tiempos que se deben de tener en cuenta para medir la productividad de estos equipos.

Los objetivos específicos de la normación del ciclo de trabajo de los equipos de excavación – carga se exponen en el trabajo de Da Mata (2017), que son determinar: el tiempo para cada una de las operaciones que comprende el proceso de producción, el tiempo de las interrupciones reglamentadas, el tiempo de las interrupciones no reglamentadas, el ciclo de trabajo de las retroexcavadoras, los indicadores técnico – productivos para diferentes trabajos en función del ciclo de trabajo.

Con el conocimiento de la cantidad de ciclos de trabajo que realiza un equipo es posible determinar los principales índices de rendimiento a partir del tiempo de trabajo del mismo, por supuesto con el conocimiento de la fiabilidad de operación que presenta estos equipos durante la ejecución de los trabajos mineros.

1.6. Fiabilidad en los equipos de transporte y carga de mineral

La fiabilidad puede ser definida de forma general como la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo de un tiempo, cuando opera en el entorno para el que ha sido diseñado. Este parámetro se ha tenido en cuenta siempre desde el momento en que se acomete un diseño, y de alguna forma está mediatizado por las condiciones de funcionamiento y el ambiente en que va a ser utilizado el sistema (Augusto, 1999).

Debe observarse que hay cuatro atributos específicos de esta definición. Estos son: (1) probabilidad; (2) un funcionamiento adecuado; (3) calificación con respecto al entorno; y (4) tiempo. Los mismos son importantes para definir el régimen de fiabilidad a partir de explotación de un equipo. La fiabilidad se mide numéricamente mediante la cuota de fallos o tasa de fallos (establecida en el contrato), que es el número de fallos por unidad de tiempo (Shkiliova *et al.*, 2007).

El estudio de la fiabilidad se utiliza en el análisis de data operativa para mantenimiento, mediante la cual es posible conocer el comportamiento de los equipos en operación con el fin de: prever y optimizar el uso de los recursos humanos y necesarios para el mantenimiento, diseñar y/o modificar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas (Cánchica, 2007), (Fabián, 2003), calcular instantes óptimos de situación económica de equipos, establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento a partir de su clasificación (Figueroa *et al.*, 2009).

En la investigación de Cabello (2002), expresa un nuevo enfoque donde se puede mejorar la fiabilidad del diseño durante el ciclo de vida del sistema mediante un rediseño que mejore sus condiciones de mantenimiento. Esta mejora viene dada por el profundo conocimiento que adquiere el mantenedor de dicho sistema, o bien por la variación de los requerimientos que se le exigen teniendo en cuenta las condiciones de explotación

Unas de las vías de mejorar la fiabilidad es acudir a un cambio de ingeniería en el diseño, que se le encomendaría a la oficina técnica de la organización que acomete el mantenimiento del sistema y que, generalmente, estará de acuerdo con los proveedores de los equipos o maquinarias. Esto hace que el mantenedor considere a la fiabilidad desde otro punto de vista dando por conocida la fiabilidad de diseño (Cabello, 2002).

En investigaciones de Augusto (1999), exponen la clasificación general de la fiabilidad en indicadores a partir de la utilización y de las acciones generales del mantenimiento.

Los índices de fiabilidad se descomponen en:

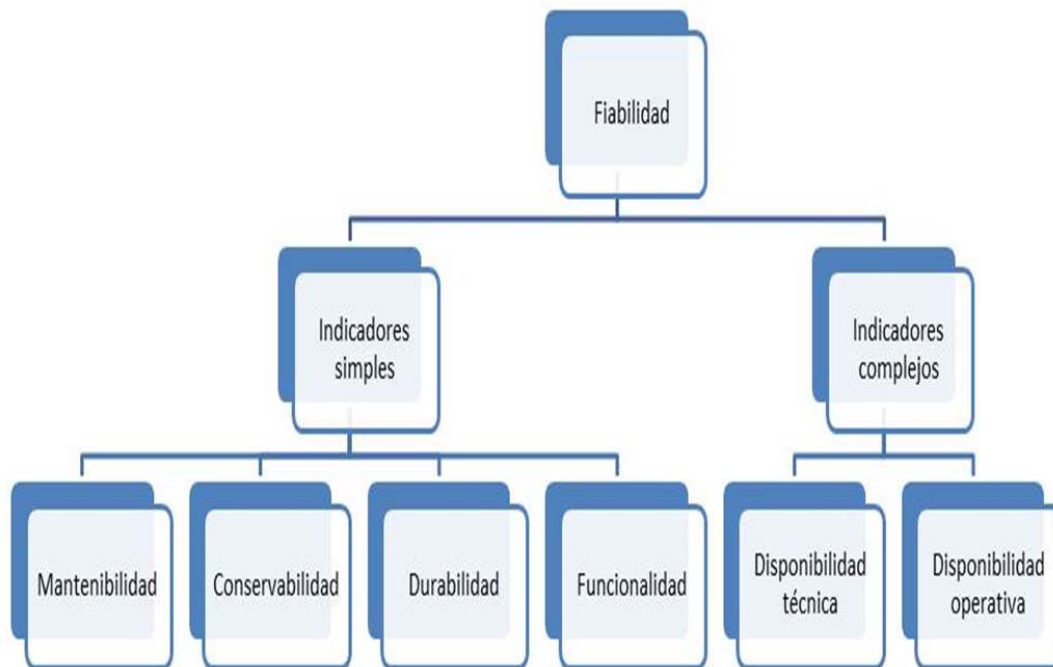


Figura 1.2. Representación esquemática de los índices de fiabilidad.

1.6.1. Objetivo de la fiabilidad en los equipos de excavación - carga

La fiabilidad es un indicador que mide la capacidad de una planta o equipo para cumplir su plan de producción previsto. En una instalación industrial se refiere habitualmente al cumplimiento de la producción planificada, y comprometida en general con clientes internos o externos (Shkiliova *et al.*, 2007). El incumplimiento de este programa de carga puede llegar a acarrear penalizaciones económicas, y de ahí la importancia de medir este valor y tenerlo en cuenta a la hora de diseñar la gestión del mantenimiento de una instalación (Basabe *et al.*, 2009).

En su trabajo Shkiliova *et al.*, (2007); plantea a partir de lo estudiado por Augusto (1999) que para el cálculo de este indicador hay que tener en cuenta los siguientes factores: horas anuales de producción y las horas anuales de parada o reducción de carga debidas exclusivamente a mantenimiento correctivo no programado.

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

Lo planteado por Suniaga (2010), que propone diseñar una estrategia para el sistema de mantenimiento a partir de las horas de trabajo; de igual manera la ejecución de las labores de mantenimiento preventivo y la regulación del correctivo con el objetivo de elevar la fiabilidad de los equipos.

El objetivo de la planificación del mantenimiento es que la productividad y la explotación de los equipos se mantengan acorde con los valores productivos de las empresas, por tanto es necesario gestionar la planificación para el cumplimiento de los objetivos y mantener una fiabilidad y confiabilidad de los equipos durante su explotación.

En sentido general, los equipos o sistemas cumplen con un ciclo de vida útil, desde su puesta en servicio hasta su eliminación o disposición, pasan por tres períodos muy bien definidos y caracterizados, cada uno de ellos, en función a una tasa temporal de fallas determinada. Estas tres etapas se pueden observar en la llamada curva de la bañera, figura 1.3, junto con sus características principales. Dichas etapas son: período de arranque, período de vida útil, período de envejecimiento rápido (Augusto, 1999).

En su trabajo Martínez (2010), expresa que la tasa de fallos van acompañadas por el tiempo de explotación del equipamiento o sistema, donde se encuentran fallo parcial (daño, deterioro): suceso que afecta el estado técnico correcto de un objeto, pero mantiene su capacidad de trabajo, fallo total: suceso que afecta la capacidad de trabajo del objeto.

En el trabajo de Espinosa *et al.*, (2007) se presenta un método de diagnóstico y mejora del mantenimiento basado en los principios de la planificación estratégica, el mismo está compuesto por etapas de: determinación de objetivos, diagnóstico, análisis FODA, elaboración de estrategias, implantación/ejecución y evaluación final, ya que en los momentos actuales se requiere incrementar la producción minimizando costes de índole operacional y de mantenimiento, y partiendo de la premisa: ¿el mantenimiento reduce costes y minimiza paros indeseables en producción?

Un sistema de mantenimiento adecuado es responsable de planificar y ejecutar acciones que permitan trazar, controlar y desarrollar las tareas inherentes a la prolongación y buen funcionamiento de las instalaciones y equipos, permitiendo maximizar la utilización de los recursos disponibles, minimizar los costes por producción diferida, conservando los equipos, garantizando así la continuidad de las operaciones, además de la necesidad de desarrollar un plan flexible, orientado a mejorar la distribución y uso de los recursos, y a disminuir los impactos negativos del entorno, tanto a corto, medio y largo plazo. De ahí la vital importancia de disponer de métodos que permitan diagnosticar la situación en cualquier momento y establecer las acciones de mejora que redunden en disminución de los costes de mantenimiento y operacionales durante el periodo de explotación de los equipos para contribuir a la disminución de los fallos o averías (Espinosa *et al.*, 2007).

La rápida evolución del mantenimiento, que abarca conceptos que van desde el mantenimiento correctivo a la gestión de activos y que ha pasado de ser una actividad de mono azul a otra que maneja herramientas como el “*condition monitoring*” o la gestión del conocimiento. La función básica es colaborar de una forma integrada con toda la compañía para la consecución de los objetivos que tiene la empresa, consiguiendo largos periodos de funcionamiento eficaz de todas las instalaciones, sin averías; y si se presentaran, repararlas de forma rápida y eficiente, alargando el ciclo vital de la instalación en las condiciones óptimas de seguridad y respeto al medio ambiente; y con un coste que sea competitivo (Maza, 2007).

La sucesión de fallos en un equipo viene acompañada del tiempo de operación y los periodos de mantenimiento que deben de tener los equipos según sus operaciones, en la figura 1.3; se representa teóricamente como es el periodo de funcionamiento de los equipos y la ocurrencia de fallos por explotación a partir del tiempo de operación de estos (González, 2006 y Rodríguez, 2007).

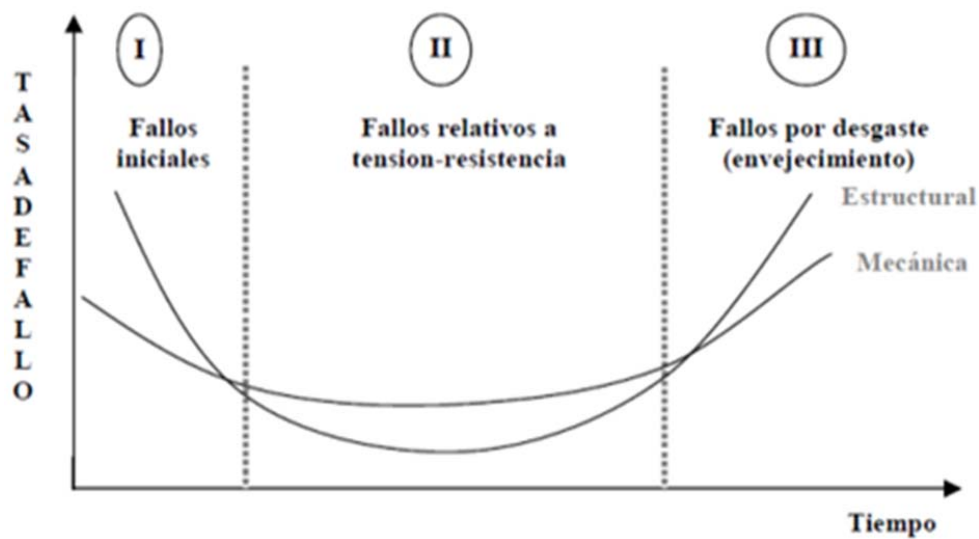


Figura 1.3. Indicadores de la tasas de fallos por tiempo de operación o curva de la bañera.

Fuente: Augusto, 1999.

El funcionamiento y la operacionabilidad de equipos, así como la ocurrencia de fallos que interrumpen la producción influyen directamente en los indicadores técnicos – productivos y de rendimiento de cada uno de los equipos que se encuentren en una línea de producción.

Las investigaciones analizadas con respecto a los índices de fiabilidad abordan lo relacionado como estos índices se utilizan para la gestión y planificación del sistema de mantenimiento a nivel empresarial y de los equipamientos, pero no se exponen los aspectos relacionados con el incumplimiento del régimen de trabajo y de los indicadores de rendimiento.

1.7. Indicadores de rendimiento: productividad, eficiencia e índices de fiabilidadde los equipos

A partir del estudio de Guerra (2012), se puede expresar que la productividad de un equipo indica el número de unidades de trabajo que produce el mismo en una hora. Esto no es una cantidad fija para un equipo dado, sino que depende principalmente de las condiciones de trabajo y de la dirección del mismo así como la destreza del operador, de su persistencia y de la coordinación con las demás fuerzas de construcción.

La mejor productividad que puede esperarse, rígida generalmente por las limitaciones de diseño del equipo, se denomina productividad óptima. Dicha productividad está basada en que el equipo trabaje los 60 min completos de cada hora (Guerra, 2012). Considerando una tolerancia por factor humano al que se denomina factor de eficiencia de trabajo, donde la mayoría de los operadores deben de tomar un descanso aproximadamente cada hora, (Shkiliova *et al.*, 2007).

Existe también otro factor que se denomina factor de dirección de trabajo, para tomar en cuenta las interrupciones de operación del equipo debidas a factores dependientes del trabajo y de la dirección del mismo, (García *et al.*, 2009). La combinación de estos dos factores da un factor de eficiencia general de operación, unas de las cuestiones estudiadas para la realización de las fotografías y la valoración de los tiempos improductivos de los equipos por (Da Mata, 2017 y Santiago, 2012).

La aplicación de la metodología de cálculo para los indicadores de rendimiento es necesaria para el establecimiento de la planificación de la producción y la explotación de los equipos de la unidad básica minera, como expresan los estudios de García (2013), donde los indicadores se determinan a partir del tiempo de trabajo medio de los equipos en los trabajos de la minería.

Los indicadores de rendimiento están directamente asociados a los diferentes índices tecnológicos y de explotación de los equipos según el desarrollo de la actividad minera, fundamentalmente la productividad, el índice de utilización y los diferentes costos; además de los gastos que genera el equipamiento; por supuesto es necesario la dependencia es asociada al sistema de mantenimiento que se establece en los equipos para mantener una fiabilidad adecuada (Guerra, 2012).

Aunque se exponen por los autores los aspectos referidos a los indicadores de rendimiento y la eficiencia que deben de presentar los equipos durante el desarrollo de los trabajos, no se aborda la relación intrínseca que existe con la disponibilidad técnica y los periodos de fallas debido a la sobreexplotación y los errores cometidos por los operarios.

1.7.1. Productividad de los equipos mineros

Santiago (2012), aborda que la productividad es la relación entre la cantidad de productos obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción. También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema.

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

La productividad evalúa la capacidad de un sistema para elaborar los productos que son requeridos y a la vez el grado en que aprovechan los recursos utilizados, es decir, el valor agregado. Una mayor productividad utilizando los mismos recursos o produciendo los mismos bienes o servicios resulta en una mayor rentabilidad para la empresa. Por ello, el sistema de gestión de la calidad trata de aumentar la productividad (García *et al.*, 2013).

La productividad tiene una relación directa con la mejora continua del sistema de gestión de la calidad y gracias a este sistema de calidad se puede prevenir los defectos de calidad del producto y así mejorar los estándares de calidad de la empresa sin que lleguen al usuario final, (Marsillí *et al.*, 2011 y González, 2006). La productividad va en relación con los estándares de producción. Si se mejoran estos estándares, entonces hay un ahorro de recursos que se reflejan en el aumento de la utilidad y proceso (Vidal, 2010).

En la investigación de García *et al.*, (2013) se expone que la productividad aumenta a medida que se planifiquen los tiempos de explotación, es necesario regular los costos de la materia prima y el resto de los costos variables, de esa manera es posible garantizar una eficiencia general de los equipos, que sirve para medir la eficiencia productiva de la maquinaria industrial, cuestión que se refleja en los costos generales de la producción.

En las investigaciones expuestas anteriormente, explica que determinar la eficiencia general como un indicador único es factible porque relaciona el resto de los indicadores de rendimiento, además agrupa los parámetros fundamentales en la producción

industrial como: la disponibilidad técnica, la eficiencia y la calidad de proceso, aunque la forma de determinar los mismos no se exponen claramente en los trabajos analizados.

1.7.2. Disponibilidad de los equipos de los equipos de excavación – carga

En investigaciones como Uzcátegui (2014), García (2013), Augusto (1999), Tamborero (1992), Cabrejos (2012), Lores (2017) expresan que la disponibilidad, objeto principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que se le realiza mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.

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 (Tamborero, 1992).

La disponibilidad se define como la proporción del tiempo que dicho equipo ha estado en disposición de producir, con independencia de que finalmente lo haya hecho o no por razones ajenas a su estado técnico (Sierra, 2004).

En cuanto a la planificación y la estrategia de mantenimiento se expresa, Arapé (2009) y Canchica (2007), el objetivo más importante de mantenimiento es asegurar que la instalación estará en disposición de producir un mínimo de horas determinado del año, para el cumplimiento de la producción (Shkiliova *et al.*, 2007). Es un error pensar que el objetivo de mantenimiento es conseguir la mayor disponibilidad posible (100%) puesto que esto puede llegar a ser muy caro, anti rentable. Conseguir pues el objetivo marcado de disponibilidad con un coste determinado es pues generalmente suficiente (Basabe *et al.*, 2009).

En Lores (2017) y Da Mata (2017) se exhibe que la disponibilidad es un indicador que ofrece muchas posibilidades de cálculo y de interpretación. La definición de la fórmula de cálculo de la disponibilidad tendrá un papel vital para juzgar si el departamento de

mantenimiento de cualquier instalación industrial está realizando su trabajo correctamente o es necesario introducir algún tipo de mejora.

En las investigaciones analizadas se puede constatar que este índice de fiabilidad se expone solamente para la planificación del sistema de mantenimiento y no se demuestra la vinculación con los parámetros de explotación e indicadores de rendimiento.

1.7.2.1. Importancia de la disponibilidad en los equipos de excavación - carga

El indicador disponibilidad técnica 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 (Lores, 2017).

En la investigación de Guerra (2012), se determina que el estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad técnica, el tiempo medio entre fallas (TMEF) y el tiempo promedio para reparar (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 mantenimiento preventivo planificado (MPP), para reducir o regular los tiempos entre fallas y la reducción de los tiempos fuera de servicio; y así combinar dos sistemas de mantenimiento como el correctivo y el preventivo.

En Martínez (2010), 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, de igual manera lo trabaja Da Mata (2017) y Lores (2017) en el estudio de los equipos de excavación – carga para determinar a partir de este indicador de mantenimiento, la eficiencia y la productividad de los equipos, además del ciclo de operación durante las actividades de la minería.

La disponibilidad técnica es un indicador que influye directamente en la productividad y en el rendimiento de los equipos, a partir del tiempo de explotación y en la calidad de realización de los procesos que se realizan en la industria, por supuesto la planificación

de la explotación es un elemento a tener en cuenta para medir los resultados de la calidad, cuestión que no se aborda por parte de los autores analizados.

