



REPÚBLICA DE CUBA  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
FACULTAD GEOLOGÍA Y MINERÍA  
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

# TRABAJO DE DIPLOMA

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE

# INGENIERO EN MINAS

**Título:** Procedimiento de cálculo del mantenimiento para minimizar los costos de los tiempos improductivos.

**Autor:** Justino Tomás António

**Tutor:** Dr.C Santiago Bernal Hernández

Moa, 2014

“AÑO 56 DEL TRIUNFO DE LA REVOLUCIÓN”

## DECLARACION DE AUTORIDAD

Yo Justino Tomás António autor de este Trabajo de Diploma y el tutor Dr.C. Santiago Bernal Hernández, declaramos la autoridad intelectual del mismo al servicio del Departamento de Minería del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, para que dispongan de su uso como y cuando estimen conveniente.

Y para que así conste firmamos a continuación.

---

Justino Tomás António

Diplomante

---

Dr.C. Santiago Bernal Hernández

Tutor

## PENSAMIENTO

*“... Recibid mi enseñanza, y no plata; y ciencia antes que el oro escogido. Porque mejor es la sabiduría que las piedras preciosas, y todo cuanto se puede desear, no es compararse con ella.” Proverbios 8, 10-11.*

## DEDICATÓRIA

*Dedico el siguiente trabajo de diploma especialmente a mis padres José António y Fernanda Chilombo por su amor, por la educación que me brindan. A mis hijos Bruna y Juel a mis hermanos Leni, Samuel, Avo Tchona, Lopes, Delma, Quim y Ladi, sin olvidar mi novia por quererme, amarme y apoyarme de forma incondicional. A todas las persona que de una forma u otra han participado en mi formación.*

## AGRADECIMIENTO

*A mi Dios por su gracia, por la vida, por estar siempre conmigo.*

*A todas las personas que me ayudaron para la elaboración de este trabajo: mi tutor Dr.C. Santiago Bernal Hernández y su familia, por su apoyo y ayuda brindándome la información necesaria para la culminación de este trabajo. Al colectivo de profesores del departamento de minas especialmente Dr.C Orlando Belete Fuente, Dr.C. Rafael Noa Monje y a M.Sc. Julio Montero Matos por jugar un papel tan importante en mi formación no solo como profesional sino también como persona; ustedes ocupan un lugar especial en mi corazón.*

*A mi familia, amigos y compañeros de aula que siempre han confiado en mí y me han apoyado de forma sincera dándome sus consejos cuando me hacían falta. Por otro lado agradecer indudablemente a mis queridos hermanos de confianza Serafim Lopes, Zeferino Chavaia Cesario, José Jimi Jones, Pakbody, Josimar (Djive), Maria Antonio Eugenia Custódia, Lurdes Esperança Kovi, a las madres de mis hijos Florinda Zeca y Evalina Candundo Mateus, por su apoyo moral y financiero.*

*Agradecer también al profesor Dongala Miala, tío Samuel Maleze por sus consejos.*

*De forma muy especial a mi novia Luiza Cristina Ramos por amarme, apoyarme y estar siempre a mi lado que nunca sabré como serle agradecido.*

*A mis cinco compañeros de lucha durante los cinco años de carrera: Igor Fernandes, Carnoth Julio, Helio dos Santos Abdul Rahim Fatawu y Michel Entombo Bosala.*

*Al colectivo de estudiantes Angolanos en Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y al colectivo de estudiante de Cubana Aviación de Septiembre de 2009 cuando llegamos a este maravilloso País.*

*A mis amigos Cubanos Iluminado, Gallego, Manota, Elizabeth de Rolo, Camila de Caribe y Ernesto funcionario de Empresa Che Guevara.*

## Resumen

El procedimiento de cálculo del mantenimiento que permite disminuir los tiempos improductivos, constituye una herramienta de trabajo muy valiosa y superior a la tradicional, que posibilita argumentar de forma técnico- económica las decisiones, para el cálculo de la cantidad de equipos mineros que deben someterse a mantenimiento, optimizar el número de máquinas mineras que deben integrar el conjunto brigada-equipo para disminuir los tiempos improductivos y aumentar la productividad del equipamiento minero producto de evitar el exceso de su cantidad en el mantenimiento que da el método tradicional para condiciones operativas concretas, lo que dota al procedimiento de mucha flexibilidad y de aplicabilidad.

Fueron establecidas las indicaciones metodológicas para la aplicación del nuevo procedimiento y revelados los parámetros de cálculo de la coordinación casual, racional del trabajo de la brigada de mantenimiento y el equipo en el ciclo cerrado, la ejecución del nuevo procedimiento en el caso de estudio demuestra la viabilidad tanto técnica como económica del nuevo procedimiento, al disminuir al 10 % los tiempos improductivos del equipamiento, con un costo de producción de 56,85 \$/h; la disminución del número de equipos mineros en dos; reducir al 1% la pérdida del tiempo de trabajo de un camión, en la espera de mantenimiento para un perjuicio económico de 5,69\$/h; el 55,65 % del tiempo de trabajo de la brigada es improductivo con una contribución al costo de producción de 16,12\$/h y lograr el costo mínimo de los tiempos improductivos de los equipos y de la brigada para el caso de estudio, que es de 72,97\$/h

## Summary

The procedure of the calculation that allow the reduction of unproductive time, is an important work tool that is superior to the traditional one, it creates the platform for techno-economical argument during decision taking, for the calculation of the number of mining vehicles that should be submitted to maintenance, optimize the number of mining machines so as to reduce unproductive time and increase productivity of the mining equipment. This reduces the number of equipment that would be submitted to maintenance which constitute the traditional method for concrete operative conditions.

Methodological indications were established for the application of new a procedure, and the reveled parameters for the calculation of a casual coordination, rational work of the brigade for maintenance and the equipment in the close circuit. The execution of the new procedure in case of the study demonstrates the viability of both the new technical and economical procedure.to reduce 10% of the unproductive time of the equipment, with a

Cost of 56,85\$/h; the reduction of the number of mining equipment in two; to reduce to 1% the waste of time of a mining truck during maintenance for economic damage of 5,69\$/h; the 55,65% of the working time for the brigade is unproductive with a contribution to a cost of the production of 16,12\$/h and attain the minimum cost of the unproductive time of the equipment and the brigade, in case of the study which is of 72,97\$/h.

# Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA. CONCEPTOS BÁSICOS Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	4
I.1 Introducción .....	4
I.2 Análisis bibliográfico.....	4
I.3 Estado de la temática a nivel internacional .....	6
I.4 Estado de la temática en Cuba .....	12
I.5 Conceptos básicos.....	18
I.6 Conclusiones del capítulo .....	19
CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE EXPLOTACION DE LA UNIDAD BASICA MINERA Y DEL SISTEMA DE MANTENIMEINTO.....	20
II.1 Ubicación geográfica.....	20
II.2 Breves características geológicas de los yacimientos .....	21
II.2.1 Yacimiento Punta Gorda .....	21
II.2.2 Yacimiento Yagrumaje Norte.....	22
II.2.3 Yacimiento Yagrumaje Sur.....	23
II.2.4 Yacimiento Yagrumaje oeste.....	23
II.2.5 Yacimiento Camarioca Este .....	24
II.3 Proceso productivo de la Unidad Básica Mina.....	24
II.4 Extracción y transporte del mineral.....	26
II.5 Modo de explotación y apertura .....	27
II.6 Sistema de explotación aplicado.....	27
II.7 Equipamiento minero en explotación en la Unidad Básica Mina.....	27
Línea de equipos .....	27
II.8 Servicio de mantenimiento al equipamiento minero.....	29
II.9 Planes de mantenimiento.....	30
II.9.1 Mantenimiento diario .....	32
II.9.2 Mantenimientos periódicos menores (100 h - 250 h - 500 h-750 h) .....	32
II.9.3 Mantenimientos periódicos mayores o de complejidad (1000 h-1750 h-2000 h) .....	33
II.10 Deficiencias del servicio de mantenimiento .....	33



II.10.1 Personal técnico capacitado en calidad y cantidad para cada parte del equipo.....	34
III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL MANTENIMIENTO PARA DISMINUIR LOS TIEMPOS IMPRODUCTIVOS DEL EQUIPAMIENTO .....	36
III.1 El flujo de exigencia .....	38
III.2 Duración del servicio.....	39
III.3 Cálculo de la productividad de explotación y establecimiento de la cantidad de equipos en los conjuntos.....	47
III.3.1 Cantidad de equipos mineros serviciados por una brigada en el ciclo cerrado .....	47
III.3.2 Cantidad total de equipos mineros sometidos al mantenimiento.....	47
III.4 Indicaciones metodológicas para el procedimiento de cálculo.....	47
Capítulo IV: Aplicación al caso de estudio del procedimiento de cálculo del mantenimiento que permite disminuir los tiempos improductivos de equipamiento .	52
IV.1 Análisis comparativo de la aplicación del procedimiento de cálculo nuevo con el procedimiento existente .....	52
IV.2 Determinación de los parámetros de cálculos fundamentales que caracterizan la coordinación mutua casual del trabajo de la brigada y de los equipos mineros en el ciclo cerrado.....	54
IV.3 Análisis técnico-económico de los resultados .....	56
CONCLUSIONES GENERALES .....	58
RECOMENDACIONES .....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA.....	60





## INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de explotación de un yacimiento por cualquier método, el equipamiento minero debe ser sometido a mantenimiento y sobre todo el transporte, el que se desplaza a través de vías de comunicación con trazas y pendientes irregulares, de este proceso tecnológico al ser el más caro, depende en gran medida el éxito o el fracaso de la empresa minera.

Los grandes avances tecnológicos producidos en estos últimos años, ya sean en el orden de los procesos productivos así como en nuevos equipos del sector minero; el hecho de que no se trabaja con equipos de reservas, la alta complejidad del mercado que obliga a cumplir al máximo las exigencias de las expectativas de los clientes, en cuanto a la calidad y cantidad de los productos y la mayor complejidad de las condiciones minero- técnicas del laboreo, dada la alta variabilidad de los yacimientos y el crecimiento de la capacidad de los equipos de transporte, generan hoy en día dificultades en el sentido de lograr el máximo rendimiento de los conjuntos de equipos destinados a las labores mineras, ya que la substracción de los equipos para el necesario mantenimiento plantean a este nuevas exigencias.

La extracción y transporte del mineral, es la actividad fundamental de la mina, por lo cual todos los trabajos mineros incluyendo el mantenimiento, están encaminados a que esta se realice exitosamente y dentro de ella, el proceso de transporte por ser el que más cuesta. En el caso de la mina de la empresa Ernesto Che Guevara esta actividad se inició con la utilización de dragalina ESH – 5/45, que tenía capacidad de cuchara de  $5\text{m}^3$  combinada con camión rígido, a partir del año 1997 se introdujo la retroexcavadora hidráulica con capacidad de cuchara de  $4\text{m}^3$  combinada con camión articulado. Con ambos conjuntos de equipos no se logra la eficiencia de explotación proyectada en lo que una contribución negativa tiene el mantenimiento, por lo que el objetivo de este trabajo es elaborar un procedimiento de cálculo del mantenimiento para minimizar los costos de los tiempos improductivos.



### **Situación problemática**

La mina de la ECG utiliza para su trabajo un parque considerable de equipos, los que sistemáticamente necesitan ser sometidos a mantenimiento; labor que aunque es imprescindible al asegurar la disponibilidad técnica del equipamiento lo retira necesaria y temporalmente de la producción. A pesar de que se han tomado diversas medidas en la aplicación del sistema de explotación, no se ha logrado disminuir significativamente los tiempos improductivos del equipamiento, cuyo costo ha ido en aumento en la medida en que ha ido creciendo necesariamente la capacidad de carga de los camiones y que no se trabaja necesariamente con equipos de reserva, debido a que la propia metodología aplicada de cálculo del mantenimiento al tomar la duración del ciclo de trabajo de la brigada y del camión como constantes y garantizar la utilización plena de la productividad de las brigadas de mantenimientos, en detrimento de la de los equipos, a pesar de que el transporte es el proceso tecnológico más caro, al no considerar la coordinación mutua, casual, racional del trabajo de ambos objetos en el conjunto de mantenimiento-equipos, no permite revelar los parámetros que determinan esta coordinación para actuar sobre ellos con el objetivo de minimizar los tiempos improductivos del equipamiento sometido a mantenimiento y de la brigada, desde el punto de vista técnico-económico.

### **Problema de investigación**

Es la necesidad de elaborar un procedimiento de cálculo de la cantidad de equipos en el mantenimiento, que permita minimizar el costo de los tiempos improductivos en el ciclo cerrado.

### **Objeto de estudio**

Conjunto brigada de mantenimiento – equipos.

### **Campo de acción**

La coordinación del trabajo de la brigada de mantenimiento y los equipos.

### **Objetivo general**



Elaborar un procedimiento de cálculo de la cantidad de equipos en el mantenimiento, con vistas a minimizar el costo de los tiempos improductivos en el ciclo cerrado.