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

Entre los principales factores que intervienen en el cálculo de la disponibilidad técnica se encuentran las horas: totales de producción, de indisponibilidad total para producir, (Uzcátegui, 2014), que pueden ser debidas a diferentes tipos de actuaciones de mantenimiento para la realización de las intervenciones de mantenimiento: programado que requieran parado el equipo (González, 2006); correctivo programado que requieran parada del equipo, correctivo no programado que detienen la producción de forma inesperada y que por tanto tienen una incidencia en la planificación ya realizada de la producción de energía (Canchica, 2007 y Arapé, 2009), número de horas de indisponibilidad parcial, es decir, número de horas que la planta está en disposición para producir pero con una capacidad inferior a la nominal debido al estado deficiente de una parte de la instalación, que impide que ésta trabaje a plena carga (Guerra, 2012).

En cuanto a los valores aceptables de disponibilidad, muchos tipos de instalaciones industriales, consiguen objetivos de disponibilidad superiores al 92% de forma sostenida (un año o varios puede obtenerse, pero no de forma continuada) es un objetivo bastante ambiciosos (Basabe *et al.*, 2009), siempre que se calcule de acuerdo con la fórmula propuesta por la IEEE 762/2006. Las instalaciones industriales suelen buscar objetivos entre ese 92% y un 50%, en los casos menos exigentes en lo que se disponga de una capacidad de producción muy superior a lo que es capaz de absorber el mercado.

Según los estudios de Uzcátegui (2014), es posible mejorar la disponibilidad de componentes a través de la detección temprana de variantes o irregularidades en el equipo y proporcionando mantenimiento en tiempo real basado en las condiciones que se encuentre.

La adopción de estas estrategias de mantenimiento predictivo, especialmente para equipos de alta prioridad, le puede ayudar a menudo a identificar problemas antes de que estos afecten la producción (Carmona, 2008).

Los beneficios incluyen la reducción significativa del tiempo muerto provocado por fallas del equipo, así como el hecho de que evitan los costos más altos de reparación por fallas catastróficas inesperadas (Martínez, 2010).

El mantenimiento predictivo también reduce la necesidad de programar el tiempo muerto para dar servicio preventivo, lo que garantiza una mayor disponibilidad (García, 2013).

En su estudio Martínez (2010); el factor primario que distingue a las empresas líderes en disponibilidad, es que ellas reconocen que la fiabilidad no es simplemente un resultado del esfuerzo de reparación, ellas están convencidas de que la eliminación de las fallas crónicas es su misión primordial.

Las reparaciones en el mantenimiento, en este tipo de industrias, son vistas de forma diferente. Las reparaciones no son esperadas, son vistas como casos excepcionales, y resultantes de alguna deficiencia en la política de mantenimiento o descuido de la gerencia de mantenimiento (Guerra, 2012). Un análisis detallado del problema, acompañado por un programa sólidamente estructurado de mejora de la fiabilidad, es la base para la eliminación de mucho trabajo innecesario (González, 2006).

1.8. Mantenibilidad de los equipos de excavación – carga

La mantenibilidad puede ser definida de varias formas pero, en cuanto a la cuantificación del parámetro, está bastante consensuado expresarlo en términos probabilísticos (Cabello, 2002). La norma MIL-STD-721B, DoD, 1996 USA define este parámetro como: Mantenibilidad es la probabilidad de que un equipo averiado sea restaurado completamente a su nivel operativo, dentro de un periodo de tiempo dado, cuando la acción de reparación se efectúa de acuerdo con los procedimientos preestablecidos (Cabello, 2002).

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos (Vidal, 2010).

Otra forma de ver la mantenibilidad sería la expuesta por Prado (1996): La mantenibilidad es la característica inherente de un elemento, asociada a su capacidad

de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria según se especifica.

Augusto (1999) dice que: “....en realidad, la mantenibilidad es una dimensión de la fabricación del sistema y una política de gestión del mantenimiento del sistema...”

Otra forma de definirla sería relacionándola con el coste del mantenimiento, de tal manera que éste no supere una cantidad monetaria dada.

Navarrete (1986) la definen como: La mantenibilidad es la probabilidad de que la intervención de mantenimiento se lleve a cabo dentro de un tiempo (t).

En términos probabilísticos, se define la mantenibilidad como la probabilidad de restablecer las condiciones específicas de mantenimiento de un sistema en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos (Augusto, 1999), o simplemente la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo (t) (Canchica, 2007).

Mantenibilidad: “Es el conjunto de acciones que permiten conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir con un servicio determinado”. (Norma COVENIN 3049, 1993).

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

Si se quiere aumentar la disponibilidad en una planta sistema o equipo, se debe: aumentar la confiabilidad, expresada por el tiempo medio entre fallas (TMEF), reducir el tiempo empleado en la reparación, empleado por el TMEF, aumentar el TMEF y reducir el tiempo promedio para reparar (TPPR) simultáneamente (Lores, 2017).

Los autores analizados exponen que la mantenibilidad es un aspecto fundamental para planificar el sistema de mantenimiento aunque no se aborda que de igual manera es necesario conocer las condiciones de explotación de los equipos y las características tecnológicas para establecer una correcta explotación de los mismos.

1.9. Conclusiones del capítulo

- En el proceso de extracción de mineral en la industria minera de Cuba se emplean diferentes máquinas y equipos destinados a las labores de escombreo, extracción y carga los cuales, durante cierto período de tiempo no garantizan la disponibilidad para realizar estas funciones.
- En las retroexcavadora empleadas en las operaciones de arranque y descarga del mineral laterítico, en su indicadores de rendimiento se encuentra la capacidad de producción, fuerza de excavación, tiempo de ciclo, facilidad del mantenimiento y la productividad, sin embargo la humedad de las menas es un factor determinante a considerar en estos indicadores.
- En la literatura consultada se han expuestos diferentes criterios relacionados con los sistemas de mantenimiento que se establecen para garantizar la disponibilidad de los equipos de extracción de mineral, sin embargo aún no se precisa el comportamiento de los mismos relacionado con la fiabilidad y el indicador de rendimiento productividad.

CAPÍTULO 2
MATERIALES Y MÉTODOS DE ENSAYOS
EMPLEADOS

2. MATERIALES Y MÉTODOS DE ENSAYOS EMPLEADOS

2.1. Introducción

El estudio de los tiempos de operación, así como los periodos de fallos y de reparaciones son de vital importancia para la determinación de los diferentes parámetros tecnológicos de explotación de los equipos de excavación – carga, además de los indicadores de rendimiento que presentan los mismos a partir de su utilización; por tanto, la planificación de las labores en los trabajos mineros va soportada de los índices de disponibilidad y utilización de estos equipos (Guerra, 2012).

En este capítulo se propone el objetivo siguiente:

Establecer los principales parámetros tecnológicos e indicadores de rendimiento (ciclo de trabajo, capacidad de carga, productividad, índice de utilización, disponibilidad) a partir de la utilización de la metodología de cálculo de los equipos de excavación – carga de la Unidad Básica Minera de la empresa “Comandante Che Guevara”.

2.2. Descripción de los instrumentos y el material utilizado

Para el desarrollo de la investigación son utilizadas la base histórica de la explotación de los equipos de excavación – carga regulados por el departamento técnico de mantenimiento de la UBMECG, para conocer el seguimiento de la explotación de los equipos teniendo en cuenta las actividades mineras realizadas en el frente de carga y en los depósitos, además de la ocurrencia de las fallas y averías; así como la planificación de su sistema de mantenimiento.

De igual forma se utilizaron cronómetros para el control de tiempo del ciclo de trabajo en las labores de campo, conjuntamente se emplearon los softwares STAGRAPHICS CENTURION XV y MICROSOFT EXCEL 2015 para la determinación de los resultados.

El objeto de estudio tomado es el equipamiento de excavación – carga, del tipo retroexcavadoras hidráulicas XCMG modelo XE – 700, que laboran en el desarrollo de las diversas actividades mineras.

2.3. Parámetros de explotación técnica del equipamiento de excavación-carga

Entre las principales características tecnológicas de las retroexcavadoras hidráulicas, encontramos: capacidad de la cuchara de 1,5 a 6,2 m³; motor con funcionamiento en cuatro tiempos, inyección directa, turboalimentado y emisiones reducidas al medio ambiente, filtro de aire seco con separador previo, consulta digital del estado de funcionamiento mediante menú, control automático de alerta acústica y óptica, función de memoria de fallos y climatización por aire fresco (Catálogo de productos XCMG, 2015).

Los equipos de excavación – carga, que se encuentran en el proceso productivo de la UBMECG, presentan otras características técnicas se enuncian en la tabla 2.1, a partir de la marca de los equipos.

Tabla 2.1. Especificaciones técnicas de las retroexcavadoras hidráulicas XCMG modelo XE 700 sobre esteras.

Parámetros	UM	Valores
		XCMG modelo XE 700
Tipo		6 cilindros en V
Radio de excavación máxima	m	4,75
Peso	kg	68000
Profundidad de excavación máxima	m	6,9
Alcance máximo sobre rasante	m	11,3
Altura máxima de descarga	m	7,3
Alcance máxima de avance	m	11,5
Fuerza máxima de avance	kN	550
Fuerza máxima de avance sobre rasante	kN	300
Fuerza máxima de excavación	kN	362
Cilindrada	lts	15
Funcionamiento motor		Diésel de 4 tiempos inyección directa

Fuente: manual del equipo retroexcavadora.

2.4. Diseño de experimentos

Este diseño debe conducir a determinar las variables que influyen directamente en el desarrollo de las operaciones que realizan el objeto de estudio, por tanto es necesario simplificar la ejecución del modelo para determinar experimentalmente los resultados de estas variables.

Para la ejecución de este diseño se parte de determinar las diferentes variables dependientes o posibles respuestas (y) donde este valor obedece a los valores de las posibles variables independientes (x) (Miller *et al.*, 2005 y Luna, 2010).

Los softwares STAGRAPHICS Centurion XV y Microsoft Excel 2015, son utilizados para determinar el modelo estadístico que relaciona la disponibilidad técnica con el tiempo medio entre fallas (TMEF) y el tiempo promedio para reparar (TPPR); a partir de los diferentes ciclos de trabajos al realizar los trabajos de escombreo y extracción.

La variable disponibilidad técnica es el elemento que indica la utilización de estos equipos en las labores y así conocer el efecto en la productividad y el tiempo medio de trabajo, las variables de entrada son aleatorias continuas, ya que son incontrolables durante las labores que realizan los equipos, solamente es planificada la posible ejecución en los trabajos, pero no se cuenta con la certeza que los equipos funcionen en este tiempo planificado.

En la figura 2.1 se muestra un diagrama en bloque del diseño de experimento con las variables a utilizar en la experimentación.

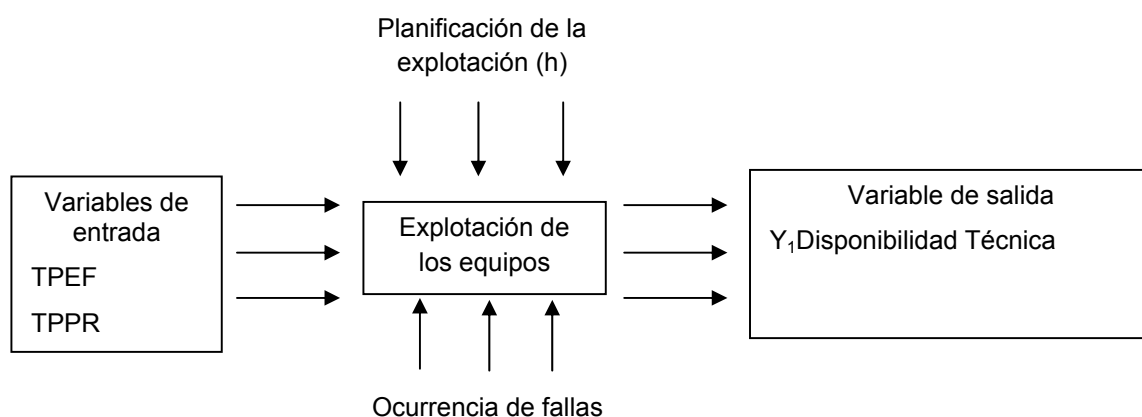


Figura 2.1. Diagrama en bloque del diseño de experimentos.

Las variables experimentales a considerar son: el tiempo medio entre fallas (TMEF) y el tiempo promedio para reparar (TPPR) ambas variables expresadas en (h), la variable de salida es: la disponibilidad técnica (%), que regulada la planificación de las operaciones que inciden directamente en la productividad y el tiempo medio de trabajo (h). Los tiempos se encuentran a través del estudio de los ciclos de trabajo de la línea de equipos que está realizado por estudio estadístico. En posteriores epígrafes será explicado el procedimiento ejecutado.

2.5. Formulación de la secuencia estadística

Las variables seleccionadas para el estudio de casos se identifican como variables aleatorias ya que el tiempo precisamente no se puede controlar, simplemente es medible a partir del funcionamiento del equipo y mientras se encuentra en tiempo planificado para la reparación, de igual forma el tiempo como variable incide en el ciclo de trabajo y en el TMEF por lo que se puede considerar como aleatoria continua. La ocurrencia de fallas o rata de fallas es considerable como aleatoria discreta porque no se controla la ocurrencia del evento.

Por tanto, se puede expresar que el tiempo medio entre fallas y el tiempo promedio para reparar son variables aleatorias, según (Spiegel, 1976):

Variable aleatoria: Cantidad que es resultado de un experimento y debido al azar, puede tomar valores diferentes.

Variable aleatoria discreta: Toma valores claramente separados, generalmente se produce por conteo.

Variable aleatoria continua: Cantidades que toman infinitos valores, dentro de un rango permitido, generándose una distribución de probabilidades continuas.

Estas variables se definen esta manera ya que la determinación de las mismas se realiza a partir de las muestras tomadas durante la explotación de los equipos en el desarrollo de las diferentes labores mineras en el frente de carga y en los depósitos de la UBMECG.

Para determinar el tiempo de ciclo de trabajo de los equipos de excavación – carga se realiza mediante la fotografía de la jornada laboral para la ejecución de las diversas

actividades en las diferentes labores mineras (extracción, escombreo), con la medición y las muestras de los tiempos es posible determinar la media y el promedio de los tiempos del equipo durante la realización de los trabajos.

El control del tiempo de las actividades regulado por la fotografía de la jornada laboral de los equipos, se realiza directamente en el terreno en el momento de ejecución de las labores mineras. Se toman un conjunto de mediciones para determinar una muestra representativa de esa población.

Se realiza un muestreo simple para determinar el ciclo de trabajo durante las operaciones del laboreo minero, luego se selecciona una muestra representativa según la metodología estadística propuesta por Miller *et al.*, (2005), donde se propone la ecuación.

$$m = \left[Z_{\alpha/2} \cdot \frac{S}{d} \right]^2 \quad (2.1)$$

Donde:

m : tamaño de la muestra.

$Z_{\alpha/2}$: estadístico de la distribución probabilística de Gauss de 1,96 con un nivel de significancia (α) de 0,05.

S : desviación estándar de la muestra.

d : error máximo de estimación.

En el caso en particular se establece un muestreo simple para validar el experimento, donde es necesario la validación de la muestra.

Se toman valores de muestra establecida para determinar los valores de la desviación estándar que es sustituida por la varianza, esta operación se establece por la fórmula 2.2, según

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.2)$$

El procedimiento estadístico para varios valores de la muestra se determina para poder establecer el estadístico de la distribución probabilística de nivel de significancia

$$Z_{\alpha/2} = \frac{d}{\sigma/\sqrt{m}} \quad (2.3)$$

Como se desconoce la varianza y el tamaño de la muestra es menor que 30, entonces se trabaja con la prueba de hipótesis de t – student, para determinar el nivel de confianza de la muestra, (Rodríguez, 2007); luego de esto obtener los valores necesarios para que la muestra sea representativa.

Para realizar una comparación de los valores obtenidos mediante la obtención de la muestra necesaria se establece el cálculo de la muestra, pero en relación de conocer la población total de los datos obtenidos, mediante la expresión estadística, según(Spiegel, 1976).

$$n = \frac{N}{1 + \frac{(N-1) \cdot d^2}{(Z_{\alpha/2})^2 \cdot p(t) \cdot q(t)}} \quad (2.4)$$

Donde:

N : población.

$p(t)$: probabilidad de éxito, (%).

$q(t)$: probabilidad de fallo, (%).

La relación $p(t) + q(t)$ viene dada por la expresión 2.16, que se explica en los epígrafes siguientes.

Establecer la media de la distribución probabilística del tiempo del ciclo de trabajo durante la ejecución de las labores, es importante para conocer la media de trabajo y el promedio del tiempo de este ciclo es media se determina mediante.

Esta media es un promedio, en el que los valores posibles se ponderan mediante sus probabilidades correspondientes de ocurrencia, se calcula según Rodríguez(2007).

$$\mu = \sum XP(x) \quad (2.5)$$

Donde:

$P(x)$: probabilidad que puede tomar la variable aleatoria x.

A partir de esta media probabilística se puede establecer el promedio del recorrido para la descarga del cucharón después de la operación de extracción y la media promedio para la carga del vehículo de transporte del mineral, estas operaciones se determinan por las expresiones.

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{n}; [s] \quad (2.6)$$

Donde:

$\bar{R}$: recorrido promedio del equipo de excavación en el ciclo, (s).

$\sum R$: medición realizada durante las operaciones de extracción de la carga, (s).

n : cantidad de mediciones.

Para la media promedio se obtiene el tiempo de carga del vehículo de transporte del mineral, se obtiene mediante.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{n}; [s] \quad (2.7)$$

Donde:

$\bar{\bar{X}}$: media promedio de la variable aleatoria, (s).

$\sum \bar{X}$: sumatoria de la variable aleatoria que muestra el ciclo de trabajo, (s).

n : cantidad de mediciones.

Anteriormente se expresa el cálculo para establecer el ciclo de trabajo y el recorrido de brazo hidráulico para el llenado del vehículo de transporte del mineral, que ejecutan los equipos de excavación – carga, para determinar esos valores se organiza el área de trabajo con la construcción de un polígono para la extracción de mineral y así controlar de una manera ordenada los tiempos de trabajo del equipo.

Este procedimiento se denomina fotografía de la jornada laboral del equipamiento de excavación – carga que consta de varias etapas, las cuales se enuncian a continuación.

2.5.1. Procedimiento para la realización de la normación del ciclo de trabajo durante las operaciones de los equipos de excavación – carga

La normación de las operaciones se establece a partir de la realización de la fotografía de la jornada laboral; donde la fotografía está proyectada en función al tiempo de realización de los trabajos en el frente de carga, de la forma siguiente:

- Tomar cinco muestras fotografías de la jornada laboral en cada turno de trabajo en las operaciones que se encuentre realizando la máquina.
- Tener en cuenta las condiciones climatológicas en casos de: turno de día, seco y con lluvia; turno nocturno, seco y con lluvias.
- Realizar la documentación de cada operación y cada interrupción que se produzca en el turno.
- Medir una misma retroexcavadora durante los días, que duren las fotografías, la cual se tomará como representativo del turno y del modelo de la misma.

Las operaciones realizadas por los equipos de excavación – carga a normar son:

- Extracción en el frente de carga (banco).
- Escombreo o destape de reservas.

Preparación para la normación de los tiempos de trabajo de los equipos mineros.

Para la certificación de los tiempos del ciclo de llenado y la capacidad de carga de retroexcavadoras procede de la siguiente forma:

1. Preparación del área para hacer la trinchera: Se hace un corte en el terreno lo más horizontal posible, en una superficie no menor de 10 x 20 m y se le realiza un levantamiento topográfico tomado puntos cada 5 m.
2. Extracción del material de la trinchera: Cuando se realiza el levantamiento topográfico del área se comienza la operación de extracción del material para tomar la muestra como base de la fotografía, para lo cual se seguirán las siguientes etapas:

Etapas 1

- Se realiza la extracción de una trinchera a todo lo largo del área seleccionada para la extracción de la muestra, en la que el borde exterior de la misma coincida con el eje del desplazamiento de la retroexcavadora, esta trinchera se ampliará

hacia adentro todo el ancho que permita realizar el corte uniforme del fondo y los bordes y además llenar completamente, figura 2.2.

- En todos los casos llenar totalmente el cubo y evitar que quede material suelto en el fondo de la excavación o se produzcan derrames del mismo durante la carga de los camiones.
- Comenzar el trabajo con la cama del camión limpia y la misma no se limpiará hasta que comience a derramarse el material, contar cada cuantos viajes hay que limpiar la cama de los camiones y que tiempo se emplea en hacerlo.
- Contabilizar todos los viajes así como el tiempo empleado en el llenado.
- Especificar el tipo de litología extraída y las condiciones de humedad del material de forma simplificada, seco, medianamente húmedo y muy húmedo.

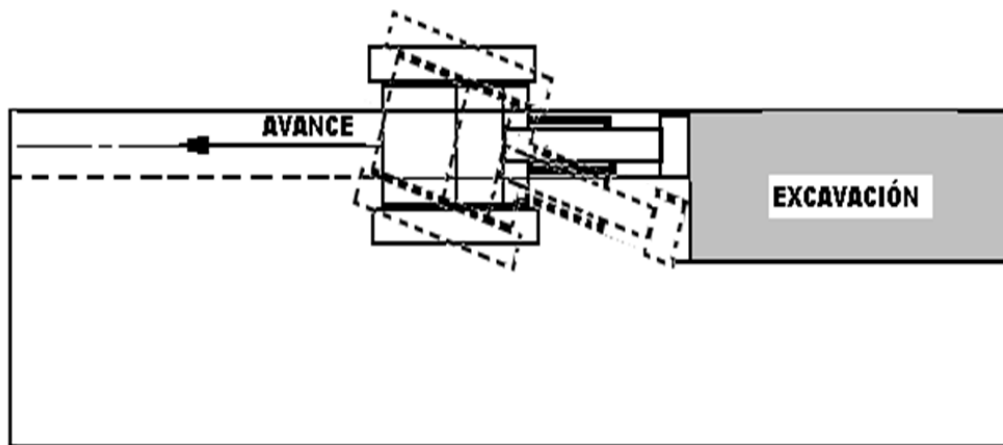


Figura 2.2. Etapa 1: inicio de la trinchera.

Etapa 2

- Al llegar al final del área a extraer, hacer un giro a 90° y conformar una trinchera perpendicular al borde anterior, la cual se prolongará hasta la otra esquina del área a extraer, figura 2.3.

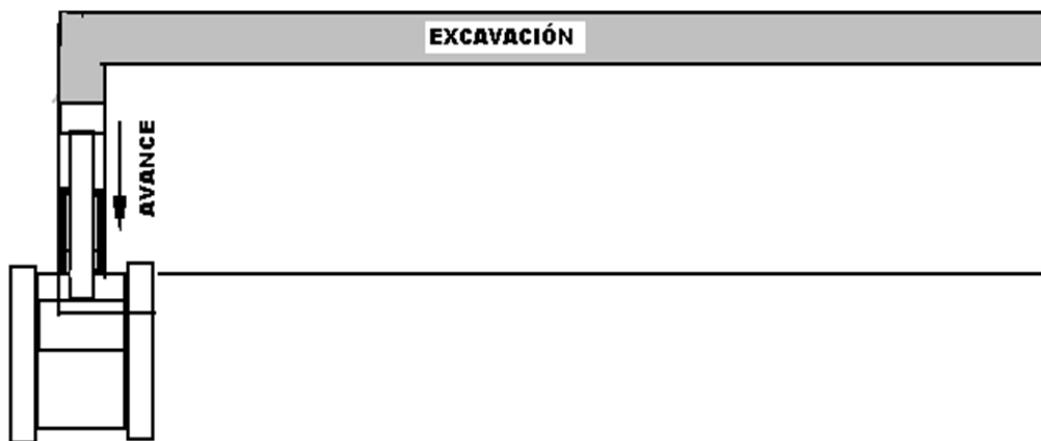


Figura 2.3. Etapa 2: Corte perpendicular de la trinchera.

Etapa 3

- Al llegar al extremo del área se hace otro giro a 90° y colocar la retroexcavadora de tal forma que el eje de la misma coincida con el borde exterior de la excavación.
- Desplazar la retroexcavadora, y hacer un corte vertical por el borde y recoger el material del centro de la excavación.
- Lograr que el ancho del corte interior debe permitir el llenado completo del cubo y que el fondo quede lo más nivelado posible, figura 2.4.

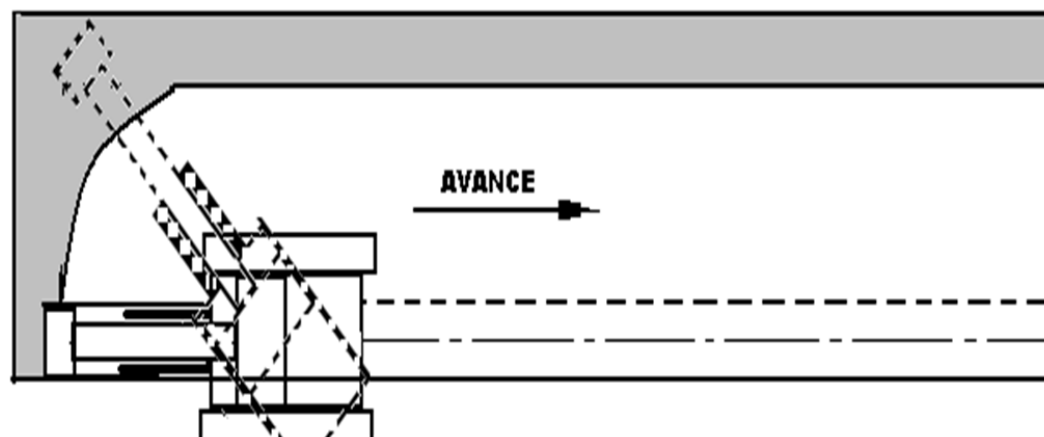


Figura 2.4. Etapa 3, conformación del borde y extracción del núcleo.

Etapa 4

Al llegar la final de la excavación conformar las esquinas de la misma, y lograr que los cortes en la esquina queden verticales y a la profundidad de la excavación, figura 2.5.

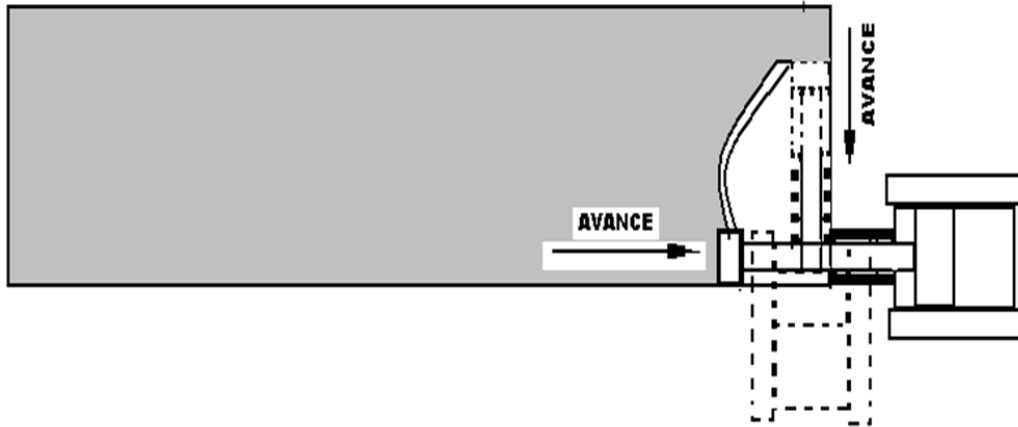


Figura 2.5. Etapa 4: Extracción y conformación de la última esquina.

Al concluir los trabajos de normación de los tiempos mediante la realización de las fotografías de la jornada laboral, se realiza la validación del ciclo de trabajo, a partir de una prueba de hipótesis para las muestras tomadas durante las operaciones del laboreo minero, el escombreo y la extracción.

2.5.2. Prueba de hipótesis para la comprobación del ciclo de trabajo en las operaciones mineras para muestras diferentes

La validación de los tiempos medidos se realiza por una prueba F de Fisher para dos muestras de varianzas independientes, ya que el equipo que participa en la línea de trabajo durante las mediciones puede ser operado por varios operadores que laboran en los turnos de trabajos en las diferentes áreas de explotación y en las actividades de laboreo minero; por tanto es necesario establecer la media de los tiempos del ciclo mediante la habilidad de los operadores en los trabajos realizados durante el régimen de las operaciones.

La prueba F de Fisher para varianzas de dos muestras establece dos hipótesis a cumplir a partir de los resultados que se obtienen.

$$H_0: \sigma_{esc}^2 \leq \sigma_{min}^2 \quad (2.8)$$

$$H_1: \sigma_{esc}^2 > \sigma_{min}^2 \quad (2.9)$$

Criterio de decisión a partir de los experimentos

Si $F_{calc} > F_{\alpha, \delta_1, \delta_2}$, entonces la decisión es la hipótesis nula y la varianza de las labores de escombreo no es significativamente mayor, con $\alpha = 0,05$; que la varianza de la extracción.

Con la prueba enunciada anteriormente se verifican los valores de las varianzas de las muestras tomadas y así certificar el valor de las mismas, ya que son muestras separadas por las operaciones realizadas, con estos valores se ejecuta la prueba por criterio de t – student de las varianzas separadas para establecer la correspondencia de las medias a partir de las varianzas. Donde se establecen dos hipótesis a cumplir con los resultados obtenidos:

$$H_0: \mu_{esc} = \mu_{min} \quad (2.10)$$

$$H_1: \mu_{esc} \neq \mu_{min} \quad (2.11)$$

Criterio de decisión a partir de los experimentos realizados

Si $t_{crit}(dos\ colas) > |t_{calc}|$ entonces la decisión es la hipótesis nula y los tiempos medios de trabajo de las operaciones no difieren significativamente con $\alpha = 0,05$.

Con la humedad como característica físico – mecánica que influye en las operaciones de extracción y escombreo, que realizan estos equipos, se ejecuta la misma prueba de hipótesis para los valores de humedad determinados con los dos criterios establecidos anteriormente.

2.5.3. Prueba de hipótesis para muestras en diferentes valores de humedad

En las labores mineras mencionadas, escombreo y extracción, una de las características físico – mecánica que interviene es la humedad que influye en el proceso de excavación y corte de las plataformas por parte del cucharón del equipo. Esta característica tiene su influencia en el terreno, en la forma de realizar la excavación y en el tiempo en que el operador realiza las labores de excavación y llenado del transporte de carga (Sierra *et al.*, 2009 y Mediaceja, 2007). Por tanto es necesario determinar la humedad en los niveles de las celdas de la plataforma y determinar su significancia en el tiempo del ciclo durante el desarrollo de las operaciones.

Para varios valores de humedad en el terreno en dos operaciones mineras se realiza la validación mediante la prueba F de Fisher para dos muestras de varianzas diferentes como se realizó en el acápite anterior.

La prueba F de Fisher para varianzas de dos muestras establece dos hipótesis a cumplir a partir de los resultados que se obtienen.

$$H_0: \sigma_{Hum1}^2 \leq \sigma_{Hum2}^2 \quad (2.12)$$

$$H_1: \sigma_{Hum1}^2 > \sigma_{Hum2}^2 \quad (2.13)$$

Criterio de decisión a partir de los experimentos

Si $F_{calc} > F_{\alpha, \delta_1, \delta_2}$, entonces la decisión es la hipótesis nula y la varianza de la labores de la humedad superior no es significativamente mayor, con $\alpha = 0,05$; que la varianza de las labores de la humedad inferior.

Como en el acápite anterior se realiza una prueba por criterio de t – student de las varianzas separadas para establecer la correspondencia de las medias a partir de las varianzas. Donde se establecen dos hipótesis a cumplir con los resultados obtenidos:

$$H_0: \mu_{hum1} = \mu_{hum2} \quad (2.14)$$

$$H_1: \mu_{hum1} \neq \mu_{hum2} \quad (2.15)$$

Criterio de decisión a partir de los experimentos realizados

Si $t_{crit}(dos\ colas) > |t_{calc}|$ entonces la decisión es la hipótesis nula y los tiempos medios de trabajo de las operaciones no difieren significativamente con $\alpha = 0,05$.

Con la validación de los tiempos promedios y la influencia de la humedad en el ciclo de trabajo se determinan los índices de fiabilidad que permiten certificar el cumplimiento de los indicadores de rendimiento del equipamiento.

2.6. Indicadores de fiabilidad

Para la determinación de los indicadores de fiabilidad es necesario precisar la vinculación que presentan unos con otros, simples y complejos, expresados que los

mismos van encaminados para conocer el funcionamiento y los periodos de explotación de los equipos.

La fiabilidad como una de las leyes fundamentales del mantenimiento 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 sistemas en los equipos de la industria.

Unos de los índices fundamentales para determinar los principios y objetivos del mantenimiento es la mantenibilidad porque a través de la misma se traza la ley de distribución de la funcionabilidad que consiste; según (Navarrete, 1986). De igual forma de disponibilidad técnica es el factor que expresa como se traza y se maneja la política del mantenimiento en la industria.

$$R(t) + q(t) = 1 [\%] \quad (2.16)$$

Donde:

$R(t)$: tiempo promedio de trabajo sin fallas, (h).

$q(t)$: tiempo promedio de ocurrencia de fallas, (h).

El modelo matemático de la expresión anterior, relaciona el trabajo de los equipos 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.

Para corregir estas fallas y averías es necesaria la mantenibilidad de los equipos, que como variable corresponde al tiempo promedio para reparar que tiene una relación con la disponibilidad técnica.

2.6.1. Mantenibilidad

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

$$TPPR = \frac{TFS}{No.Intervenciones\ mto}; [h] \quad (2.17)$$

Donde:

TPPR: tiempo promedio para reparar, (h).

TFS: tiempo fuera de servicio, (h).

No. Intervenciones mtto: número de intervenciones de mantenimiento.

2.6.2. Tiempo medio entre fallas (TMEF)

El tiempo medio entre fallas o vulgarmente mal llamado la media de los tiempos entre fallas, 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.

$$TMEF = \frac{1}{e\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}}; [h] \quad (2.18)$$

Dónde:

t: tiempo de trabajo del equipo, (h).

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

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

Este tiempo expresa la media general del trabajo de los equipos 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 del equipo.

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

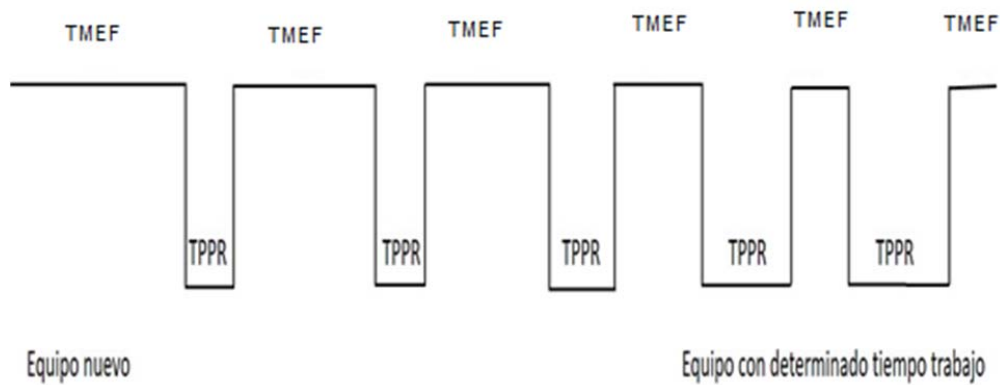


Figura 2.7. Relación tiempo medio entre fallas y el tiempo promedio para reparar.

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).

$$E(t) = \alpha \cdot \gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta}\right); [h] \quad (2.19)$$

Donde:

$E(t)$: 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; a partir de la distribución exponencial.

En el caso del tiempo medio entre fallas se establece por distribución probabilística, en el caso en particular se selecciona la distribución exponencial de Weibull, ya que la misma ofrece dos variables que son adaptables a la rata de fallas y al tiempo de operación del equipo.

2.6.3. Distribución Weibull

Tamborero (1994) y Luna (2010), demostraron que la distribución de Weibull fue establecida con base en una evidencia empírica, que el esfuerzo al que se someten los materiales puede modelarse de manera adecuada mediante el empleo de esta distribución. En los últimos 25 años esta distribución se empleó como modelo para situaciones del tipo tiempo – falla y con el objetivo de lograr una amplia variedad de componentes mecánicos.

También describe de manera adecuada los tiempos de fallas de los componentes cuando sus razones de falla crecen o decrecen con el tiempo. Esta distribución permite identificar en que zona de la curva de Gauss o de la bañera se encuentra un equipo mediante el valor que se obtenga del parámetro de forma β .

La distribución de Weibull y su función se ajusta a la ecuación de González (2006).

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{\{(t-t_0)\}^\beta}{\eta}} \quad (2.20)$$

Donde:

$F(t)$: tasa de fallas.

t : variable de duración, que según el contexto y servicio se trate, será de tiempo de uso, horas de trabajo, ciclos de trabajo.

β : parámetro de forma que siempre es mayor que 0,69.

t_0 : valor en x inicial (tercer parámetro de Weibull).

e : base de los logaritmos naturales = 2,718281.....

η : vida característica.

Para conocer la confiabilidad actual del equipo, se emplea la ecuación siguiente:

$$R(t) = e^{-(t/\alpha)^\beta} \quad (2.21)$$

Tomando como base la expresión anterior, las variables son las mismas descritas, excepto que la confiabilidad está representada por $R(t)$.

El valor del parámetro de forma β , se establece mediante la ecuación, según (Duffuaa *et al.*, 2005).

$$\beta = \frac{n \sum l_n t_i l_n \left\{ l_n \left[\frac{1}{R(t_i)} \right] \right\} - \sum l_n t_i l_n \left\{ l_n \left[\frac{1}{R(t_i)} \right] \right\}}{n(\sum l_n t_i)^2 - (\sum l_n t_i)^2} \quad (2.22)$$

Dónde:

n : número de datos presentes.

t_i : tiempo entre fallas (s).

$R(t_i)$: confiabilidad de los equipos para cada t_i .

Con el uso de la expresión anterior se establece un valor aproximado de β para el cálculo de la confiabilidad actual.

Siendo la función densidad de probabilidad.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.23)$$

La tasa de fallos para esta distribución sería:

$$\lambda = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.24)$$

Las variables que se encuentran en la formulación presentan una interpretación física correspondiente al uso en las ecuaciones, donde tenemos que:

t_0 : Parámetro de posición (unidad de tiempos) o vida mínima y define el punto de partida u origen de la distribución.

η : Parámetro de escala, extensión de la distribución a lo largo, del eje de los tiempos.

β : Parámetro de forma y representa la pendiente de la recta describiendo el grado de variación de la tasa de fallos.

La distribución de Weibull ofrece determinar los diferentes tiempos de operación del equipo y los posibles fallos ocurridos; esta distribución expresa un modelo lineal a partir de la explotación de los equipos durante de la planificación de los tiempos promedios durante la ejecución de los trabajos en las labores de la minería.

La operación de los sistemas y los diferentes equipos que se planifica no solo el tiempo de explotación, también los diferentes de mantenimientos para evitar las tasas de fallas durante el funcionamiento de los mismos, por tanto dependen de la confiabilidad de los diversos componentes, según Tamborero (1994).