### **Hipótesis**

Si son establecidas las insuficiencias del método de cálculo existente de la cantidad de equipos sometidos a mantenimiento, es elaborado el modelo matemático que revele los parámetros que permitan dirigir la coordinación mutua casual del trabajo de la brigada de mantenimiento y el equipamiento, entonces podemos elaborar un procedimiento de cálculo de la cantidad de equipos en el mantenimiento, que permita minimizar los costos de los tiempos improductivos en el ciclo cerrado.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar el estado actual de la temática a nivel internacional y en Cuba.
- Establecer las insuficiencias del método de cálculo existente de la cantidad de equipos sometidos a mantenimiento.
- Argumentar las particularidades de la obtención del procedimiento de cálculo del mantenimiento en el ciclo cerrado que permita disminuir los tiempos improductivos del equipamiento.
- Elaborar el modelo matemático que revele los parámetros que permitan dirigir la coordinación mutua casual del trabajo de la brigada de mantenimiento y el equipamiento.
- Comprobar teórica y experimentalmente el procedimiento de cálculo del mantenimiento diario que permita disminuir los costos de los tiempos improductivos, en el caso de estudio del transporte y determinar preliminarmente los beneficios económicos de su introducción.



## **CAPÍTULO I. ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA. CONCEPTOS BÁSICOS Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **I.1 Introducción**

El incremento de los niveles de producción conlleva a la búsqueda de nuevos métodos de trabajo encaminados al perfeccionamiento técnico, organizativo y a la disminución de los costos del mismo. Entre los principales objetivos de las empresas se encuentra el lograr una correcta armonía entre la producción, la calidad y los recursos que se emplean para obtener la misma, con un alto grado de eficacia. El Perfeccionamiento Empresarial exige a las organizaciones, cambios de modelos en función de lograr un alto grado de eficiencia.

Es de vital importancia además, la correcta organización del trabajo, puesto que es una de las principales vías para obtener incrementos productivos; la productividad constituye uno de los principales indicadores que permiten medir el crecimiento económico, por lo que al asumir que es necesario la mejora de la misma, es indispensable su medición, para identificar niveles de desarrollo y avance, y determinar estrategias de mejoramiento, formas de gestión y organización de la producción, mediante la motivación y participación de todos los trabajadores, ello conlleva a una mejora continua, siendo una de las vías principales la disminución de los tiempos improductivos, incluso los tecnológicos, que muchas veces pasan desapercibidos, porque están enmarcado dentro del proceso normal de trabajo del equipo como sucede en este caso, es por ello que el estudio de la temática que aborda el trabajo es de gran actualidad para la industria del níquel en general.

### **I.2 Análisis bibliográfico**

Durante el desarrollo de la investigación se consultaron un total de 42 materiales bibliográficos, de los cuales, en el trabajo sólo se citan los que en



mayor medida sirven de base para la realización del mismo. Este se orientó en dos direcciones fundamentales, la información relacionada con el enfoque teórico y metodológico del estudio a realizar y los trabajos que sobre el tema desde el punto de vista técnico y práctico se han llevado a cabo, internacionalmente y en Cuba, constituyendo todos, una valiosa información.



### **I.3 Estado de la temática a nivel internacional**

En la Tesis en la opción al título de Doctor en Minas Aduvirre (1990), aplica un modelo que permite calcular la evolución de la rentabilidad económica de un equipo basado en el estudio de la variación de las horas de paradas e incrementos de los costos. El autor considera que el mantenimiento tiene gran importancia por el volumen de capital invertido en maquinaria y su influencia sobre los costos de explotación, por ello, el interés en desarrollar una teoría general del mantenimiento en la mina, con el propósito de implementar el mantenimiento predicativo como una actividad complementaria de conservación de equipos. Además, plantea que una conveniente formulación del proceso de reposición de una máquina minera juega un papel económico muy importante en la rentabilidad de la explotación minera a cielo abierto y que a menudo se buscan soluciones parciales a este problema mediante modelos de programación lineal y métodos estadísticos basados en la maximización de beneficios o la minimización de costos. El autor no hace referencia a la incidencia del carácter casual de la duración del mantenimiento y de las operaciones de los equipos, ya que toma valores constantes, ni a la duración de los tiempos improductivos tecnológicos, en el costo de explotación de la maquinaria minera.

Cisnero 2003. Como miembro de la Asociación de Ingenieros de Mina de Ecuador, presenta en un artículo acerca del Diseño de Explotación a Cielo Abierto, el cual incluye todos los factores que inciden en la selección del método de explotación y de los equipos mineros, teniendo en cuenta además la eficiencia en la explotación, la productividad, la evaluación de los parámetros de diseño de los equipos y su diseño tecnológico con el concepto de mayor producción y menor costo. Aunque incluyen la versatilidad de los operadores y los equipos, no considera la duración casual del movimiento de los equipos, ni tampoco desarrolla la metodología de cálculo de mantenimiento para disminuir los tiempos improductivos de los equipos y aumentar así la productividad máxima de la producción.





Chiang, L; Olivares Pasten, L. (2008) El enfoque que proponen permite analizar máquinas con ciclo variable de trabajo. En algunos casos la determinación de la necesidad de mantenimiento y la condición de la máquina por métodos convencionales como el análisis de vibraciones y del ruido, se ven dificultadas y resulta difícil detectar anomalías. Con un modelo físico se identifican las distintas fases del ciclo de trabajo, y su análisis separado permite generar conclusiones útiles. Plantean que conocer las necesidades de mantenimiento en un equipo minero, permite evaluar el nivel de exigencia en cuanto a la productividad. Estos resultados se pueden usar posteriormente para el análisis de componentes por el Método de Elementos Finitos, con cargas realistas. También permiten generar estadísticas para detectar síntomas que anteceden a fallas, ello en conjunto con información de mantenimiento predictivo convencional de acelerómetros y extensómetros, pero no consideró la influencia que sobre la productividad y disponibilidad tienen los tiempos improductivos del equipamiento durante el mantenimiento.

En la publicación de la revista *viewponit* (Cooke, 2008) hace referencia a una flota de camiones en la mina de Cobre y Oro, La Sierrita, en Arizona, Estados Unidos. En esta publicación se refiere a una serie de medidas que se han tomado para aumentar el rendimiento de estos y mantener la disponibilidad por encima del 90%. En las mejoras relaciona que los operarios deben estar capacitados en el manejo de los camiones tanto en las diferentes vías como climas, mantener los caminos mineros en buen estado. En esta publicación no se refieren medidas para eliminar el efecto específico de los tiempos improductivos del equipamiento, ni considera la duración casual del trabajo de la brigada en el mantenimiento.

Estupiñan, E. (2003) En su artículo "Alcance de la implementación de nuevas técnicas de análisis en los programas de mantenimiento productivo-proactivo en la industria" describe brevemente y muestra a través de un ejemplo de la industria minera, los alcances que se pueden tener con el uso de técnicas modernas de análisis, en la búsqueda de detección temprana de fallas en máquinas críticas "acción predictiva", así como su utilidad en la búsqueda de



las posibles causas que las pueden originar “acción proactiva”. Se ilustra con el análisis de un caso, la utilidad que tienen los sistemas de adquisición de datos y las herramientas computacionales modernas en el desarrollo e implementación de nuevas técnicas e instrumentos que permiten el análisis y diagnóstico de máquinas que poseen un alto grado de dificultad. Su estudio ha sido de utilidad para la investigación pero no analiza la influencia que puede tener su resultado sobre la productividad de los equipos al no considerar la determinación de los tiempos improductivos del equipamiento en el mantenimiento.