Para la obtención de la gráfica del comportamiento de la explotación y la ocurrencia de fallas dependen del tiempo promedio entre fallas y la frecuencia numeral de la distribución exponencial de Weibull, la misma se expresa en dos variables para la obtención del modelo, a partir de las ecuaciones siguientes, según Miller *et al.*, (2005).

$$X_i = l_n t_i \quad (2.25)$$

Donde:

X_i : variable dependiente del tiempo medio entre fallas.

t_i : tiempo de explotación de los equipos, (h).

$$Y_i = l_n \left[l_n \frac{1}{1-F(t_i)} \right] \quad (2.26)$$

Donde:

Y_i : variable dependiente de la frecuencia de Weibull a partir del tiempo de explotación.

$F(t_i)$: frecuencia de Weibull a partir del tiempo de explotación.

Con la determinación de las variables independiente TMEF y TPPR, es posible establecer la relación para obtener los valores de disponibilidad técnica del equipo durante el tiempo de explotación.

2.6.4. Disponibilidad técnica

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

$$D = \frac{TMEF}{TPEF+TPPR} \quad (2.27)$$

Dónde:

$TMEF$: tiempo medio entre fallas (h).

TPPR: tiempo promedio para reparar (h).

Con los valores de la disponibilidad técnica de los equipos de excavación – carga es posible establecer y determinar los diferentes indicadores productivos del equipamiento durante el desarrollo de las actividades en el frente de carga.

2.7. Cálculo de los indicadores productivos y parámetros tecnológicos de los equipos de excavación

Los indicadores productivos establecen los parámetros o niveles de producción que cumple el equipamiento durante la realización de las actividades minera. Es posible que un equipo tenga una alta disponibilidad, sin embargo, debido a problemas técnicos no puede operar y no alcanzar los niveles productivos planificados.

Estos parámetros se determinan según Belete (2000).

- Capacidad real del cubo de la retroexcavadora

$$C_c = \frac{V_e}{q_c}; [m^3] \quad (2.28)$$

Donde:

q_c : Cantidad de cubos extraídos durante la excavación. OICP, OISP.OEF.

- Productividad de las retroexcavadoras

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

$$Q_t = \frac{q \cdot 60}{T}; \left[\frac{t}{h} \right] \quad (2.29)$$

Donde:

Q_t : producción teórica de la excavadora, (t/h).

q : producción por ciclo (Vol. del cucharón), (t).

T : duración del ciclo de trabajo, (s)

- Producción por ciclo (q)

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

- duración del ciclo (s).

Es el tiempo que se realizan las operaciones básicas de maniobra, arranque y descarga para cumplir con el tiempo de llenado de los vehículos de transporte de la masa minera.

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

Durante el trabajo las retroexcavadoras realizan el proceso de arranque – giro – descarga – giro, para poder realizar su ciclo de trabajo. La cantidad de ciclos de llenado realizados por el equipo en el tiempo trabajado se formula por la siguiente ecuación. Los parámetros se determinan por los estudios realizados según García *et al.*, (2006).

$$Cant\ de\ ciclos = \frac{TMEF}{T_{ll}} \quad (2.30)$$

Donde:

$TMEF$: tiempo medio entre fallas (h).

T_{ll} : tiempo del ciclo trabajo de llenado (h).

Volumen productivo del equipo

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

$$Volumen\ productivo = Cant\ de\ ciclos \cdot 23\ ton; \left[\frac{t}{h} \right] \quad (2.31)$$

Rendimiento efectivo de los equipos

Este rendimiento como parámetro es conocer la evolución del equipo de excavación – carga a medida de la realización de los trabajos de producción minera.

$$RE = \frac{\text{Capac del cucharón}}{T_{ll}}; \left[\frac{t}{h} \right] \quad (2.32)$$

Donde:

Capac del cucharón: Capacidad real del cucharón, (t).

Productividad real de las retroexcavadoras

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

$$\text{Productividad} = RE \cdot Disp \cdot K_{up}; [t/h] \quad (2.33)$$

Donde:

Disp: disponibilidad técnica del equipo, (%).

K_{up}: coeficiente de utilización horario que generalmente oscila entre 0,65 a 0,75.

Estos parámetros tecnológicos y de explotación contribuyen a establecer la ejecución de las actividades en el laboreo minero, además de evaluar lo relacionado con la productividad, eficiencia y rendimiento durante la realización de las labores mineras.

2.8. Determinación de los indicadores de rendimiento de los equipos de excavación – carga

Los indicadores de rendimiento son las variables que indican el comportamiento del equipo en relación al rendimiento, eficiencia y productividad para evaluar la explotación del equipo, para planificar el mantenimiento de mismo y las posibles fallas que ocurran durante el trabajo del equipo, además de los costos que generen el mantenimiento a los mismos.

2.8.1. Rendimiento nominal

Los indicadores que miden el rendimiento se evalúan por la capacidad de un equipo 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) 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, según (Belete, 2000 y García, 2008).

$$RN = C \cdot \frac{60}{T_c} \text{ ó } RN = C \cdot \frac{3600}{T_c}; \left[\frac{t}{h} \right] \quad (2.34)$$

Donde:

C : capacidad de carga; (m³).

T_c : duración ciclo de trabajo; (min, s).

2.8.2. Rendimiento real

Además, definen que en la evaluación del rendimiento real (RR), se tienen en cuenta coeficientes relacionados con las condiciones reales de explotación, que afectan el comportamiento del rendimiento, expresado en la ecuación (2.30). Analizando que siempre es $RN > RR$.

$$RR = RN \cdot K_{up}, \left[\frac{t}{h} \right] \quad (2.35)$$

Donde:

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

Para determinar los indicadores técnico – productivos y los indicadores de rendimiento con el objetivo de evaluar el comportamiento en torno a la productividad, eficiencia y rendimiento general de los equipos mineros, se aplica la metodología de Paraszcak (2005) y Belete *et al.* (2010), entre los que cita:

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

$$HD = HH - H_a; [h] \quad (2.36)$$

Donde:

HH : horas hábiles o totales; (h).

H_a : horas averías; (h).

$$HH = HD \cdot (C_d); [h] \quad (2.37)$$

HD : horas días; (h).

C_d : cantidad de días; (h).

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

$$HI = HD - HE; [h] \quad (2.38)$$

Donde:

HE : horas efectivas trabajadas; (h).

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

$$ID = \frac{HD}{HH}; [\%] \quad (2.39)$$

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.

$$IU = \frac{HE}{HE+HI}; [\%] \quad (2.40)$$

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.

$$\Re = \frac{P}{HE}; [t/h] \quad (2.41)$$

Donde:

P : Producción, (t)

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

$$EP = \frac{P \cdot 100}{HH - (HM + HI) \cdot \Re}; [\%] \quad (2.42)$$

Donde:

HM : horas de mantenimiento, (h)

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

$$C_h = \frac{G_o}{HE}; [CUP/h] \quad (2.43)$$

Donde:

G_o : gasto por operación; (CUP).

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.

$$C_o = \frac{G_o}{P}; \left[CUP/t \right] \quad (2.44)$$

Con el uso de la metodología es posible determinar los principales parámetros de rendimiento, además de los índices de disponibilidad y utilización del equipamiento para evaluar la confiabilidad, el rendimiento operacional, su eficiencia a partir de los tiempos de operación y la disponibilidad técnica del equipo. (Belete *et al.*, 2010 y García *et al.*, 2006).

2.9. Conclusiones del capítulo

- Se establecieron los procedimientos y las técnicas experimentales con las que se establecerán los resultados del trabajo, a partir de la explotación de los equipos de excavación carga, con el objetivo de determinar las disponibilidades técnicas necesarias.
- Se planteó la metodología de cálculo para establecer los indicadores técnico – productivos y de rendimiento de los equipos de excavación – carga, con el objetivo de medir el funcionamiento durante la explotación de los equipos.
- Se realizó el diseño de experimentos y la matriz experimental en base a ciclo de trabajo con la conjugación del tiempo promedio para reparar y el tiempo promedio entre fallas, lo que permite obtener los índices de productividad y las disponibilidades técnicas, cuestión que es posible generalizar a las demás líneas de equipos.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

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

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

3.2. Comportamiento del equipamiento de excavación – carga

La UBMECG utiliza diferentes equipos de excavación – carga para la realización de las tareas del laboreo minero (extracción y escombreo), para la realización de las mismas existen equipos que se encargan de estas operaciones, ellos son considerados como uno de los eslabones fundamentales en la producción de la empresa puesto que se encargan del comienzo del proceso productivo. En la tabla 3.1, se muestra las horas trabajada por el equipo de excavación – carga desde su puesta en marcha para la ejecución de las operaciones.

Se efectuó el estudio a los equipos que se encontraban laborando en las diferentes actividades mineras en la UBMECG, pero se seleccionó solamente un equipo para la validación de los resultados, ya que el comportamiento de los tres equipos es semejante teniendo en cuenta el tiempo de explotación y el cumplimiento de las actividades.

Tabla 3.1. Utilización de los equipos de excavación – carga XCMG modelo XE – 700.

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

Fuente: Informe del taller mecánico de la UBM 2017.

3.2.1. Afectaciones presentadas en los equipos marca XCMG modelo XE – 700

- Avería eléctrica por aceleración.

El equipo RE – 1393 no tuvo explotación durante 302 horas de trabajo por averías en el sistema eléctrico; 6,8 horas por la planificación de mantenimiento correctivo y 5 horas de mantenimiento preventivo planificado; en total perdió 313,8 horas en el mes de mayo.

El segundo equipo de nomenclatura RE – 1394 no realizó labores mineras en 1 634,5 horas; debido a: 99,5 horas por averías de manguera hidráulica explotada y falta de aceite hidráulico; 285 horas por averías en el motor de arranque; 1250 horas por avería por pase de agua refrigerante para el motor.

El equipo RE – 1395 presentó dificultades en: Sello de una manguera averiado y falta de aceite hidráulico, problema en la climatización. El equipo estuvo 362,57 horas de trabajo sin utilización.

Con el conocimiento del tiempo de explotación acumulado del equipo y las horas perdidas con motivos de fallas ocasionadas, se realiza la normación mediante la fotografía de la jornada laboral durante las operaciones en el frente.

3.3. Normación de los equipos de excavación – carga en las labores de extracción y escombreo

El estudio para la normación del tiempo del ciclo de trabajo de los equipos de excavación – carga en las labores de extracción se realiza en el área 15 del yacimiento “Camarioca Este” en los bancos de extracción 235 al 237. Correspondiente al ciclo de trabajo durante llenado de los vehículos de transporte de la masa minera; acción fundamental este equipamiento; desde el momento de maniobra, el arranque y la maniobra para el llenado.

Las muestras de las mediciones realizadas en el terreno fueron con una humedad correspondiente de 36 a 38°, en días con algunas precipitaciones y con una representatividad de días secos.

Los principales tiempos analizados correspondientes al ciclo de trabajo de carga se determinan para conocer el promedio de las operaciones de extracción.

Recorrido promedio con carga: $\bar{R} = \sum \frac{R}{n} = 0,35 \text{ min.}$

Recorrido promedio sin carga: $\bar{R} = \sum \frac{R}{n} = 0,17 \text{ min.}$

Media promedio para la carga del camión: $\bar{X} = \sum \frac{\bar{X}}{n} = 2,83 \text{ min.}$

Las labores de escombreo se realizaron en la misma área, pero en bancos del 235 al 238 donde se ejecutó la extracción, a partir de la profundidad que alcanzaron los bancos durante el desarrollo de los trabajos. El clima se comportó de forma relativa, en las mediciones realizadas durante los días correspondientes existieron precipitaciones que ocasionaron que existiera humedad en un rango de 36° hasta los 38° grados, estas operaciones se efectuaron en el terreno calado.

Los principales tiempos analizados correspondientes al ciclo de trabajo de carga se determinan para conocer el promedio de las operaciones en el escombreo.

Recorrido promedio con carga: $\bar{R} = \sum \frac{R}{n} = 0,36 \text{ min.}$

Recorrido promedio sin carga: $\bar{R} = \sum \frac{R}{n} = 0,17 \text{ min.}$

Media promedio para la carga del camión: $\bar{X} = \sum \frac{\bar{X}}{n} = 2,86 \text{ min.}$

Los equipos de excavación – carga estudiados no presentaban normas de explotación propias, se realizaba la evaluación de las operaciones del laboreo minero por las normas de los equipos LIEBHERR, ya que estos últimos presentan el mismo objeto social de los equipos evaluados, pero las condiciones de diseño son diferentes, por tanto para poder determinar los indicadores de rendimiento y productividad de los equipos marca XCMG se realizaron las mediciones para obtener la fotografía de la jornada laboral de los tiempos promedios y conocer el ciclo de carga (arranque – giro – descarga – giro) de los vehículos de transporte del mineral.

Los valores de las maniobras tienen una media de 40 segundos (arranque – giro – descarga – giro) y para el ciclo de llenado del transporte de mineral durante la extracción es 2,83 min; para el escombreo 2,86 min.

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

Las ecuaciones utilizadas fueron la 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, para la determinación de las variables en cuestión.

Estos resultados de los promedios del ciclo de trabajo del equipamiento de extracción – carga son similares a los obtenidos, mediante estudio realizado, a los del equipamiento marca LIEBHERR aunque difiere en 0,50 min; superior en ambas operaciones, ya que la capacidad del cubo que en este último equipo es mayor según investigación realizada por Marcillí *et al.*, (2011).

3.3.1. Resultados de la comprobación del ciclo de trabajo en las operaciones mineras para muestras diferentes

A partir del diseño de experimentos se tiene en cuenta que el tiempo es una variable aleatoria, por tanto, es difícil su control durante las mediciones, por lo que se realiza el registro de los mismos durante el periodo de explotación.

El estudio realizado para la comprobación del ciclo de trabajo durante la carga de los vehículos de transporte de las menas lateríticas, es realizado a partir del trabajo de los operadores que maniobran en los equipos de excavación – carga durante la extracción, por tanto se realiza la prueba F de Fisher para determinar las varianzas de las muestras, estos resultados se muestran en la tabla 3.2; los resultados de estos cálculos determinados por las ecuaciones 2.8 y 2.9.

Tabla 3.2. Prueba F de Fisher para determinar las varianzas de las operaciones de escombreo y extracción.

Parámetros	Valores de las variables	
	Variable 1 (escombreo)	Variable 2 (extracción)
Media	171,34	169,97
Varianza	806,19	539,81
Observaciones	62	76
Grados de libertad	61	75
F	1,4935	
P(F<=f) una cola	0,049	
Valor crítico para F (una cola)	1,4905	

Se establece como criterio de decisión a partir del valor mostrado de $F > \text{valor crítico de } F$ para un nivel de significancia de $\alpha = 0,005$; es decir una significación del 5 %, se debe rechazar la hipótesis nula establecida y por tanto existen diferencias entre las varianzas de las dos muestras. Con los valores de las varianzas de las muestras se establece el criterio

de t – student para determinar el criterio de las hipótesis para determinar la media del tiempo promedio mediante variables separadas, mostrados los resultados en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Prueba t – student para validar las hipótesis de varianzas desiguales.

Parámetros	Valores de las variables	
	Variable 1 (escombreo)	Variable 2 (extracción)
Media	171,34	169,97
Varianza	806,19	539,81
Observaciones	62	76
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	117	
Estadístico t	0,3044	
P(T<=t) una cola	0,3807	
Valor crítico de t (una cola)	1,6580	
P(T<=t) dos colas	0,7613	
Valor crítico de t (dos colas)	1,9804	

En la tabla 3.3, se muestra el criterio de decisión determinado por los cálculos establecidos, con los resultados de $t = 1,98 > |t_{calc}| = 0,3044$; entonces se adopta la hipótesis nula, por tanto el tiempo del ciclo de trabajo para el llenado de los vehículos de transporte en las operaciones de escombreo no difiere significativamente del ciclo de trabajo para el llenado en las operaciones de extracción, establecidos por las ecuaciones 2.10 y 2.11.

El histograma de la figura 3.1 muestra el comportamiento de las mediciones realizadas durante las operaciones del laboreo minero, donde se tuvo en cuenta las operaciones de escombreo y extracción. Los valores obtenidos son significativamente representativos, la frecuencia de tiempo empleado en estas dos operaciones es en intervalo de tiempo de 170 hasta 200 segundos. Estos intervalos de tiempo obtenidos predicen que el equipo tiene una disponibilidad técnica continua, sin paradas durante la realización del ciclo de trabajo. El tiempo calculado está en correspondencia con el establecido por otros autores como Guerra (2013) y Marcillí *et al.*, (2011).

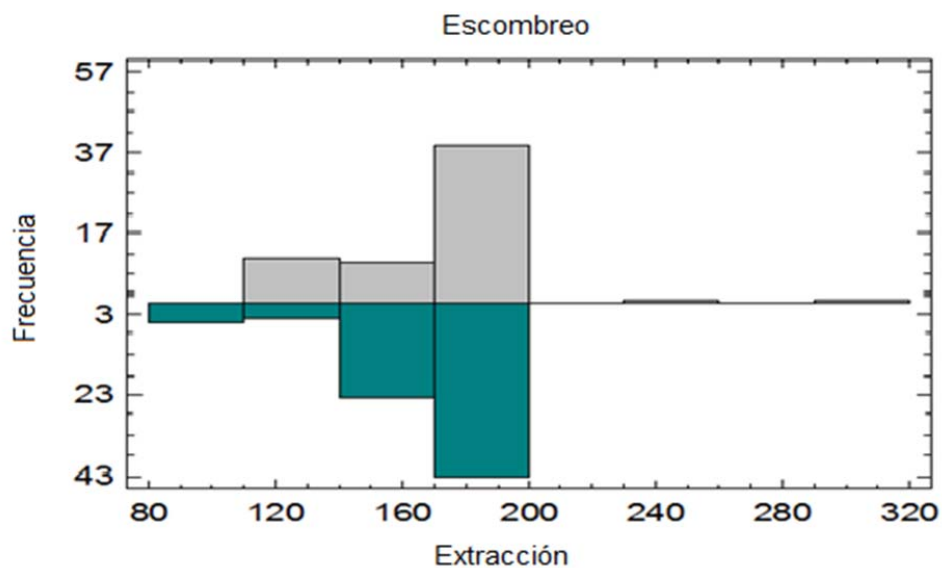


Figura 3.1. Histograma de frecuencia para el ciclo de trabajo de extracción durante las operaciones de escombreo y extracción.

Para el análisis de los valores de la muestra a partir de las condiciones de humedad como propiedad físico – mecánica, ya que la misma relaciona algunas de las propiedades enunciadas en la tabla 1.2 del capítulo 1, por tanto fue la variable seleccionada para el análisis desde el punto de vista de la influencia en las operaciones mineras analizadas.

Para este análisis se realiza una prueba F de Fisher para establecer una prueba de hipótesis y así determinar la significancia de la muestra seleccionada, determinado por las ecuaciones 2.12 y 2.13. En la tabla 3.4 se muestran los resultados.

Tabla 3.4. Prueba F para varianzas de dos muestras de los valores de humedad correspondiente.

Parámetros	Valores de las variables	
	Variable 1 (36 ⁰)	Variable 2 (38 ⁰)
Media	150,52	185,39
Varianza	627,07	239,84
Observaciones	50	76
Grados de libertad	49	75
F	2,6145	
P(F<=f) una cola	8,5788E-05	
Valor crítico para F (una cola)	1,5214	

Esta opción ejecuta una prueba F de Fisher, para comparar las varianzas de las dos muestras. También construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0,23 hasta 0,63 Puesto que el

intervalo no contiene el valor de 1, existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un 95 %.