En edición de la revista “Inteligencia y Tecnología en Minería” el Analista de Noticias – InfoMine, 2010, informa que en Perú se acaba de realizar el primer programa LEAP (Programa de Análisis de Expectativa de Vida) dirigido a las empresas del sector minero, con el cuál se podrá extender la vida útil de sus máquinas eléctricas alcanzando la rentabilidad de la inversión esperada. Con este programa se permitirá una gestión efectiva del mantenimiento preventivo de maquinarias, ya sean motores o generadores, permitirá reducir al mínimo los tiempos inoperativos, con bajos niveles de riesgo; un ahorro en el costo de mantenimiento de las máquinas eléctricas rotativas, extiende la vida útil de las maquinarias y permite, finalmente, una mayor productividad y eficiencia en sus operaciones. En esta edición no se refiere como evitar en estas minas la afectación que provoca al rendimiento y al costo de explotación de las maquinarias, las pérdidas por tiempos improductivos tecnológicos debido a que el cálculo de la cantidad de equipos que serán atendidos en el mantenimiento se realiza por una ecuación en que todas las variables que intervienen en el cálculo se consideran constantes y que la misma está orientada a garantizar una alta productividad de la brigada de mantenimiento, lo que genera grandes tiempos improductivos perdidos por los equipos en la espera del mantenimiento.

Juan Herrera Herbert (2006), en la edición del artículo “Importancia de la selección del método de explotación” entre los aspectos principales permite



conocer y comprender el concepto de método minero en toda su extensión y distinguir los distintos tipos existentes, el concepto de sistema operativo minero o sistema minero, el origen y la finalidad de la clasificación de los distintos sistemas, la utilidad de las diferentes clasificaciones en que se pueden estructurar los yacimientos minerales. El autor no hace referencia a la incidencia del carácter casual de la duración del mantenimiento y de las operaciones de los equipos, ya que toma valores constantes de sus parámetros, ni tampoco considera los tiempos improductivos tecnológicos de los equipos en el mantenimiento.

Joseph A; (2012) considera que el proceso productivo de mayor costo es "el de carga y transporte de material", debido a que este involucra la mayor cantidad de equipos, y su rendimiento no es el más efectivo ya que trabaja largos periodos de tiempos sin que se les realice el servicio de mantenimiento adecuado; convirtiéndose el proceso de operación prácticamente continuo y lento. A esto se le suma, que en la mayoría de las canteras el servicio de mantenimiento del parque (cargadores frontales, buldócer, retroexcavadoras entre otros) es realizado por empresas contratistas que no disponen de repuestos y de planes que garanticen la optimización de las operaciones realizadas. El autor no analiza los tiempos improductivos del equipamiento debido a la coordinación mutua casual tanto cuantitativa como cualitativa entre la brigada y los equipos durante el mantenimiento.

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

- Criterio de Vida Segura.



- Criterio Falla Segura.

Plantea también que el mantenimiento preventivo ofrece una Disminución de paradas no programadas, mejor conservación de los equipos, costos de mantenimiento menores que el mantenimiento correctivo, generación de información de programación y control, buena relación entre producción y mantenimiento. Por otra parte esboza que el mantenimiento predictivo al evitar paradas por roturas, mejora considerablemente la disponibilidad de los equipos. Finalmente concluye diciendo que un servicio de mantenimiento para que sea el mejor, este debe ser una combinación del mantenimiento preventivo y del predictivo, pero esta mezcla debe ser tal que cada componente del activo sea sometido a las prácticas justas que hagan posible su disponibilidad en tiempo y forma en el proceso productivo. Vasa todo su estudio en las teorías del mantenimiento, pero no analiza concretamente el resultado de su investigación sobre los tiempos improductivos del equipamiento minero durante el mantenimiento.

Maxera (2002) "Aplicación de la simulación para la optimización del acarreo de mineral; " Diseña un modelo para la optimización del conjunto excavadora – camión rígido que toma como referencia entre las variables fundamentales la calidad y aspectos de diseño de los camiones mineros y su incidencia en el costo, es útil para la investigación el cálculo del factor de llenado para diferentes capacidades de las excavadoras y camiones así como los ciclos de trabajo. No evalúa el carácter casual de la duración de las operaciones de mantenimiento, ni la coordinación tanto cuantitativa como cualitativa casual de los procesos contiguos de la brigada de mantenimiento y el de los equipos, y no considera al equipo que recibe mantenimiento y la brigada que lo ejecuta como un conjunto donde, cuando la brigada desarrolle su máxima productividad los tiempos improductivos de los equipos aumentan esperando el mantenimiento.

Ortiz. et al, (2002). Diseña una metodología donde plantea que los criterios de selección de equipos mineros deben ser básicos y específicos. Entre los criterios básicos cita: condiciones del entorno en las que se van a desarrollar



las operaciones, características del depósito mineral, mineralización, Hidrología e hidrogeología, propiedades físicas químicas de los materiales, parámetros de la explotación. En los criterios específicos cita: de rendimiento (capacidad de producción, fuerzas de excavación o arranque, tiempos de ciclo, alturas, velocidades, de diseño (potencia total, vida en servicio, robustez, configuración, facilidad de mantenimiento y reparaciones, niveles de ruido, fuentes de energía), de servicio (maquinaria auxiliar requerida, frecuencia de servicio, repuestos necesarios, herramientas requeridas, adiestramiento del personal, económicos (costos de propiedad, de operación, de amortización, de arrendamiento). En la metodología no incluye la duración casual del recorrido de los equipos al mantenimiento, ni la coordinación casual de las labores de la brigada con el equipo, en el mantenimiento.

Saavedra, P.; Estupiñan, E. (2001), En su artículo "Impacto del mantenimiento proactivo en la productividad" ilustran a través de ejemplos, el uso de una estrategia de mantenimiento predictivo-proactivo para aumentar la vida de componentes de las máquinas, aumentando así la disponibilidad y la productividad de las mismas. También se plantea que el análisis de vibraciones para determinar problemas que sobrecargan las máquinas puede ser de gran ayuda. Diagnosticado y solucionado el problema, la vida de la máquina y la producción de ella aumentará y los costos de mantenimiento disminuirán. Su investigación no analiza la disminución de los tiempos improductivos del equipamiento como variante necesaria para optimizar costos de operaciones y mejorar su productividad y disponibilidad al considerar la coordinación mutua casual entre la brigada y el equipo durante el tiempo planificado para el mantenimiento.