Esta opción ejecuta una prueba t – student para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde 27,73 hasta 42,02. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95 %, utilizando las ecuaciones 2.14 y 2.15.

Tabla 3.5. Prueba t – student para dos muestras de humedad de varianzas desiguales.

Parámetros	Valores de las variables	
	Variable 1 (36 ⁰)	Variable 2 (38 ⁰)
Media	150,52	185,39
Varianza	627,07	239,84
Observaciones	50	76
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	74	
Estadístico t	-8,8024	
P(T<=t) una cola	1,965E-13	
Valor crítico de t (una cola)	1,6657	
P(T<=t) dos colas	3,93E-13	
Valor crítico de t (dos colas)	1,9925	

A partir de los valores de las muestras se establece el criterio de t – student para determinar el criterio de las hipótesis y así conocer la media del tiempo promedio para los valores de humedad determinado en el terreno. En la tabla 3.5, los resultados de los estadísticos determinados; donde el estadístico $t = 1,9925 < |t_{calc}| = 8,8024$; entonces se rechaza la hipótesis nula y se adopta la hipótesis alternativa.

Es decir que al ejecutarse una prueba F de Fisher para evaluar una hipótesis específica acerca de las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1,0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente no es igual a 1,0. Puesto que el valor P calculado es menor que 0,05; se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

Mediante un histograma se analiza la frecuencia de las muestras en las operaciones de extracción del mineral y escombreo a los diferentes valores de humedad del terreno a partir de las celdas de los bancos, por tanto es posible observar que a valores de 38° de humedad existen valores concentrados en intervalo de 160 a 200 segundos durante el laboreo minero; entre tanto para 36° de humedad que es la característica para estos yacimientos, divididos pero con mayor frecuencia en el intervalo de 140 a 160 segundos.

Es necesario destacar que estos valores de humedad del terreno a 36° son en las celdas superiores de los bancos o donde se realizan labores de escombreo de los bancos ya explotados, en cuanto a esta humedad determinada de 38° en las celdas superiores a 6 metros de profundidad en las labores de minería y en relación al escombreo es el material existente relativo a esa profundidad.

Esta humedad elevada influye en los trabajos de laboreo minero, ya que el equipamiento emplea mayor potencia para realizar los trabajos de corte en los yacimientos para arrancar la mena laterítica. Acción que incide directamente en el accionamiento hidráulico debido a que en el periodo ocurrieron lluvias por tanto compacta el terreno y este esfuerzo (tensiones a tracción) en las acciones de arranque provoca averías o fallas en la pala hidráulica y el sistema de accionamiento.

En la figura 3.2, se muestra el histograma de las frecuencias determinadas a los valores expuestos de humedad.

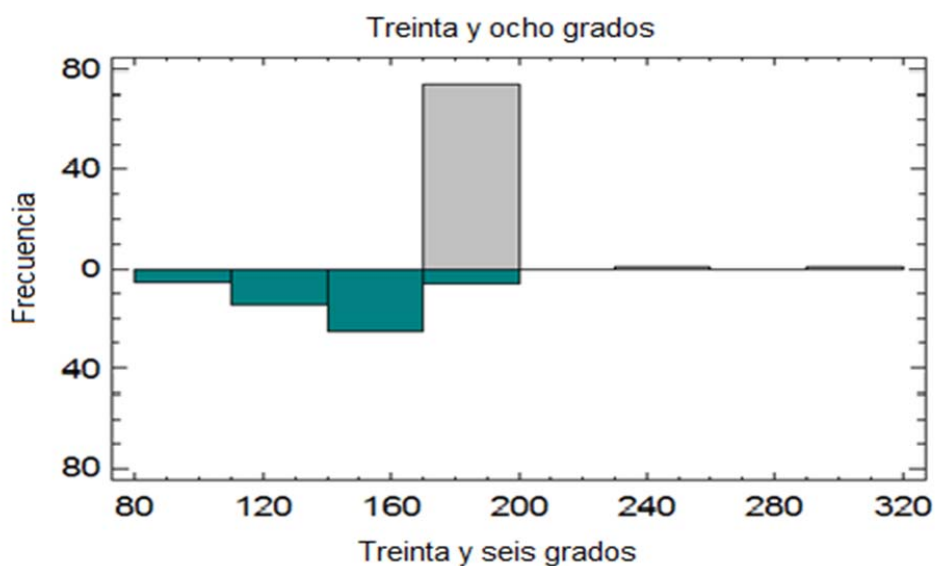


Figura 3.2. Histograma de frecuencia para los valores de humedad que presentan los yacimientos lateríticos en explotación.

En las investigaciones de Mediaceja (2007); Sierra *et al.*, (2009) y Otaño (1981) se evidencia que los valores de humedad determinados son similares a los obtenidos en la presente investigación, coincidiendo en el rango de 36 a 38° en las diferentes capas de explotación mediante el sistema de bancos múltiples.

3.4. Relación entre los índices de la fiabilidad

La mantenibilidad es uno de los elementos fundamentales para establecer el tiempo de trabajo del equipo; este parámetro se determina a partir de las horas fuera de servicio, ya sea cuando ocurre una falla o se encuentra en período de mantenimiento; esto dará un tiempo medio donde sería posible la reparación de los equipos; determinado a través de la expresión 2.17. En la tabla 3.6 se muestran los tiempos promedios por cada uno de los meses correspondiente a la reparación por explotación del equipo.

Tabla 3.6. Tiempos promedios para reparación del equipo de excavación – carga durante su explotación.

Meses	Tiempo promedio para reparación(TPPR) (h)
enero	6,67
febrero	5,33
marzo	8,5
abril	6
mayo	103,27
junio	6,5
julio	7,17
agosto	6,5
septiembre	6,33
octubre	4,33
noviembre	6,67
diciembre	8,33

En la tabla anterior se expresa la variable tiempo promedio para la reparación (TPPR) correspondientes a los meses del año 2016, es necesario especificar que el equipamiento no parte desde cero ya que presentan un tiempo de explotación acumulado, reflejado en la tabla 3.1, se observa que este tiempo promedio de reparación fluctúa a partir de la acumulación de horas efectivas para la realización de las labores en las operaciones mineras, el mes de mayo presenta los valores más elevados del tiempo promedio debido a

la ocurrencia de fallas y por el mantenimiento, fundamentalmente en los sistemas de accionamientos y en el brazo hidráulico debido a la fuerza de tracción por la concentración de humedad en el terreno.

Lores (2017); Da Mata (2017) y García *et al.*, (2013) certifican que las operaciones de reparación se determinan por la tasa de fallos (β), que muestra los fallos del equipamiento y el tiempo de reparación a partir del tiempo de explotación, que en el caso del equipamiento de estudio es correcto ya que el equipo no presenta tantas horas acumuladas de utilización por tanto no debe de ser elevado el tiempo acumuladas de reparación.

Tabla 3.7. Tiempos promedios entre fallas del equipo de excavación – carga.

Meses	Tiempo promedio entre fallas (TMEF) (h)
enero	429,48
febrero	461,52
marzo	434,19
abril	447,17
mayo	414,75
junio	448,32
julio	430,75
agosto	429,05
septiembre	447,94
octubre	432,94
noviembre	448,63
diciembre	433,77

En la tabla 3.7, se analiza el comportamiento del período de trabajo de los equipos sin la ocurrencia de fallas o tiempo promedio entre fallas (TMEF); esta variable expresa el comportamiento del equipamiento a partir de las horas efectivas y permite evaluar el comportamiento de la utilización de estos durante la explotación en las labores mineras, con el empleo de la ecuación 2.18. Los resultados obtenidos denotan la estabilidad durante el desarrollo de los trabajos, por supuesto hay que señalar que el equipamiento es relativamente nuevo y no es frecuente encontrar averías o paradas de los mismos a no ser las planificadas por mantenimiento, aunque en el mes de mayo disminuyeron relativamente las horas promedio de trabajo, por la ocurrencia de averías y el tiempo que se encontraba en el taller por reparación, ocasionadas fundamentalmente por lo planteado en el estudio de la influencia de la humedad y en el tiempo promedio para reparar.

El tiempo promedio de explotación es determinado por la combinación del TMEF y TPPR, estos valores van relacionados con el tiempo de explotación del equipamiento y varían, por la actividad y la utilización del equipo; por tanto los valores obtenidos evidencian, tomando como referencia estas investigaciones el comportamiento del equipamiento en las actividades mineras, expuesto por Santiago (2012), Guerra (2012), Lores (2017) y García (2013).

A partir de la determinación del tiempo de trabajo promedio podemos establecer la vinculación del TMEF y el TPPR del equipamiento de excavación – carga, para conocer la relación de estas variables en torno a la explotación, los periodos de mantenimiento y establecer la disponibilidad de los equipos a partir del tiempo que promedian los equipos durante el laboreo minero. La relación entre estos parámetros que se reflejan en la figura 3.3, en los resultados a partir de la vinculación entre las variables mencionadas se constata que en el equipamiento la ocurrencia de interrupciones y de averías es mínima; solo en el mes de mayo un tiempo algo prolongado por la aparición de averías en los agregados del equipamiento, donde se tuvo que recurrir al mantenimiento por reparaciones, además del mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo que estaba planificado por la política del departamento de mantenimiento.

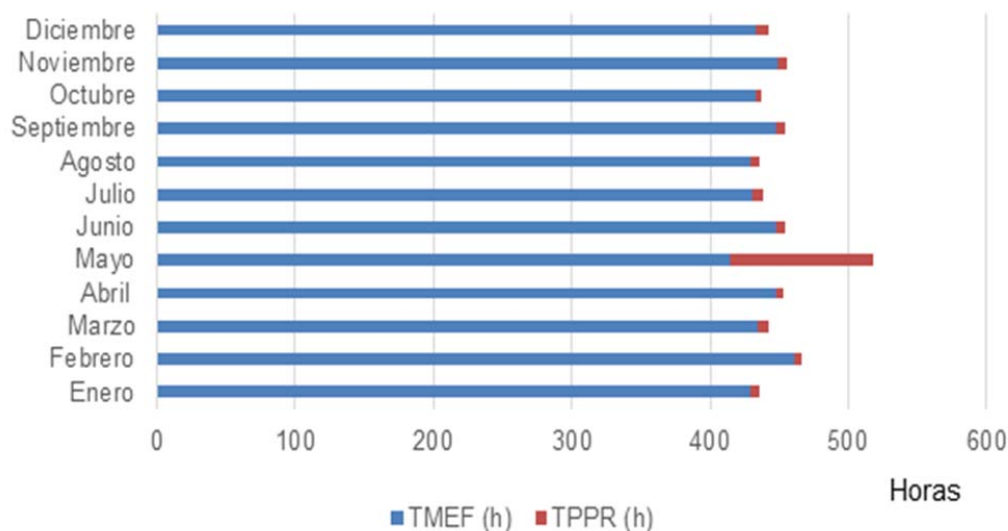


Figura 3.3 Relación de las variables TPPR y TMEF para determinar las disponibilidad técnica en el equipo de excavación – carga.

Por lo tanto, el tiempo promedio de trabajo del equipo que relaciona las horas efectivas destinadas a la explotación en cuanto al desempeño durante las operaciones mineras. Los cálculos de esta variable se basan en la expresión 2.19, a partir de la variable determinística alpha, tiempo promedio útil del equipo; beta, tasa de incidencias y gamma que es la relación exponencial de la tasa de fallos y el tiempo de trabajo promedio, este tiempo promedio representa el promedio de horas de utilidad que presenta el equipo durante su explotación continua sin presentar fallas o interrupciones para la realización de los periodos de mantenimiento. Este tiempo promedio expresa el posible índice de utilización del equipo a partir de la disponibilidad que tiene el mismo respecto a la planificación que tienes los equipos en el desarrollo de las actividades mineras.

El tiempo promedio determinado expresaría la planificación de trabajo de los equipos de excavación – carga de la UBM de manera continua, de esa forma establecer los tiempos sin ocurrencia de fallas y los diferentes tipos de mantenimientos, este tiempo se expone en la tabla 3.8., empleada la ecuación 2.19 para su determinación.

Tabla 3.8. Tiempo promedio de trabajo de los equipos de excavación

No.	Equipamiento de excavación	Tiempo medio de trabajo $E(t)[hrs]$
1	– carga	829,90

Con este tiempo es posible realizar la planificación de la disponibilidad técnica en las diferentes operaciones del laboreo minero que efectúan en el frente de carga.

3.4.1. Determinación de la disponibilidad técnica del equipamiento en las diferentes actividades del laboreo minero

Los equipos mineros trabajan continuamente en régimen de 24 horas los 365 días del año mediante el régimen de 2 de turnos de trabajo diarios, estos generalmente sufren desgastes prematuros por las difíciles condiciones en las que desarrollan su labor, y por tanto presentan una tasa de fallas a medida que aumenta su tiempo de explotación, por tanto estas paradas programadas o no programadas afectan la planificación de la explotación de los mismos y estas cuestiones inciden directamente en la disponibilidad de los equipos.

En la figura 3.4, se muestra el comportamiento del equipamiento mensual de la disponibilidad técnica al realizar las diferentes labores de explotación en los yacimientos

lateríticos. Observándose que presenta estabilidad durante su explotación, menos el mes de mayo donde los valores descienden desde un 98,68 % hasta un 80 %, a partir de la explotación en terreno de humedad relativamente elevada (36 a 38°) donde el esfuerzo a la tracción y aumento de la potencia influye en la ocurrencia de fallas en el brazo hidráulico, además de las menas que se adhieren a la pala y la forma de limpiarla es el golpeo del cubo contra el soporte del hidráulico, cuestiones que dañan la funcionabilidad y operacionabilidad del equipamiento. Además existieron causales en la aceleración y otras expuestas en el acápite 3.2.1. Estos resultados están relacionados con lo obtenido en la relación entre los tiempos promedios para reparar y el tiempo medio entre fallas donde los aspectos relacionados anteriormente son los causales por el resultado de esta baja disponibilidad durante la explotación del equipamiento, conociendo que el estado técnico del equipamiento es bueno, se emplea la ecuación 2.27 para el cálculo de la variable.

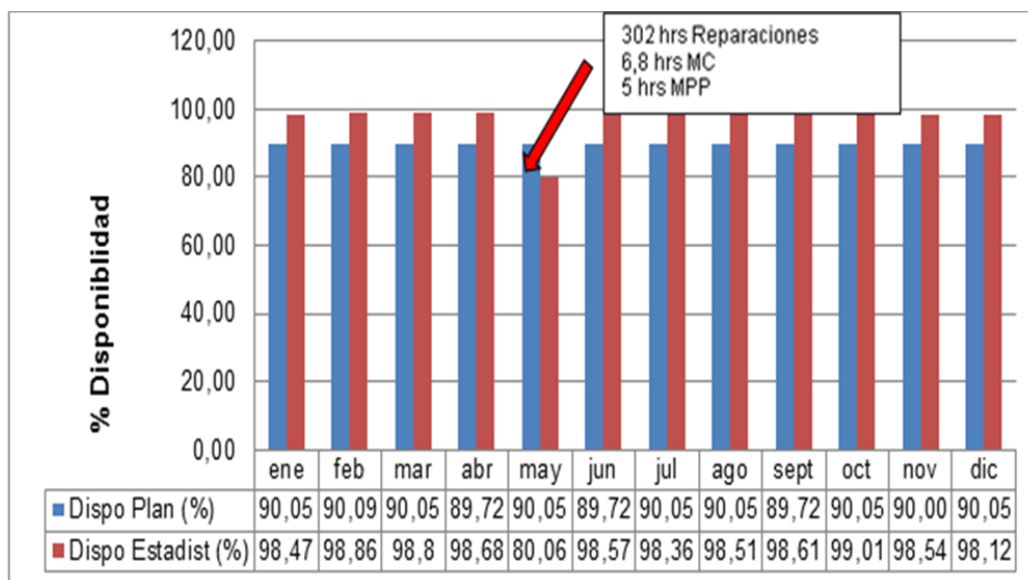


Figura 3.4. Disponibilidades del equipo de excavación – carga durante el laboreo minero.

Estas disponibilidades obtenidas van en relación de los trabajos que realiza el equipamiento de manera general, en las tareas que se encuentran planificadas para la explotación del mismo en cuanto a las labores que se ejecutan en la UBMECG.

No obstante se analizaron dos actividades correspondientes a las tareas que cumplen los equipos de excavación – carga, el escombreo y la extracción, para certificar el comportamiento desde el punto de vista técnico en la utilización del equipamiento.

Para el análisis por el método determinístico, se toma una población de 365 días del año, se calcula la muestra válida de esta población, cuyo resultado es, con la utilización de la ecuación 2.4, un valor representativo de 77días, por tanto los mismos se hacen coincidir con la utilización de la tabla de los números aleatorios, según (Spiegel, 1976), con la selección de éstos se revisa la planificación correspondiente a la actividad de explotación minera específica, donde es posible conocer el estado en que se encontraba el equipamiento.

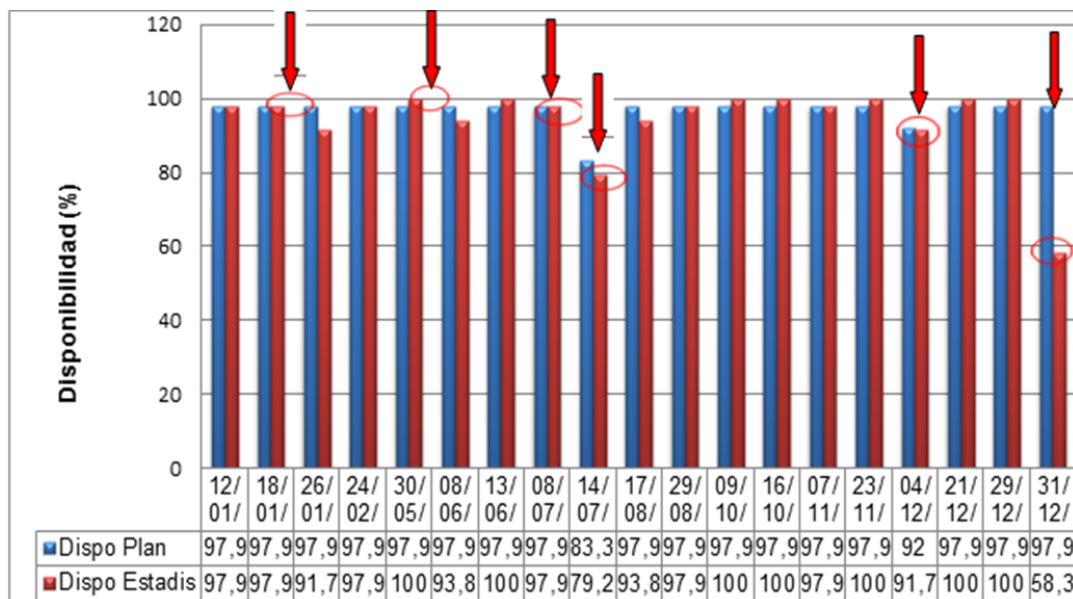


Figura 3.5. Disponibilidad técnica de los equipos de excavación - carga en labores de extracción.

En la figura anterior se refleja los días correspondientes a la planificación orientada a la ejecución de los trabajos de extracción, según la selección representativa de la muestra, observándose una disponibilidad de manera estable; solo en el caso de los días especificados donde la disponibilidad técnica obtenida se encuentra por debajo de la planificada, esto viene dado por causales fundamentalmente dirigidos a intervenciones de mantenimiento y ocurrencia de averías que se exponen en la tabla 3.9.