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



En la segunda generación el mantenimiento se convierte en una labor compleja que requiere ser gerenciada con la finalidad de brindar trabajos de calidad. Para ello, se hace necesario implantar sistemas de planeación y control del mantenimiento. Mientras que la tercera generación busca la optimización de los procesos con el propósito: a) Reducir al máximo las averías para obtener un mínimo costo generado en las actividades de mantenimiento, b) Alcanzar la calidad exigida en la producción al mantener en perfecto estado los equipos y la infraestructura que intervienen en el proceso, c) Ahorrar energía mediante el correcto funcionamiento de los diferentes sistemas. d) Conservar el medio ambiente asegurando la estanqueidad de los diferentes sistemas, e) Asegurar que los sistemas de protección funcionen correctamente para salvaguardar la integridad de las personas y el buen estado de las edificaciones y equipos. Pero en ninguna etapa considero la coordinación mutua casual entre la brigada de mantenimiento y el equipo en el mantenimiento.

#### **I.4 Estado de la temática en Cuba**

Herrera y et. al (2002) en el "Manual de Laboreo ", muestran una de las metodologías más completa para la selección de equipamiento minero, pero se considera en ésta, al igual que las metodologías anteriormente descritas, que no considera la duración casual de las operaciones, ni la coordinación casual del trabajo como conjunto, de la brigada de mantenimiento y los equipos para disminuir los tiempos improductivos.

Curbeira, D. (2002), en su tesis "Nueva dimensión de la teoría de la reposición y el mantenimiento" en opción al título de Máster en Matemática Aplicada, concluye que los modelos matemáticos existentes no tienen en cuenta los ingresos para decidir el momento óptimo del reemplazo de los equipos y que la programación lineal puede ser aplicada a problemas relacionados con la reposición y el mantenimiento para determinar el momento óptimo de reemplazo de los equipos. Utiliza tres modelos de programación lineal, del análisis de los mismos concluye: el primer modelo muestra la posibilidad de maximizar a las utilidades desde la nueva perspectiva de la modelación matemática, el segundo modelo, muestra la posibilidad de minimizar los costos



desde la nueva perspectiva de la modelación matemática, el tercer modelo, muestra la posibilidad de maximizar las utilidades desde la nueva perspectiva de la modelación matemática. Este no hace referencia a los equipos mineros en explotación en Cuba, no analiza la productividad de los equipos como parámetro influyente dependiente en gran medida de la disponibilidad técnica, ni consideró la aplicación de la Teoría de colas para calcular los tiempos improductivos del equipo durante el mantenimiento.

El departamento técnico del Taller de Mantenimiento Industrial Mina (2006) realizó un estudio de aprovechamiento del equipamiento VOLVO en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, donde analizó las causas que provocan las principales pérdidas de tiempos por interrupciones, los factores que impiden el óptimo desempeño del trabajo y el cumplimiento de los indicadores que miden la producción. Se determinaron las normas de tiempo y de rendimiento para la actividad de transportación de mineral. Según los resultados, este último presenta deficiencias que están estrechamente relacionadas con la cantidad de equipos que se encuentran diariamente en mantenimiento, provocando afectaciones en el coeficiente de aprovechamiento del parque de máquinas de transporte. No generaliza la investigación para todos los equipos mineros en explotación, ni determina los tiempos improductivos durante el mantenimiento a pesar de que reconoce la cantidad de camiones en el mantenimiento.

Zaldívar Salazar, M. C; Comas Pereira, J.F. (2006) Plantea en su artículo "La Función del Mantenimiento. Un reto para la empresa del futuro" que es responsabilidad del cliente garantizar el máximo periodo de vida útil proyectada de un equipo, esto se logra con una adecuada estrategia de Mantenimiento y Reparación, en correspondencia con las normas establecidas por el fabricante. Afirman que es posible introducir cambios a través de la modernización de los equipos, relacionados estrechamente con la planificación del mantenimiento y reemplazo de piezas y componentes, en este proceso cumplen con una importante función las propiedades que determinan la funcionalidad, el rendimiento, la fiabilidad y las tareas del mantenimiento. Propone el





mantenimiento como una vía eficiente de obtener mejores índices de disponibilidad técnica y productividad de los equipos, pero no analiza la relación de estos índices con la determinación de los tiempos improductivos durante el mantenimiento como variante de mejorar los costos de producción si así fuera necesario. No vincula su investigación a la explotación equipos mineros en explotación en Cuba.

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

García de la Cruz, M.I. (2008), En su Tesis “Perfeccionamiento del procedimiento de adquisición y explotación de los equipos mineros en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara” en opción al Título Académico de Máster en Minería, elaboró un procedimiento para el perfeccionamiento de la adquisición y explotación de los equipos mineros en los yacimientos de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, aplicable a cualquier empresa. Analiza el costo de producción, la disponibilidad técnica y la productividad del equipamiento, todos estos delimitados por periodos de explotación y por





modalidad de contratos de adquisición del equipamiento. Clasifica los servicios técnicos de la contratación dentro de los términos técnicos y su efecto sobre la disponibilidad técnica de los equipos mineros. La autora no considera la relación de los tiempos improductivos de los equipos en el mantenimiento con la productividad.

Guerra López, E; García de la Cruz, M.I. (2009) Analiza en su trabajo "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" el comportamiento técnico productivo de los parámetros de explotación en el transporte de masa minera, llegando a la conclusión que la productividad del equipamiento de transporte depende en gran medida de las condiciones específicas de la minería, pero sobre todo, se ve afectada por problemas de disponibilidad tanto del propio equipamiento de transporte como de los equipos auxiliares y principales que intervienen en el ciclo de producción, aunque se reconocen las causas organizativas como una dificultad presente en la mayoría de las etapas del flujo tecnológico de la minería. No extiende su investigación a otros equipos que no sean los de transporte de masa minera, ni sugiere el mejoramiento de los servicios de mantenimiento en el sentido de disminuir los tiempos improductivos del equipamiento durante este servicio como una vía de mejorar la productividad y la disponibilidad del equipamiento, como una variante para disminuir los costos de producción.

(Cisneros, 2003) "Diseño de Explotación a Cielo Abierto ".En su tesis muestra una metodología para la selección de equipos mineros; parte de las condiciones geomecánicas del macizo hasta la eficiencia en la operación de los equipos, pero en ella no se hace una valoración de la coordinación casual del trabajo de la brigada mantenimiento - equipo, ni la duración casual de las operaciones del ciclo de trabajo del equipamiento.

(Gelkys, 2010) propone un " Procedimiento para la adquisición y explotación del equipamiento minero para la empresa " Cementos Santiago SA". Gelkys en su tesis propone y describe una serie de criterios a tener en cuenta en la elección del equipamiento minero, criterios que integró en un procedimiento



para la elección del proveedor de equipamiento minero. Estos criterios son: Precio, calidad, estado técnico, garantía, tecnología probada, avances tecnológicos, servicios postventa, capacitación, puesta en marcha, asistencia técnica, infraestructura de mantenimiento, oportunidad y uniformidad. Pero el procedimiento en el cálculo de la productividad no valora los tiempos improductivos en la coordinación casual de la brigada y los equipos en el mantenimiento.