Cabe destacar que las operaciones ejecutadas por este equipamiento en lo referente a la extracción del material y el traslado en el área de excavación.

Tabla 3.9. Afectaciones por horas de mantenimiento y averías del equipamiento de excavación – carga durante los días planificados para la realización de la minería.

No.	Días seleccionados	Horas en intervención (hrs)	Causa por intervención
1	26/1	2	1250 hrs de explotación (MPP)
2	8/6	1,5	1 hrs (Mtto correctivo) 0,5 revisión
3	14/7	5	4000 hrs de explotación (MPP) 2 hrs (Mtto correctivo)
4	17/08	1,5	1 hr(Mtto correctivo) 0,5 revisión
5	4/12	2	6500 hrs de explotación (MPP)
6	31/12	10	Revisión general del equipo

En cuanto a los trabajos planificados en las tareas de escombreo, hay que tener en cuenta que estas labores se ejecutan en los bancos donde se realizó la extracción, pero a partir de la segunda capa de las celdas para la explotación, es decir, a una profundidad mayor a 6 metros y el material se encuentra expuesto para un posterior aprovechamiento, por tanto, son organizadas escombreras cerca del área de explotación. En esta actividad el equipo realiza operaciones de maniobra para el llenado de los camiones y se traslada poco por el área de escombreo.

Por tanto, las disponibilidades obtenidas en estas actividades resultan elevadas a partir del buen estado del equipamiento de excavación - carga, en la figura 3.6, se muestran los valores de las disponibilidades técnicas planificadas y obtenidas de equipamiento en torno a la actividad del escombreo.

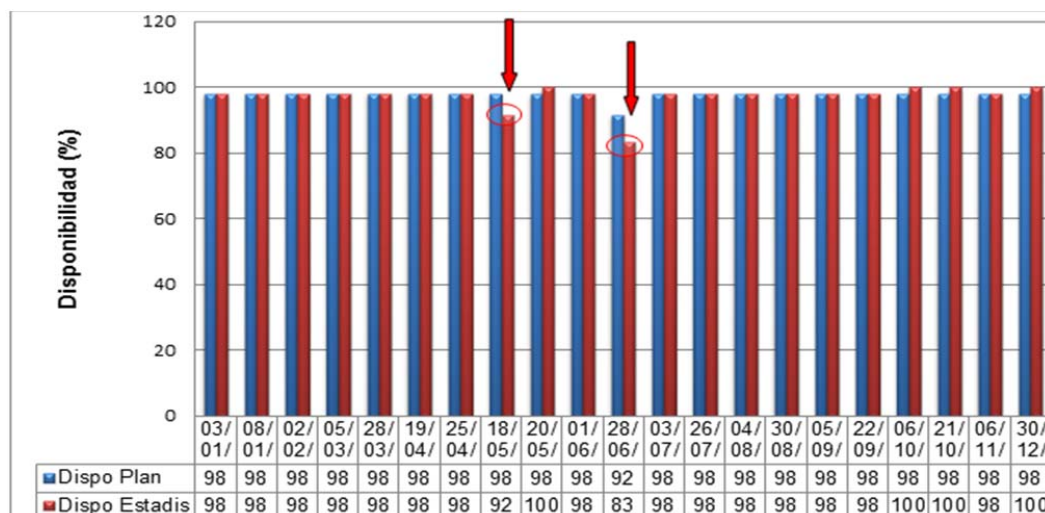


Figura 3.6. Disponibilidad técnica del equipamiento de excavación - carga en labores de escombreo.

En la tabla 3.10, se muestran los causales de la baja disponibilidad durante la realización de la actividad planificada según los días aleatorios correspondientes a la selección de la muestra obtenida.

Tabla 3.10. Afectaciones por horas de mantenimiento y averías del equipamiento de excavación – carga durante los días planificados para la realización del escombreo.

No.	Días seleccionados	Horas en intervención (hrs)	Causa por intervención
1	18/5	2	MC
2	28/6	4	2hrs (Mtto correctivo) 2hrs por 3750 hrs de explotación (MPP)

Estos valores obtenidos de la disponibilidad técnica posibilitan establecer un modelo de distribución exponencial, en particular la distribución de Weibull, para determinar el tiempo promedio de explotación a partir de las variables de entrada que no son posibles de controlar su evolución.

Por lo que el funcionamiento de equipamiento se mide con la variación que existe durante la explotación durante las actividades que realiza en la UBMECG.

Es recomendable realizar un diagrama de tiempo total. Graficar el tiempo total entre las fallas (T_i), dividido entre el tiempo total de la prueba hasta la última ($r - \text{ésima}$) falla observada, contra i/r . Como la población es exponencial, se observa una recta a 45° . Al obtener el patrón de línea recta, se puede concluir que no se notan violaciones del modelo exponencial en todo el rango de los tiempos de explotación entre las fallas. Si los puntos dan una curva sobre la línea de 45° , esta evidencia favorece a un modelo aleatorio.

El modelo ajustado obtenido $\text{Disponibilidad técnica} = 28,537 \cdot \text{TMEF} - 176,43$; esta ecuación muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre la variable dependiente Y_i , (en este caso la disponibilidad técnica), y la variable independiente X_i , (el TMEF) para establecer la relación de esta variable con la disponibilidad técnica.

En el particular se seleccionan de una población una muestra representativa de 10 meses para establecer el modelo anteriormente expuesto. Para la realización del gráfico se emplean las ecuaciones 22.5 y 2.26.

En la tabla 3.11, se expresan los valores generales de la estadística de regresión para establecer la validez de los datos analizados.

Tabla 3.11. Estadística del modelo de regresión de las variables (TPPR y TMEF) que se relacionan con la disponibilidad técnica como variable salida.

No.	Parámetros estadísticos	Valores
1	Coefficiente de correlación múltiple	0,9234
2	Coefficiente de determinación R^2	0,8528
3	R^2 ajustado	0,8343
4	Error típico	0,3047
5	Observaciones	10

Puesto que el valor R en la tabla ANOVA es menor que 0,05; existe una relación estadísticamente significativa entre Y_i y X_i con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 83,43% de la variabilidad en Y_i , (la disponibilidad técnica). El coeficiente de correlación es igual a 0,92; indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,305. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.

En la figura 3.7, se muestra el modelo obtenido a partir de la distribución de Weibull con la representación del comportamiento estadístico de los datos seleccionados.

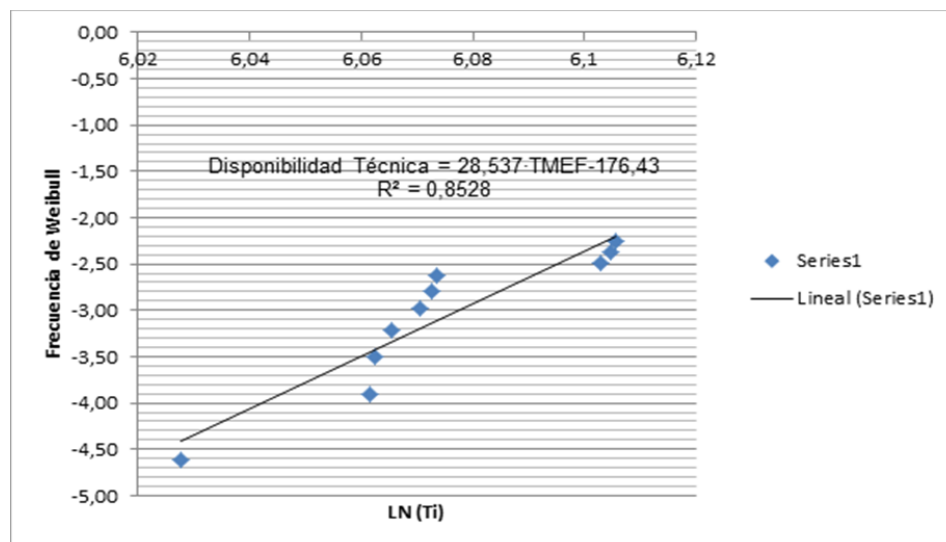


Figura 3.7. Diagrama de la distribución de Weibull para la relación entre las variables independientes con la disponibilidad técnica.

Los estudios realizados por Tamborero (1994), Augusto (1999), Shkiliova *et al.*, (2007), Miller *et al.*, (2005) y Luna (2010), certifican que el modelo por distribución de Weibull se obtiene un modelo lineal ya que el comportamiento del tiempo a pesar que oscila, por tiempo de explotación, su comportamiento es lineal y el ajuste cuadrático del mismo para certificarlo debe encontrarse por encima del 75 %, por lo tanto el modelo obtenido se encuentra acorde con las investigaciones tomadas como referencia.

3.5. Indicadores productivos del equipamiento de excavación – carga

En la tabla 3.14, se encuentran los principales valores de los indicadores productivos de los equipos de excavación – carga que se estudiaron en las operaciones que se desarrollan por parte de la UBMECG.

Con estos valores es posible determinar los indicadores de rendimiento, además de establecer teóricamente los niveles de productividad del equipamiento partiendo de las actividades mineras que se planifican para estos equipos de excavación – carga.

Los niveles productivos observados en la tabla a continuación expresan la masa de mineral que se planifica a extraer por el equipamiento en las jornadas de trabajo divididos en los turnos de los operadores, durante la realización del escombreo y la extracción.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los indicadores; 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.32.

Tabla 3.14. Indicadores productivos de los equipos de excavación – carga.

No	Parámetros	UM	Valores
1	Coficiente de esponjamiento		1,37
2	Productividad de la retroexcavadora	t/h	148,08
3	Capacidad volumétrica	m ³	4,75
4	Capacidad real de carga del cubo	t	5,36
5	Productividad teórica	m ³	400
6	Productividad por turno de la retroexcavadora	m ³ /turno	2516,3
7	Productividad por turno	m ³ /turno	30195,6
8	Productividad técnica	m ³ /h	41,38
9	Productividad de explotación	m ³ /h	34,76
10	Productividad por turno	m ³ /turno	417,11
11	Productividad anual	m ³ /año	304490,3

3.6. Relación entre la disponibilidad técnica y la productividad del equipamiento en el laboreo minero

Con los datos obtenidos de la disponibilidad técnica es posible establecer una relación con unos de los indicadores de rendimiento, que fija el comportamiento del equipamiento; en el

caso en cuestión es la productividad; que evalúa el funcionamiento del equipo a partir de las actividades mineras planificadas, las horas hábiles y la planificación del mantenimiento.

Este indicador, productividad técnica, permite establecer una relación con la disponibilidad técnica, ya que es necesario tener un nivel de utilización del equipamiento para la realización de la explotación, debido a esta condición es posible evaluar el comportamiento del equipamiento en las tareas de la minería en las diferentes áreas de explotación de los yacimientos.

En la figura 3.8, se muestra como los valores de la disponibilidad técnica obtenidos y analizados en los acápite anteriores y cómo influyen en la productividad del equipamiento que se determina según la ecuación 2.33, donde las variables fundamentales a parte de las mencionadas es el coeficiente de utilización y el rendimiento efectivo del equipamiento.

En esta relación se observa que en el mes de mayo se obtienen los valores más bajos de la productividad técnica, ya que como se analiza en acápite anteriores el comportamiento de la disponibilidad técnica disminuye por los causales anteriormente expuestos.

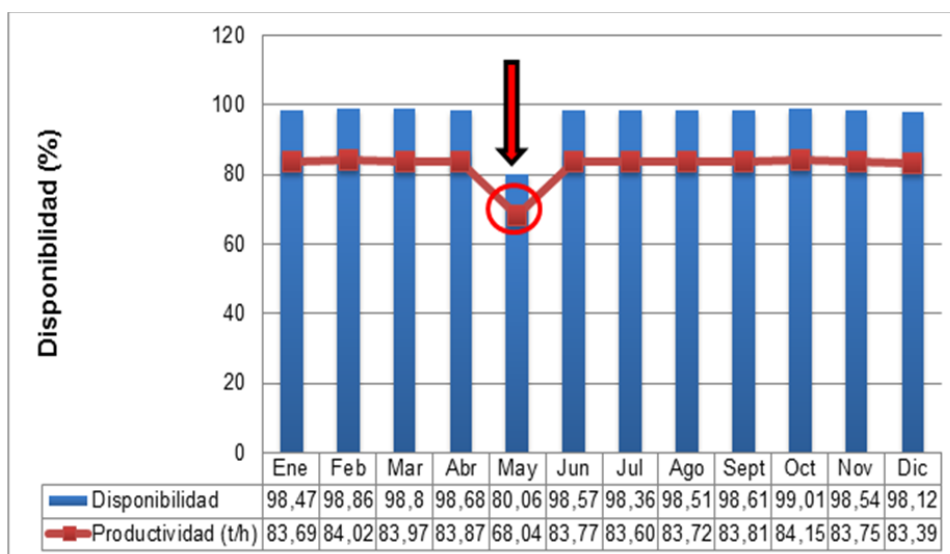


Figura 3.8. Relación disponibilidad técnica con la productividad del equipamiento de excavación – carga.

En cuanto al resto de los meses el comportamiento es estable debido a la influencia de la disponibilidad técnica en la explotación y los niveles alcanzados de la productividad en los trabajos de explotación en los yacimientos.

En la tabla 3.12 se expresan los valores del análisis de regresión para validar los resultados de la relación de la disponibilidad técnica con la productividad.

Tabla 3.12. Estadística del análisis de regresión en la relación disponibilidad técnica y productividad.

No.	Parámetros estadísticos	Valores
1	Coefficiente de correlación múltiple	1,0
2	Coefficiente de determinación R^2	1,0
3	R^2 ajustado	1,0
4	Error típico	0,0025
5	Observaciones	10

Obteniendo a partir de este análisis un modelo donde la variable dependiente es la productividad según los valores de disponibilidad técnica determinada, cuyo modelo de la ecuación ajustada es $Productividad = -0,0153759 + 0,851718 \cdot Disponibilidad\ técnica$, a partir de un promedio de 97,04 % de disponibilidad técnica se tienen valores promedio de la productividad de 82,48 t/h; en la figura 3.9, se encuentra el modelo obtenido. Este modelo es en relación a la disponibilidad técnica determinada durante la explotación del equipamiento de excavación – carga durante todas las actividades del laboreo minero.

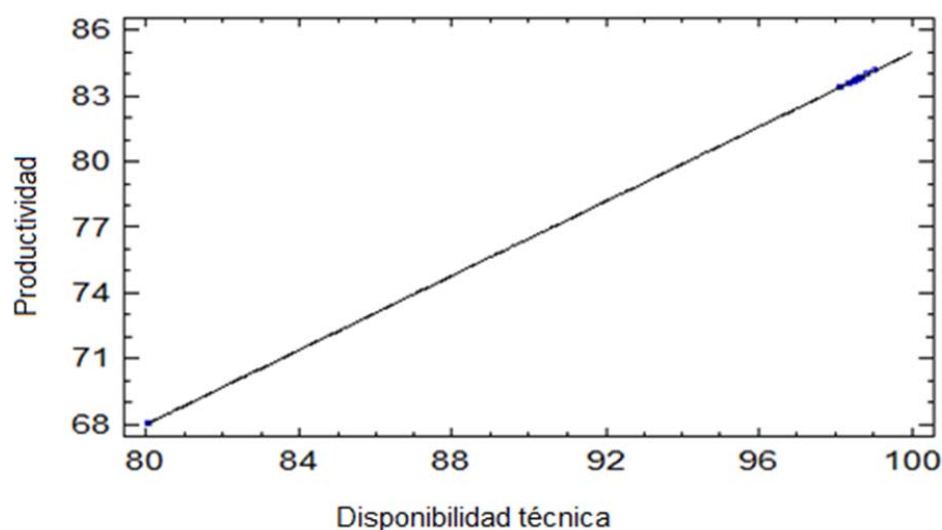


Figura 3.9. Gráfico del modelo estadístico obtenido de productividad en correspondencia a la disponibilidad técnica del equipamiento en el laboreo minero.

Es posible establecer que la disponibilidad técnica tiene una relación con la productividad del equipamiento de excavación – carga, expresada en análisis anteriores a partir de

conocer la explotación del mismo, por tanto se analizan las operaciones que se ejecutan a partir de la planificación de la explotación.

En las actividades mineras en general se obtienen los resultados similares donde existen bajos niveles de productividad en el equipamiento en correspondencia de la disponibilidad técnica, de igual manera sucede en los días de elevada disponibilidad técnica.

En la figura se observa el análisis de los datos obtenidos en relación de la disponibilidad técnica con la productividad, donde se observa que las dificultades de niveles de productividad por debajo de la planificación existen donde existió dificultades en la disponibilidad técnica del equipamiento.

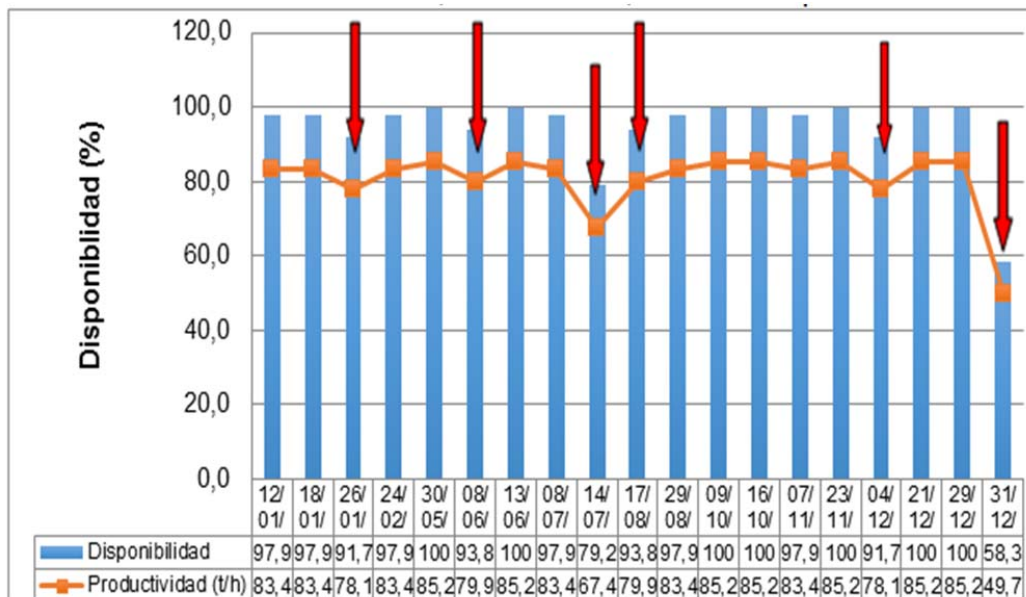


Figura 3.10. Relación disponibilidad técnica con la productividad del equipamiento de excavación – carga en las operaciones de extracción.

Por tanto con los datos obtenidos es posible establecer un modelo referido a las variables que se relacionan, dando a lugar que su expresión seria:

$$Productividad\ extracción = -0,00128644 + 0,851718 \cdot Disponibilidad\ extracción.$$

La figura 3.11 muestra el gráfico de este modelo para las actividades de extracción; con promedio de 94,5 % de disponibilidad técnica se obtienen valores promedios de productividad de 80,5 t/h.

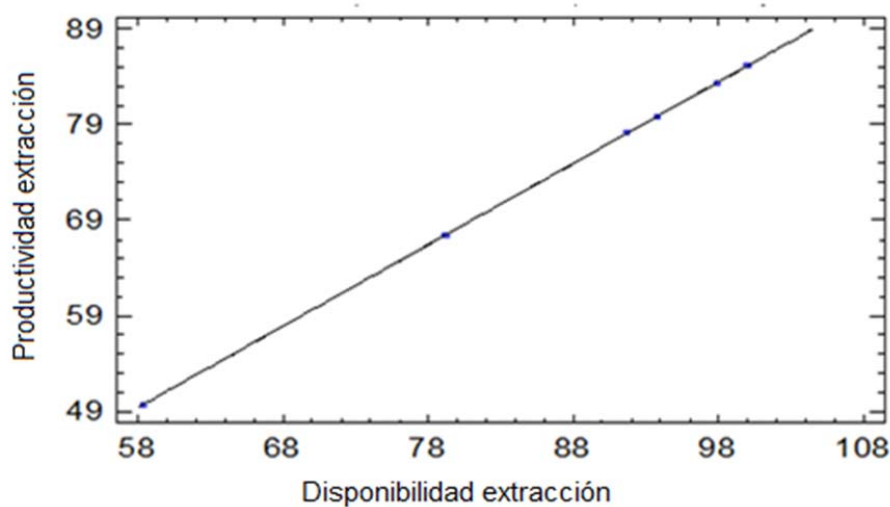


Figura 3.11. Gráfico del modelo estadístico obtenido de productividad en correspondencia a la disponibilidad técnica del equipamiento en labores de extracción.

En las labores de escombrecido de igual manera que en la actividad de extracción se expresan los datos obtenidos de acuerdo con los días analizados a partir de la disponibilidad técnica y se obtienen los resultados similares anteriormente analizados.

En la figura 3.12, es posible establecer la relación entre las variables en las labores de escombrecido por los equipos de excavación – carga, donde se refleja a partir de los resultados que donde existen problemas de disponibilidad técnica entonces bajan los niveles de productividad, dificultando la planificación realizada para esta actividad.

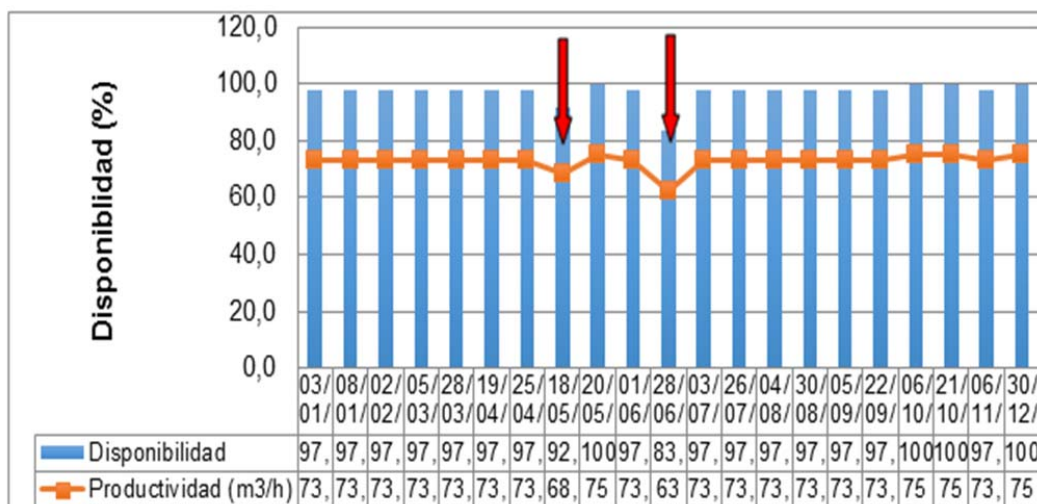


Figura 3.12. Relación disponibilidad técnica con la productividad del equipamiento de excavación – carga en las operaciones de escombrecido.

Con los datos obtenidos en esta operación es posible establecer un modelo referido a las variables que se relacionan, dando a lugar que su expresión sería:

$Productividad\ escombrego = -0,441844 + 0,754461 \cdot Disponibilidad\ escombrego$. La figura 3.13 muestra el gráfico para las actividades de escombrego; a partir de un promedio de 97,3 % de disponibilidad técnica los valores obtenidos promedios de productividad de 73 m³/h que ocurren en los niveles de máxima disponibilidad técnica, según los datos del modelo matemático.

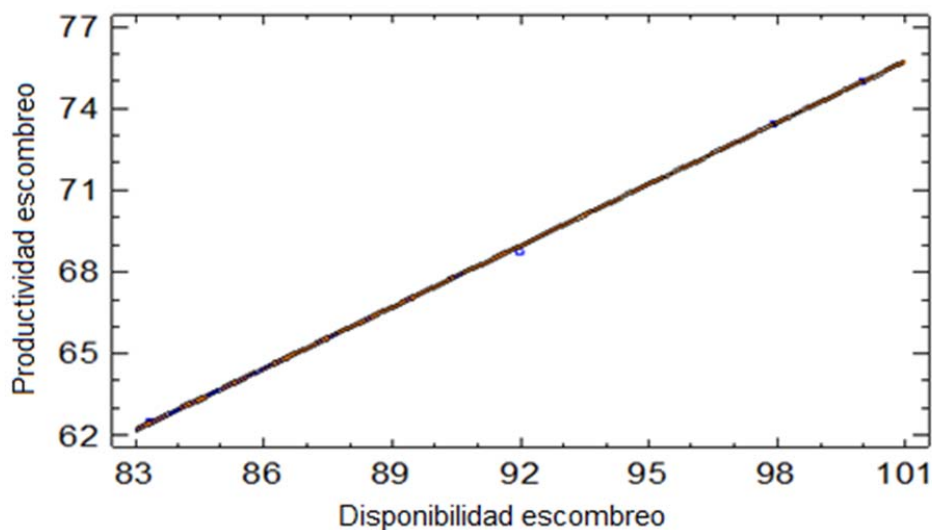


Figura 3.13. Gráfico del modelo estadístico obtenido de productividad en correspondencia a la disponibilidad técnica del equipamiento en labores de escombrego.

En los estudios de Marsillí *et al.*, (2011), García *et al.*, (2013) se puede obtener un modelo con la relación de las variables disponibilidad técnica y productividad, ya que existe una dependencia para la ejecución las actividades y la planificación debida de la explotación del equipamiento, por tanto esa relación se establece en la investigación relacionando las variables por cada actividad minera que ejecuta el equipamiento de excavación – carga.

3.7. Parámetros tecnológicos e indicadores de rendimiento del equipamiento de excavación – carga

La ecuación expresión 2.34, provee la posibilidad de obtener el rendimiento de los equipos en el desarrollo de las actividades. Para la obtención de estos valores se preparó un polígono con el objetivo de medir la capacidad de carga real del cubo al momento de la

extracción, así conocer el volumen de carga y la cantidad de cubos necesarios para llenar un vehículo de acarreo.

Según los datos técnicos del equipo, la capacidad nominal del cubo es de 3,5 m³; al realizar la determinación en la práctica se obtuvo un valor real de 4,76 m³ ó 5,36 t; valor utilizado para realizar los cálculos necesarios con el fin de determinar los diferentes indicadores de rendimiento.

Tabla 3.13. Cálculo de rendimiento nominal y rendimiento real.

Equipamiento de excavación	Rendimiento nominal (t/h)	Rendimiento real (t/h)
	113,64	73,87

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

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

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

Los valores obtenidos muestran el desempeño y con la producción realizada se obtiene las variables de rendimiento, eficiencia productiva, índice de utilización y de disponibilidad, indicadores esenciales para evaluar el funcionamiento del equipo, que se muestran en la 3.15, con el empleo de las ecuaciones 2.36, 2.37, 2.38, 2.39, 2.40, 2.41, 2.42, 2.43, 2.44.

Tabla 3.15. Cálculo de los parámetros tecnológicos e indicadores de rendimiento de los equipos de excavación – carga.

No.	Parámetros tecnológicos e indicadores de rendimiento	UM	RE
1	Horas hábiles	(h)	8760
2	Horas mantenimiento	(h)	527
3	Horas disponibles	(h)	8 233
4	Horas efectivas	(h)	8 246
5	Horas imprevistas	(h)	53
6	Producción	(t)	619 369
7	Gastos totales por mantenimiento	(CUP)	28 707
8	Costo unitario	(CUP/t)	0,06
9	Costo horario	(CUP/t)	3,46
10	Índice de disponibilidad	(%)	94
11	Índice de utilización	(%)	99
12	Rendimiento efectivo	(t/h)	75
13	Eficiencia productiva	(%)	94
14	Rendimiento general	(%)	87,47

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

Estos valores comparados con los obtenidos por Guerra (2012), García (2013), Da Mata (2017), Lores (2017) y son equivalente pero con la condición que los equipos anteriormente estudiados aunque la marca es diferente, en ese caso LIEBHERR, pero es válido aclarar que el tiempo de explotación su acumulado era superior por tanto en aspectos como índice de disponibilidad, índice de utilización, rendimiento efectivo, eficiencia productiva y rendimiento general los valores eran inferiores, también causado por la baja disponibilidad técnica.

3.8. Valoración económica

En la evaluación de la explotación del equipo se tiene en cuenta los renglones económicos referentes al costo directo e indirecto; que incluye salario, combustible, costos por las diferentes operaciones de mantenimiento y los costos indirectos, todo esto asociado al costo de producción.

Costos directos

En la tabla 3.16, se muestran los costos directos relacionados con el salario del personal que labora en los turnos de trabajo de las retroexcavadoras hidráulicas, en este aspecto se cuentan las horas de trabajo de los operadores que se dividen dos por cada turno de trabajo, en este particular son dos operadores por turno, controlando las paradas por las operaciones de control, abastecimiento del equipo, alimentaciones de operadores y la medición topográfica, aunque se debe destacar que por esas operaciones en las labores en el frente se pierden aproximadamente 3,15 min que representan una afectación a la productividad de hasta 7 t/h.

Tabla 3.16. Costos originados por salario C_s .

Puesto de trabajo	Cantidad Operadores	Salario mensual (CUP/mes)	Tiempo de trabajo (meses)	Salario total (CUP/año)
Operador Retroexc.	4	477,82	12	22 935,36
Total	4	1 911,28	12	22 935,36

La tabla 3.17, están los costos originados a partir del consumo de combustible de los equipos durante las labores de trabajo, que en el particular las labores controladas en el frente de carga, la extracción y el escombreo, además del desplazamiento en el área de trabajo que desarrolla el equipamiento para la ejecución de las actividades mineras planteadas, es necesario destacar que este equipamiento se abastece en el frente de carga por tanto los camiones cisternas deben de desplazarse hasta su lugar de trabajo en el frente.

Tabla 3.17. Costos por concepto de combustible C_c .

Equipos	Cantidad Equipos	Consumo horario (l/hora)	Horas disponibles operación (h)	Precio del litro (\$)	Costo total (\$/año)
Retroexc.	1	47,4	8 265,7	0,77	301 681,52

Estos indicadores llevan a determinar el costo total en el que incurre el equipamiento por concepto de las labores en el frente de carga, realizando una sumatoria de los costos directos.

Costos directos durante el arranque

$$C_d (\text{arranque}) = C_s + C_c$$

$$G_d (\text{arranque}) = 22\,935,36 + 301\,681,52$$

$$G_d (\text{arranque}) = 324\,616,88 \text{ CUP/año}$$

Resumiendo que durante el arranque del material y en el cumplimiento de su ciclo de trabajo (desplazamiento – arranque – descarga), el equipamiento incurre en un costo total de 324 616,88 CUP/año, a partir del desarrollo de las diferentes actividades de la minería que se efectúan en el frente estudiado, en caso particular “Camarioca Este”.

En cuanto a los costos por mantenimiento del equipo de excavación – carga, la tabla 3.19 muestra los aspectos generales en cuanto a la mano de obra, materiales, el costo por operaciones, además de los equipos auxiliares que realizan trabajos de cooperación a este equipamiento que generalmente no se mueve, durante las operaciones de minería, del frente de carga.

Tabla 3.19. Costos por concepto de mantenimiento a la retroexcavadora hidráulica y al equipamiento auxiliar.

No.		Mano de obra (CUP)	Costo materiales (CUP)	Mtto equip. (CUP)	Costo operaciones (CUP)	Total (CUP)
1	Brigada de revisión y mantenimiento	1 540,88	21 024,64	0,00	1 852,51	24 418,03
2	Brigada de camiones	39,15	0,00	0,00	0,00	39,15
3	Brigada de equipos pesados	319,06	3 930,86	0,00	0,00	4 249,92
4	Total	1 899,09	24 955,50	0,00	1 852,51	28 707,10

A partir de los costos directos para la realización del arranque del material y los costos por concepto de mantenimiento del equipo de excavación – carga se tiene que los costos totales para efectuar las labores directas del trabajo minero:

Costos totales para las labores del trabajo minero

$$C_t = \text{Costos directos durante el arranque} + \text{Costos por concepto del mantenimiento}$$

$$C_t = 324\,616,88 + 28\,707,10$$

$$C_t = 353\,323,98 \text{ CUP/año}$$

Costos indirectos

La tabla 3.19, se encuentran los costos indirectos que relacionan la depreciación, como descuento que va a tener el equipo a medida que se va empleando en las labores de trabajo, que este costo incluye el tiempo que tiene el equipo laborando en la empresa, el mismo no deja de deducir aunque el equipo se encuentre con baja disponibilidad o este detenido por la ocurrencia de averías, este renglón económico está asociado al costo por producción.

Tabla 3.19. Gastos por concepto de depreciación de equipos G_d .

Equipos	Cantidad Equipos	Valor inicial (\$)	Vida útil (años)	Depreciación (CUP/año)
Retroexcavadora	1	1 034 892,68	17	60 876,04

Vale destacar que en estos cálculos se utilizaron la depreciación y no la amortización de los equipos por ser este el índice que se usa en los cálculos de la UBMCEG, igualmente, en dicha empresa la depreciación de un equipo es considerada en un 20% al año.

Costos totales asociados al costo de producción durante la explotación del equipamiento de excavación – carga durante el desarrollo de las actividades mineras.

$$C_t = \text{Costos directos y costos indirectos}$$

$$C_t = 353\,323,98 + 60\,876,04$$

$$C_t = 414\,200,02 \text{ CUP/año.}$$

3.9. Impacto medio ambiental

Durante la explotación de los equipos de excavación – carga de la UBMCEG, los mismos consumen 751 227,39 litros de combustible que genera al medio que nos rodea una exposición de unos 0,50 kg de CO_2 ; 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.

3.10. Conclusiones del capítulo

- Al estimar el tiempo promedio para la reparación (TPPR) se pudo determinar que, para este procedimiento, el equipamiento no parte desde cero ya que presentan un tiempo de explotación acumulado, el cual fluctúa a partir de la acumulación de horas efectivas para la realización de las labores en las operaciones mineras
- Se pudo determinar que los equipos mineros de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, laboran en régimen de 24 horas los 365 días del año, en dos turnos de trabajo, donde los mismos están expuestos al desgaste por las difíciles condiciones en las que desarrollan su labor, presentando tasa de fallas a medida que aumenta su tiempo de explotación, así como la disponibilidad de los equipos.
- La explotación minera genera afectaciones al medio ambiente, las emisiones de polvo generados por los camiones de carga desde la mina hasta la planta, así como las emisiones de CO₂ por el consumo de combustible durante el laboreo minero.

CONCLUSIONES GENERALES

- En la disponibilidad técnica para equipo de excavación y carga de mineral laterítico en las operaciones de escombreo y extracción, para un tiempo medio de trabajo de 829,90 horas se garantiza una productividad de 82,48 t/h, en las labores generales en el frente de carga, un promedio de 80,5 t/h en la extracción y en el escombreo de 73 m³/h, correspondiéndose con lo establecido para estas operaciones y corroborado en los modelos estadísticos obtenidos para cada operación.
- Se determina el rendimiento general de un 87,47 % y la eficiencia productiva 94 % teniendo en cuenta que las horas disponibles del equipo fueron 8 233 y un total de 527 horas para el mantenimiento, así como 97,04 % de la disponibilidad en el funcionamiento en las operaciones de laboreo minero.
- Durante el proceso de las actividades mineras, se consumen 751 227,39 litros de combustible que genera una exposición de unos 0,50 kg de CO₂ y alrededor de 25 kg de CO; sustancias que contaminan considerablemente al ambiente.
- Por concepto de costos totales durante el arranque, costos asociados al mantenimiento y los costos indirectos incluidos al costo de producción durante la explotación del equipamiento de excavación – carga en el desarrollo de las actividades mineras se incurre en un costo total de 414 200,02 CUP/año, definiendo que estos se corresponden con la disponibilidad del equipamiento.

RECOMENDACIONES

- Se propone al área de la Unidad Básica Minera emplear el procedimiento metodológico al objeto de estudio.
- Determinar la disponibilidad técnica en correspondencia al material de la mena que se adhiere al cubo de extracción durante las operaciones mineras.
- Aplicar un sistema de mantenimiento a la parte motriz del equipo de excavación carga, ya que el mismo realiza durante las operaciones de trabajo recorrido en el área de extracción.

Referencias Bibliográficas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR J. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. [en línea]. Revista Redalyc.org Tecnología, Ciencia, Educación, 25 (1), 2010: 15-26. [Consultado: 2018-07-13]. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>.
- ALPIZAR, E. MANTENIMIENTO. CAPÍTULO 5. [en línea]. 193 p. [Consultado: 2018-07-13]. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual4/cap5.pdf>.
- ARISTIZÁBAL TORRES, D. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa centrifugados CONSISA LTDA. Trabajo para optar por el título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2007.
- ARAPÉ, J. M. Implementación del mantenimiento preventivo en la fábrica nacional de cementos, división concretos y agregados. Trabajo para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. 2009.
- AUGUSTO, T. L. Índices de mantenimiento. Brasil. 1999.
- BACA, G. Ingeniería Económica. Fondo Educativo Panamericano. [en línea]. ISBN: 9589489133, 366 p. 2000. Sexta edición. Bogotá: [Consultado: 2018-07-13]. Disponible en: <http://Biblioteca2.Icesi.Edu.Co>.
- BALLESTER, F. Y CAPOTE, J. A. Máquina de movimiento de tierra. Criterios de selección. Editorial Pedeca. España. 405 p. 1992.
- BASABE DIAZ, F; BEJARANO GARCÍA, M. Estudio del impacto generado sobre la cadena de valor a partir del diseño de una propuesta para la gestión del mantenimiento preventivo en la cantera salitre blanco de Aguilar Construcciones S.A. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial. Bogotá. 2009.
- BENÍTEZ, L. Mejoramiento Continuo por Medio del Mantenimiento Productivo Total, 88 – 91p. En: Clase Empresarial, Bogotá. 1998
- BELETE, O. Máquinas de excavación - carga. Folleto. Editorial G-Art, Guantánamo. 60 p. 2000.