Mbalongany, M. (2010) En su tesis “Estudio del Rendimiento de los equipos de arranque y carga en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara” en opción al título de ingeniero de minas, primeramente caracteriza la mina y el equipamiento de arranque y carga, define los índices técnico-económicos que influyen sobre el rendimiento de los equipos y analiza los resultados, finalmente establece la vida útil durante la operación para las condiciones de explotación propiamente de la mina y compara los resultados con el límite de vida útil especificado por el fabricante. Se limita solo al análisis de la disponibilidad técnica del equipo de arranque y carga, no analiza la influencia que tiene sobre el rendimiento de los equipos la disminución de los tiempos improductivos de los mismos durante el mantenimiento.

Pérez Hernández, A. (2010) En su tesis “Evaluación de la eficiencia en la gestión económica del mantenimiento automotor de la Empresa Puerto Moa” en opción al título de Licenciado en Contabilidad y Finanzas, desarrolló una evaluación económica para determinar el grado de eficiencia de la gestión del mantenimiento automotor en la EPM sobre la interdependencia, interacción, sistematicidad y dinámica de las categorías presentes en el proceso, las cuales han facilitado la búsqueda anticipada de mejoras continuas de la organización. El autor caracteriza críticamente la situación actual del proceso de evaluación de la gestión económica del mantenimiento automotor y desarrolla a través del análisis de herramientas y técnicas, la evaluación económica de esta. Plantea que el deterioro del equipamiento se debe básicamente a un régimen de explotación intenso y con una vida útil prolongada desde el punto de vista del sacrificio económico que le infringen los procesos y operaciones. No analiza la



productividad de los equipos como parte de los parámetros que influyen en la gestión económica del mantenimiento, ni tiene en cuenta la disminución de los tiempos improductivos de las máquinas durante el mantenimiento como variante de mejora de la eficiencia.

Toirac Cobas, A. (2010) Caracteriza en su tesis "Estudio del rendimiento del transporte automotor en la mina de la Empresa Comandante Che Guevara" en opción al título de ingeniero de minas las condiciones generales minería y el equipamiento de transporte automotor con el objetivo de estudiar el rendimiento de este último. Para ello estudia el rendimiento por periodos de explotación durante el periodo de garantía. Finalmente establece la vida útil del equipamiento de transporte relacionado con la disponibilidad obtenida durante el tiempo de explotación, concluyendo que para las condiciones actuales de explotación con alto rendimiento, en ninguno de los casos se corresponde con la propuesta establecida por el fabricante siendo, en todo los casos menores. No analiza la influencia de los tiempos improductivos del equipo durante el mantenimiento sobre los costos de producción.

Quiroga Mendiola, J.S. (2011) En su tesis "Proceso de mantenimiento de los camiones mineros y su influencia en la producción en la Empresa Comandante Ernesto "CHE" Guevara" en opción al título de ingeniero de minas, realizó un análisis de la situación general del equipamiento de transporte con el objetivo de confeccionar una guía de mantenimiento y un plan de mantenimiento especial para los camiones articulados VOLVO, con el objetivo de lograr un aumento en el plan de producción y mejorar la disponibilidad técnica a partir del año 2012. Para esto el autor caracterizo de forma general el equipamiento de transporte y estudió su rendimiento en los últimos años de explotación, delimitándolo por periodos de tiempo. Se limita solo al análisis de la disponibilidad técnica obtenida y escasamente hace alusión a la productividad durante los mismos periodos de referencia. No analiza la influencia de los tiempos improductivos del equipamiento durante el mantenimiento para reducir los costos de operación alterados en gran medida por el servicio de mantenimiento.



## I.5 Conceptos básicos

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

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

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

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

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

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



Una de las causas de los tiempos improductivos del equipamiento minero según las causas tecnológicas y organizativas es la ausencia en la mina de una coordinación mutua y racional cualitativa y cuantitativa del trabajo en los procesos de mantenimiento, lo que es motivado por el hecho de que la duración del ciclo de trabajo de la brigada de mantenimiento la estamos considerando como constante, determinística.

Por coordinación cuantitativa se entiende tal correlación del número de unidades de equipos que son atendidos por una brigada de mantenimiento, los cuales garantizan la ejecución de la producción en un régimen cercano al óptimo en determinados tipos y dimensiones del equipamiento. Por coordinación cualitativa comprendemos tal relación entre la capacidad del camión y el tamaño de la brigada considerando las distancias de transportación que disminuya los tiempos improductivos en el mantenimiento.

### **I.6 Conclusiones del capítulo**

Del análisis de todas la bibliografía expuesta anteriormente se demuestra que ningún autor foráneo ni en el territorio nacional ha estudiado el carácter casual de la duración de las operaciones mineras, ni la coordinación mutua casual tanto cualitativa como cuantitativa del trabajo de mantenimiento de la brigada y los equipos en el ciclo cerrado, por lo que no se han obtenido los procedimientos que permitan calcular los tiempos improductivos de los equipos durante el mantenimiento para minimizarlos. Todas las metodologías de establecimiento de la duración del mantenimiento están diseñadas con el objetivo de lograr la utilización al máximo, de la productividad de la brigada de mantenimiento, a costa de los grandes tiempos improductivos de los equipos mineros, en el mantenimiento, a pesar de que para las condiciones mineras, los tiempos improductivos de los equipos son mucho más costosos, lo que es bastante generalizado en las labores mineras.



## **CAPÍTULO II: CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE EXPLOTACION DE LA UNIDAD BASICA MINERA Y DEL SISTEMA DE MANTENIMEINTO**

### **II.1 Ubicación geográfica**

El área de ubicación de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara se encuentra al norte del yacimiento mineral de Punta Gorda, ubicado en la provincia Holguín, en la costa norte, entre los ríos Moa y Yagrumaje, a 4km. de la Ciudad de Moa y a 2km. del pueblo de Punta Gorda y forma parte del macizo montañoso de Sagua-Moa-Baracoa (figura 1).

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

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



**Figura 1. Plano de ubicación de la zona de la Concesión Minera**

Durante el verano las lluvias se presentan en forma de chaparrones y en el invierno son prolongadas. La red fluvial, está representada por los ríos Moa al Norte, Yagrumaje al Sur y Este, Los Lirios al Oeste y está atravesado por el arroyo La Vaca.