- BELETE, O.; DIEGUEZ, Y.; ESTENOZ, S. Rendimiento del equipamiento minero de arranque - carga - transporte de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Informe. ISMM. Cuba. 18 p. 2010.
- BEICHELT, F. A. *Replacement policy based on limiting the cumulative maintenance cost*. En: *The International Journal of Quality & Reliability Management*. Tomo 18, N° 1. 76 p. [Consultado 2017.10.30]. Disponible en: <http://gateway.proquest.com>. 2001.
- BUCKLEY, P. Uso de la excavadora hidráulica en construcción de caminos forestales. GILDEMEISTER S.A.C. En: Actas III Taller de producción forestal. Grupo de producción forestal/fundación Chile. Concepción, S.P. 1991.
- CABELLO, J. Propuesta doctrinal para la elección de un programa de mantenimiento. Tesis Doctoral. Escuela técnica superior de ingenieros industriales. Málaga. 2002
- CABREJOS BURGA, J. Contribución al mejoramiento de la gestión logística en el almacén del área de mantenimiento de maquinaria pesada en la empresa CYOMIN SAC, Dpto. de Cajamarca. Tesis para optar el grado académico de maestro en gerencia del mantenimiento. Universidad Nacional del Callao. 2012.
- CANCHICA, V. Diseño de un plan de mantenimiento basado en la metodología del “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad” para la flota de equipos de carga “Palas hidráulicas O&K de la mina Paso Diablo de carbones del Guasare, S.A. Trabajo especial para optar por el título de Ingeniero Industrial. 2007.
- CANDEAUX, G. Procedimiento para la adquisición y explotación del equipamiento minero para la empresa Cementos Santiago S.A. [Tesis Maestría]. ISMM. Cuba. 85 p. 2011.
- CARLOS, M.; DÍAZ, R.; GUEVARA, T.; CEPEDA, R.; BARRERA, H. Modelo para medición de eficiencia real de producción y administración integrada de información en Planta de Beneficio. [Boletín técnico]. 2013.
- CARMONA, J. Procedimiento para el mantenimiento predictivo en subestaciones de 115/34,5/13,8 kV, utilizando técnicas de termografía y ultrasonido. Caso de estudio. Empresa electricidad de Valencia. Trabajo especial de grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Electricista. 2008.
- CÉSPEDES, L; MEJÍA, S. Implementación de un Sistema de Indicadores para la gestión de Mantenimiento de una empresa textilera. Medellín, 2005, 194 p. Trabajo de grado

Ingeniería Mecánica. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

CHAVARRÍA, A. Mantenimiento juega un rol de primer orden para la reducción de los costos en la minería, 54 p. En: Mundo Minero, Lima. 2002.

CHIANG, L; OLIVARES PASTEN, L. El enfoque que proponen permite analizar máquinas con ciclo variable de trabajo. 2008.

CHIANG, PU-HAI., CHENG, FENG-TSUENG. FENG, CHING-JU. *Maintenance data collection record and its application to the logistics support management system. Journal paper. International journal of electronic business management.* vol.1, no.2 – 3, 139-45 p. Publisher: Electronic Business Manage. Soc, Taiwan. 2003

CISNEROS. Diseño de explotación a cielo abierto .Tesis para la selección de equipos mineros. 2003.

CRUZ, P.; MIRANDA C.; SHIKILIOVA; RIBET, MOLLEDA.; FERNÁNDEZ. A. Análisis de la disponibilidad técnica de la cosechadora de arroz CLAAS DOMINATOR 130. [Artículo]. 2013.

CUBA, Y. Perfeccionamiento de la transportación de la masa minera en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Trabajo de diploma]. ISMM. Cuba. 75 p. 2008.

CURBEIRA, D. Nueva dimensión de la teoría de la reposición y el mantenimiento. [Tesis en opción al título de Máster] en Matemática Aplicada. 2002.

DA MATA, A. Evaluación del ciclo de trabajo de los equipos de excavación – carga marca XCMG de la UBMECG. [Trabajo de diploma] ISMMM. Cuba. 2017.

DE LA PEÑA, R. Evaluación del equipamiento de excavación de la Unidad Básica Minera Comandante Ernesto Che Guevara (UBMECG). [Trabajo de diploma] ISMMM. Cuba. 2016.

DUARTE, J C. Mantenimiento centrado en confiabilidad usando métodos de simulación del ciclo de vida [En línea] Disponible en: <http://www.noria.com/sp/rwla/conferencias/mem/Duar...> [Consulta: 20 de junio de 2017]

- DUFFAA, RAOUF Y DIXON. Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control. Editorial Limusa Willey S.A. 32 – 42 p y 75 – 90 p. 2005.
- ESPINOZA, H; GONZÁLEZ, Y; PATIÑO, L; MARTÍNEZ, J. Diagnóstico y mejora del mantenimiento mediante planificación estratégica. Ingeniería química, ISSN 0210-2064, N°. 450, 78-84 p. 2007.
- ESTRADA, C. Calidad Total Aplicada al Mantenimiento, 32-34 p. En: Calidad & Excelencia, Lima, año 1 Vol. 6. 1995.
- ESTUPIÑÁN, E. 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. 2006.
- EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA. Procedimiento de puesta en marcha. Manual de gestión empresarial. Unidad básica de servicio técnico de la producción. 2005.
- EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA. Plan cinco años de minería. Departamento técnico de planificación. Unidad Básica Minera. 2012.
- EMPRESA ERNESTO CHE GUEVARA. Estudio de aprovechamiento de la jornada laboral en la UEB. Organización Empresarial Contrato 06/06.
- FABIÁN GRIJALVA, W. Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una planta de café soluble. Guatemala. 2003.
- FANG, J. TPM Mantenimiento Productivo Total, pp.38-40 En: Calidad y excelencia, Lima, Año 5 N° 21. Experiencia Coldex, implementación programa 5's, 56 – 58 p. En: Calidad y excelencia, Lima, Año 4. N° 18. 1999.
- FIGUEROA PÉREZ, A; TORRES CASTREJÓN, H; GARCÍA ZARATE, I; SÁNCHEZ SANTILLÁN, J; SUMANO GARCÍA, M. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo como estrategia de trabajo en el área de material rodante del S.T.C. Taller Zaragoza. Tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial. México. 2009.
- FEDCHENKO, A.A. *et al.* Economía de la empresa, Manual de problemas. San Petersburgo Universidad Técnica Estatal de minería. SPB, 96 p. ISBN 5-94211-242-8. 2004.

- FERNÁNDEZ, J. Sistema de mantenimiento preventivo planificado de las máquinas herramientas. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1986.
- GARCÍA D. Evaluación y planteamiento de mejoras en la Gestión de Mantenimiento del taller de Vehículos de mina (MCC), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Minera Loma de Níquel. Tesis de Grado de la Universidad Central de Venezuela. 2006.
- GARCÍA, M. I.; TÉLLEZ, R.; DONATIÉN, A.; PAUMIER, C.; RUIZ, G. Análisis del conjunto retroexcavadora, cargador – camión en arrendamiento sin opción de compras en las operaciones mineras. XV FORUM de ciencia y técnica. Municipal. 23 p. 2006.
- GARCÍA, M. I. Perfeccionamiento del procedimiento de adquisición y explotación de los equipos mineros en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Tesis Maestría,. 98 p. ISMM. Cuba. 2008.
- GUERRA, E.; GARCÍA, M. I. Análisis de los indicadores técnico - productivos en la transportación de masa minera y su influencia en la planificación minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. III Congreso Cubano de Minería. ISBN: 978-959-7139-83-6. 20 p. 2009.
- GARCÍA, M. I.; PEÑA, R. Análisis estadístico de la eficiencia de un equipo de minería para la optimización del reemplazo. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. V Congreso Cubano de Minería. Cuba. ISSN 2307- 499X. 2013.
- GARCÍA, M. I. Procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. 2013.
- GUADALUPE, E; ABAD, M. Diseño de un sistema de indicadores de producción. Facultad de Ingeniería en Mecánica y ciencias de la producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2008.
- GONZÁLEZ, R. Diseño estrategia operación centrada en confiabilidad para minera SPENCE S.A. Tesis para optar al grado de magister en gestión y dirección de empresas. Santiago de Chile. 2006.
- GUERRA, E; GARCÍA, M. I. Análisis de los indicadores técnico – productivos en la transportación de masa minera y su influencia en la planificación minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. 2009.

- GUERRA, E. Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Trabajo de maestría] ISMMM, en Minería. 89 p. 2012.
- HERRERA, J. Introducción al mantenimiento minero. Universidad politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de ingenieros en minas. 2009.
- HURTADO, J. Metodología de la investigación. Una comprensión holística. Caracas. Ediciones Quirón – Sypal. 2007.
- JUSTINO, T Procedimiento de cálculo del mantenimiento para minimizar los costos de los tiempos improductivos. Trabajo de diploma. ISMMM. Cuba. 2014.
- KEPNER – TREGOE. Detectando fallas en el sistema de detección de fallas. Inc. All Rights Reserved. TCC1.1.18. 14 p. Disponible en: <http://www.ktvenezuela.comtroubleshoot.pdf.pdf>. 2005.
- KLIMASASKAS, R. Mantenimiento en minería. Primera y segunda parte. En www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/mineria.pdf. Febrero de 2009.
- LORES, G. Evaluación de los indicadores de rendimiento de los equipos de excavación – carga. [Trabajo de diploma] ISMMM. Cuba. 2017.
- LUNA, ANA EUGENIA. Teoría de la confiabilidad [En línea] [Consulta: 15 de mayo de 2017] Disponible en: <http://focuslab.lfp.uba.ar/public/CursoTErrores2k4...>
- MALDONADO, H; SIGUEZA, L. Propuesta de un Plan de mantenimiento para Maquinaria Pesada de la empresa Minera Dynasty Mining del Cantón Portovelo. Tesis de Grado Universidad Politécnica Salesiana. Sede Cuenca. Cuenca-Ecuador. 2012.
- MANDELA, CH. Influencia de la pluviometría sobre la humedad natural de los suelos. Caso de estudio: Área de la Planta Ferroníquel Minera SA. Moa. [Trabajo de diploma] ISMMM. 2010.
- Mantenimiento mecánico. [En línea] [Consulta: 15 de mayo de 2017] Recuperado de http://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_44744_44743.pdf.

- MARCANO M. Diseño Modelo de Gestión de Mantenimiento Equipos Críticos. Trabajo de Grado para la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre Puerto Ordaz-Venezuela. 2013.
- MARSILLÍ MUSTELIER, Y; FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, L; LEÓN MARIÑO, M; ESTENOZ MEJÍAS, S. Análisis de indicadores y cálculo de la efectividad de la extracción y el transporte de mineral en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. IV Congreso cubano de minería (minería 2011). Procesos mineros MIN1-08. ISBN 978-959-7117-30-8. Cuarta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias. 2011.
- MARTÍNEZ, K. Análisis de fallas aplicados a los equipos de carga tipo scoop de la mina Isidora – Valle Norte, pertenecientes a la empresa minera Venrus C.A., El Callao – Estado Bolívar. Trabajo de grado presentado para optar al título de ingeniero industrial. Ciudad Bolívar, 2010.
- MAUGOLUD, U. Fundamentos de la teoría de fiabilidad de las máquinas de transporte minero. Moscú: Niedra. 1980.
- MAZA, J. El mantenimiento y la productividad. Ingeniería química, ISSN 0210-2064, N°. 450, 64-65 p. 2007.
- MBALONGANY, M. Estudio del rendimiento de los equipos de arranque y carga en la mina empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Trabajo de diploma, ISMMM. 2010.
- MÉNDEZ R, Y. Diagnóstico de los factores que afectan la producción en los equipos de la empresa cantera O' Rey C.A. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Minas. Minería de Campo. 2014.
- MEDIACEJA, Y. Comportamiento de la humedad durante el secado solar de los minerales lateríticos. Trabajo de maestría, ISMMM. 2007.
- MILLER, R.; *et al.* Probabilidad y Estadística para Ingenieros. La Habana. 25-30 p. 2005
- MONTGOMERY. D. C. Diseño y análisis de experimentos. La Habana. 585 p. 2004.
- Mora, L. ¿Tipos de Mantenimiento?...! No!...!Gestiones! En: Revista Universidad EAFIT, Bogotá. 1990.

- MUÑOZ, M. Mantenimiento Industrial. Para la Universidad Carlos III de Madrid. . [en línea]
[Consultado: 2018-07-16]. Recuperado de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/teoria-de-maquinas/lecturas/mantenimientoindustrial.pdf>.
- MURILLO, W. Modelo de confiabilidad basado en el análisis de fallas Seminario Internacional de Mantenimiento y Servicios Asociados en Sistemas Eléctricos SIMSE CIER 2003. Cartagena de Indias, Agosto de 2003.
- NACHLAS. A. JOEL, Fiabilidad, c/ Edison, 4. 28006 Madrid. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas.
- NAKAJIMA, S. Introducción al TPM - Mantenimiento Productivo Total, Madrid: Tecnologías de gerencia y producción S.A. 1991.
- NAVARRETE, E. Mantenimiento asistido por computadoras. Colaboración SIME, ISPJAE. 1986.
- NORMA ISO 9001-2008. Sistema de Gestión de la calidad. Requisitos (4ta edición). [en línea] [Consultado: 2018-07-20]. Recuperado de [http://www.umc.edu.ve/umcpro/cgco/joomdocs/NormasISO/ISO_9001\(ES\)_CERT_2008_final.pdf](http://www.umc.edu.ve/umcpro/cgco/joomdocs/NormasISO/ISO_9001(ES)_CERT_2008_final.pdf).
- OLARTE W. Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de Producción en su artículo publicado en Scientia et Technica Año XVI, No.44, Abril de 2010. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701.
- OLIVEROS, Y. Establecimiento de los parámetros tecnológicos del equipamiento para la construcción de caminos mineros en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara Trabajo de diploma, ISMMM. 2006.
- OLIVEROS, Y. Evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación del transporte automotor minero empleado en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Trabajo de diploma, ISMMM. 2015.
- ORTIZ *et al.* Metodología para la selección de criterios de selección de equipos mineros. 2002.
- OTAÑO, J. Elementos de física de las rocas. Editorial Pueblo y Educación, La Habana: 1981.

- PARASZCZAK, J. *Understanding and assessment of mining equipment effectiveness. Trans Inst. Min Metall. A.* vol 114. 147 p. 2005.
- PÉREZ, J. El método de Kepner y Tregoe o matriz del perfil competitivo. . [en línea]. 3 p. [Consultado: 201-03-15]. Disponible en: <http://unefaiembo.foroactivo.com/gerencia-y-td-pqm10a-2008>.
- PRANDO R. Manual de Gestión de Mantenimiento a la Medida. Editorial Piedra Santa SA. San Salvador, El Salvador. 1996
- QUIÑONES, M.; PRIETO, A; LLANES, O. Detección de fallos de pequeña magnitud en sistemas industriales multimodo. 29-39 p. Mayo – Agosto. ISSN: 1815-5928. RIELAC, Vol.XXXVI 2/2015.
- QUIROGA, J.S. Proceso de mantenimiento de los camiones mineros y su influencia en la producción en la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”. [Trabajo de diploma], ISMMM. 2011.
- RECALDE, S. Diseño de un sistema integral de gestión de mantenimiento de equipos e instalaciones bajo normas de seguridad industrial en la empresa INDUSTRIAS CLAVEC. Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial. Quito. 2009.
- REVISTA CONSTRUCCIÓN MINERA, Diciembre 2014. No 9.
- RODRÍGUEZ, C. Análisis de modo y efecto de fallas para el mantenimiento de la flota de servicio pesado en empresas mineras. Trabajo de grado presentado ante la Ilustre Universidad del Zulia para optar al grado académico de: MAGÍSTER SCIENTIARUM en gerencia de mantenimiento. 2007.
- RODRÍGUEZ, L. Probabilidad y estadística básica para ingenieros. Instituto de Ciencias Matemáticas. Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL. Ecuador. 2007.
- RODRÍGUEZ. Indicadores productivos como herramienta para medir la eficiencia del pollo de engorde. 2007.
- SANTIAGUE Y. Procedimiento de cálculo del transporte automotor que permita disminuir los tiempos improductivos. Tesis de Maestría. ISMM. 77 p. 2012.

- SANZ, J. Diagnóstico de modos de fallo en máquinas rotativas mediante técnicas basadas en redes neuronales artificiales y en la transformación con ondículas. Tesis Doctoral. 2007.
- SHKILIOVA, L; MIRANDA, A; IGLESIAS C. Cálculo de los índices de fiabilidad de explotación de la técnica agrícola. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 16, No. 2. Reparación y Tecnología Mecánica. 2007.
- SHKILIOVA, L; MIRANDA, A; IGLESIAS C. Metodología para el cálculo de la productividad de las cosechadoras de arroz en función de la utilización del tiempo de turno. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 16, No. 1. 2007
- SIERRA PEREZ, ROBERTO JOHAN. Metodología de cálculo de los transportadores de banda para el mineral laterítico. Tesis de maestría ISMMM. 77 p. 2005.
- SIERRA, G. Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmeccanica industrias AVM S.A. Universidad Industrial de Santander. 2004.
- SIERRA, R; LEGRÁ, A; DONATIEN, A; MATOS, L. Caracterización de la mena laterítica para el ajuste de parámetros tecnológicos del transportador de banda. Minería y Geología, vol. 25, núm. 3, julio-septiembre, p. 1-18. ISSN: 0258-8959. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr Antonio Nuñez Jiménez”. Holguín, Cuba. 2009.
- SMOLENTSHEVA Y. M. Economía y Dirección de la Empresa. Manual. Moscú. Escuela superior, 337 p. 2011.
- SPIEGEL, M. Teoría y problemas de probabilidad y estadística. Libros Mc Graw – Hill de México, S.A. de C.V. 0 – 07 – 090922 – 9. 1976
- STEVE, F. Datos capacidad de excavación y tiempos de Parada. [en línea]. [Consultado: 2014-07-15]. Disponible en: <http://www.equipo-minero.com/contenidos/1581-datos-capacidad-de-excavacion-y-tiempos-de-parada.html>.
- SUNIAGA, L. Diseño del programa de mantenimiento preventivo a la maquinaria pesada perteneciente a la empresa Venezuelan Heavy Industries C.A. (VHICOA). Trabajo especial de grado que se presenta para optar al título de Ingeniero Industrial. Ciudad Guayana. 2010.

- TAMARIZ, M. Diseño del plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos móviles y fijos de la Empresa Mirasol S.A. Universidad de Cuenca. Ecuador. 2014.
- TAMBORERO, J. Fiabilidad: la distribución de Weibull. NTP 331. NIPO: 211-95-013-0. Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 1994.
- TARASOV, U. D. Dispositivos y cálculo de las máquinas mineras de carga y transporte. Moscú: Mir, 1986.
- TORNES, A. Evaluación de la efectividad de la tecnología de arrastre en los yacimientos lateríticos. Tesis de Grado. ISMM. Cuba. 80 p. 2005.
- Uzcátegui, M. 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. 2014.
- VARGAS, R. La maquinaria pesada en movimiento de tierra. Capítulo 6. Maquinaria y rendimiento. . [en línea]. 67-128 p. [Consultado: 2017-01-25]. Disponible en: <http://Tesis.Uson.Mx/Digital/Tesis/Docs/3271/Capítulo6.pdf>.
- VELÁZQUEZ, E. Mantenimiento correctivo a la maquina cortadora y selladora. Santiago de Querétaro. 2012.
- VIDAL, M. Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad Católica del Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas. 2010.
- XCMG XE700 Manual de explotación, equipos de arranque y carga. Retroexcavadora XE700. Unidad Básica Mina. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. 2015.
- ZALDÍVAR, M; COMAS, J.F. La Función del Mantenimiento. Un reto para la empresa del futuro. 2006.
- ZALDÍVAR, M; COMAS, J.F. Proyecto de confiabilidad operacional para las máquinas y equipos en la etapa de explotación. 2008.
- ZALDÍVAR, M. El Mantenimiento técnico en la actividad gerencial. Revista trimestral Tecnología en marcha. (Costa Rica). Volumen XX/Número 2. Abril-Junio 2007. P 41-48. Editorial Tecnología de Costa Rica. ISSN 037.

ZAMBRANO S. Fundamentos Básicos de Mantenimiento. 2da edición. Editorial FEUNET. San Cristóbal Edo Táchira. 2007.

ZAMBRANO R.; LEAL, S. Proceso de Implantación de las Nuevas Tendencias de Mantenimiento en Procesos Productivos. Ponencia en el 3er Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad en Montevideo, Uruguay.