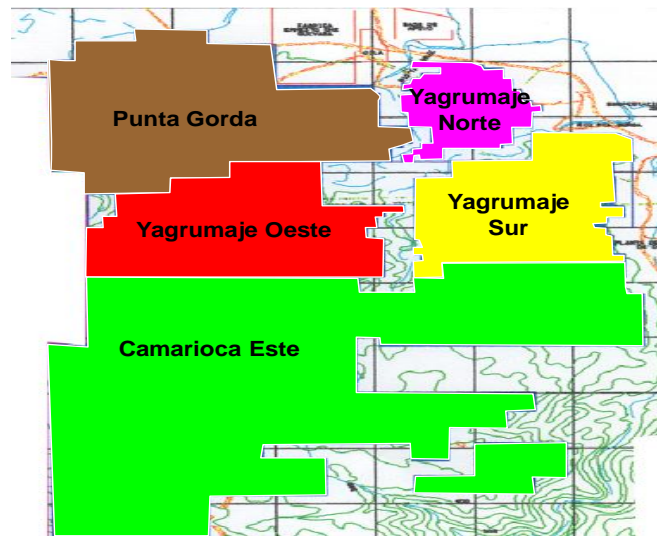
## **II.2 Breves características geológicas de los yacimientos**

El área objeto de estudio está conformada por los yacimientos que integran la concesión de explotación de la "Empresa Ernesto Che Guevara", estos son: Punta Gorda, Yagrumaje Norte, Yagrumaje Oeste, Yagrumaje Sur y Camarioca Este (figura.2)

### **II.2.1 Yacimiento Punta Gorda**

El área está limitada por las coordenadas del Sistema Lambert  $X = 699\ 800 - 704\ 100$ ,  $Y = 218\ 600 - 221\ 900$ . Las coordenadas geográficas  $Y = 20^{\circ}\ 38'\ 2''$ ,  $X = 74^{\circ}\ 52'\ 8''$ , con los siguientes límites naturales: al Norte por las aguas del Océano Atlántico, al Sur la línea convencional que lo separa del yacimiento Yagrumaje Oeste, al Oeste el yacimiento Moa Oriental, al Este las elevaciones que constituyen la línea divisoria de las aguas del Río Yagrumaje.

## CONCESION MINERA



**Figura 2. Composición de la concepción minera Empresa comandante Ernesto Che Guevara**

El límite de este cuerpo mineral lo constituye el área cercana al río Yagrumaje. Presenta un relieve moderado, con inclinación hacia el norte, con rangos de pendientes variables, con poca complejidad para su explotación. La potencia promedio de la mena, actualmente es de 10.30m, siendo la zona Sur la de mayor potencia, el espesor de la capa de estéril es de 6.10m, con la relación de escombro mineral aproximadamente de  $0.45\text{m}^3/\text{t}$ . El mismo se encuentra afectado por las aguas subterráneas, presentando un sistema de drenaje que es deficiente. El acceso a él no presenta problemas pues existen caminos principales y secundarios que garantizan las labores mineras. La exploración geológica se realizó de manera completa con una red de  $33.33\text{m} \times 33.33\text{m}$ .

### **II.2.2 Yacimiento Yagrumaje Norte**

Tiene un área general de  $2\text{km}^2$  con forma bastante regular de dimensiones de 1.8km de largo y 1.4km de ancho, ubicándose en una meseta aplanada al norte del río Yagrumaje. Este, tiene una inclinación de sur a norte desde las cotas 100 -110m hasta 20 – 40m, la diferencia de las cotas absolutas dentro de los límites del yacimiento explorados es de 88m variando de 108 -200m. Las





menas se relacionan principalmente con las formaciones friables de la corteza de intemperismo in situ y sus productos, excepto en las partes del yacimiento con pendientes abruptas; las intercalaciones de estériles son muy raras en todo el depósito mineral, alcanzando un área de  $0.01\text{km}^2$ .

### **II.2.3 Yacimiento Yagrumaje Sur**

Ocupa un área de  $3.65\text{km}^2$ . Las mayores potencias se observan en la parte central y oriental, ambas siguiendo la dirección norte-sur. A partir del cálculo de reservas para el cut-off de 0.9 % de níquel las potencias de escombros y mineral son 4.4m y 7.3m respectivamente en las zonas desarrolladas en categoría probadas y 6.72m y 11.37m respectivamente en los recursos indicados. La relación escombros mineral es de 0.32 y 0.26 para ambas zonas respectivamente. Este yacimiento se encuentra explorado casi en su totalidad en una red de  $33.33\text{m} \times 33.33\text{m}$  y en una red de  $100 \times 100\text{m}$  un área pequeña ocupada por una subestación eléctrica y sus tendidos correspondientes. Estas líneas energéticas pueden afectar algunas zonas determinadas del yacimiento. Se encuentra aproximadamente a 8.0 Km. de la mina a partir de la carretera Moa-Baracoa.

### **II.2.4 Yacimiento Yagrumaje oeste**

Ocupa un área de  $4.36\text{km}^2$ , la corteza de intemperismo presente en esta área es del tipo residual in situ, es más madura que la del yacimiento Yagrumaje Sur, que posee un menor desarrollo en los ocres estructurales. Es un yacimiento típicamente limonítico, con predominio en su litología de los Ocres inestructurales, a los que se asocian las menas limoníticas balanceadas que son las más representativas. Se encuentra explorado en dos redes, la red de  $100\text{m} \times 100\text{m}$  y  $33.33\text{m} \times 33.33\text{m}$ , en 41 y 7 bloques respectivamente, representando solo un 17% en categoría de recursos medidos. El río Yagrumaje lo atraviesa, provocando zonas abruptas en sus riveras; en las demás zonas existen pendientes más suaves de orden del 8 - 12% promedio. La potencia mineral y de escombros promedio para los bloques desarrollados en la red de  $33.33\text{m} \times 33.33\text{m}$  es de 6.4m y 1.9m respectivamente; con una relación escombros mineral de  $0.25\text{m}^3/\text{t}$ . La zona desarrollada en la red de  $100\text{m}$



x 100m, no posee acceso para la minería, solo tiene caminos en mal estado, usados para el acceso a los trabajos de desarrollo geológico.

### **II.2.5 Yacimiento Camarioca Este**

Presenta un área total de 19km<sup>2</sup> y una potencia media de 4.90 m. Por su yacencia, es una corteza de tipo superficial desarrollada en forma de manto, en ocasiones interrumpida por afloramientos de la roca madre, aparece como una gran superficie de nivelación de relieve erosivo-denudativo con pendientes suaves que se hacen bruscas en los límites del desarrollo de la corteza.

Las menas LB+SB se encuentran distribuidas en diferentes cuerpos minerales que se caracterizan por su diversidad de tamaños, formas, potencia de las menas y de las cubiertas de estéril, reservas y contenidos de los elementos útiles. Este yacimiento se encuentra desarrollado en dos categorías: medidos e indicados. En categoría medidos se desarrollaron 30 bloques y en indicados 167 bloques. Las potencias de escombros y mineral para ambas categorías de desarrollo para el cut off de 0.9% Ni, son 2.18m y 6.65m y 3.2m y 6.6m respectivamente. La relación escombros mineral es de 0.22 y 0.3m<sup>3</sup>/t respectivamente. El acceso es a través de caminos construidos para las actividades de desarrollo geológico en el mismo, pero estos no poseen condiciones para la actividad minera. Este se encuentra bastante distante de la mina y requerirá de prolongación de los caminos existentes.

### **II.3 Proceso productivo de la Unidad Básica Mina**

La Unidad Básica Minera está destinada fundamentalmente a suministrar la materia prima mineral a la empresa Comandante Ernesto Che Guevara que cuenta con un esquema tecnológico basado en la lixiviación carbonato amoniacal del mineral reducido o proceso Caron. Inició sus operaciones mineras en 1985, con la explotación de los minerales del Yacimiento Punta Gorda, con producciones anuales hasta el año 1996 entre 1.5 a 2.3 millones de t. A partir del año 1997 hasta la fecha se incrementó a 3.0 a 3.8 millones de toneladas de mineral minado. Para dar cumplimiento a su objeto social desarrolla las actividades que aparecen a continuación:



**Desarrollo geológico:** tiene como objetivo fundamental, la evaluación de los recursos minerales, con la finalidad de utilizarlos como materia prima ya sea a corto, mediano o largo plazo. En esta etapa se determinan los parámetros fundamentales de las menas del yacimiento, que servirán de base para la planificación de la extracción y su procesamiento industrial. Estos trabajos se realizan por contratos a las empresas de la Unión Geólogo Minera, categorizadas para los servicios geológicos.

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

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

**2. Destape:** consiste en el arranque, carga y acarreo del horizonte superior (escombro) del cuerpo mineral, que por su bajo contenido de níquel y cobalto no resulta económico enviarlo al proceso. Para realizar el mismo pueden ser utilizados una serie de equipos, que su elección está determinada por las exigencias de calidad del trabajo, potencia de la capa de escombro, relieve, distancia de transportación, etc. Actualmente los equipos más usados para el arranque-carga en estos yacimientos son las retroexcavadoras hidráulicas con capacidad volumétrica de  $4\text{m}^3$ , camiones articulados de 40t.

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



## II.4 Extracción y transporte del mineral

Es la actividad fundamental de la mina, por lo cual todos los trabajos mineros están encaminados a que esta se realice exitosamente, pero a la vez está subordinada a las exigencias del proceso industrial y a las condiciones naturales del yacimiento, por lo que se precisa de depósitos de homogeneización que equilibren las fluctuaciones en los volúmenes y la calidad del mineral procedente de los frentes de minería, actualmente se trabaja en la conformación de los mismos. Actualmente el arranque (extracción) y carga se hacen con excavadoras marca dragalinas de 3 y 5 m<sup>3</sup> de capacidad., retroexcavadoras de 4 m<sup>3</sup> y el transporte con camiones articulados de 40t. En los depósitos además de estos equipos se utilizan camiones rígidos de 60t y cargadores frontales de 4.4 m<sup>3</sup>.

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

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



## II.5 Modo de explotación y apertura

El modo de explotación aplicado es el clásico a cielo abierto con la utilización de medios mecánicos. La apertura en forma de trincheras o canales magistrales a todo largo del talud. Es decir con el empleo de trincheras principales y el posterior desarrollo de trincheras secundarias a los diferentes frentes de trabajo.

## II.6 Sistema de explotación aplicado

El sistema de explotación empleado actualmente es con arranque y carga directamente al transporte automotor, en uno y/o varios escalones, mediante excavadoras andantes o de esteras de arrastre y retroexcavadoras hidráulicas. El desarrollo de la minería inicia su apertura en frentes continuos a través de bancos múltiples paralelos y por la horizontal, con la utilización de retroexcavadoras hidráulicas y camiones que pueden ser articulados o rígidos tanto para la minería como para el destape.

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

## II.7 Equipamiento minero en explotación en la Unidad Básica Mina

Dentro del parque de equipos de la Unidad Básica Mina para realizar su producción está incluido el siguiente equipamiento clasificado por grupos:

### Equipamiento de transporte

Línea de equipos	Marca	Modelo	Cantidad	Destino	Estado técnico
Camiones articulados	Volvo	A40D	6	Depósito	Regular
Camiones articulados	Volvo	A40D	5	Escombros	Bueno
Camiones articulados	Volvo	A40D	5	Mineral	Bueno
Camiones articulados	Volvo	A40E	11	Mineral	Bueno



Camiones articulados	MOXYMT	MT-41	10	Mineral	Regular
Camiones articulados	Komatsu	HM400	2	Caminos	Regular
Camiones rígidos	Terex	TR-60	5	Mineral	Bueno
Total camiones			44		

### Equipamiento de excavación - carga.

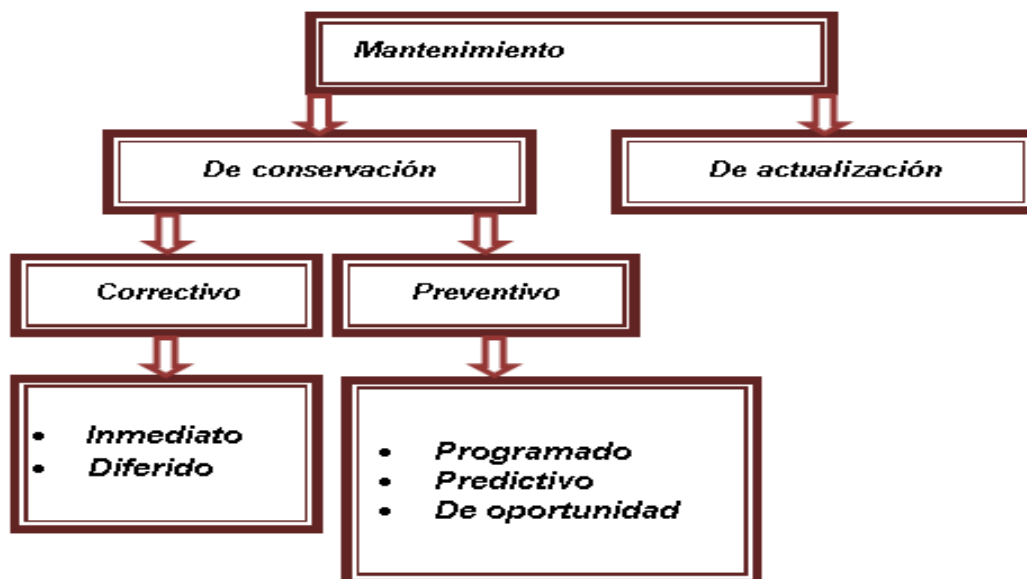
Línea de equipos	Marca	Modelo	Cantidad	Destino	Estado Técnico
Retroexcavadoras S/Esteras	Volvo	EC-210	2	Tolvas y Depósitos	Bueno
Retroexcavadoras S/Esteras	Liebherr	R 974B	5	Mineral	Bueno
Retroexcavadoras S/Esteras	DOOSAN	Solar 500	3	Mineral	Bueno
Total			10		

### Equipamiento auxiliar

Línea de equipos	Marca	Modelo	Cantidad	Destino	Estado técnico
Buldóceres S/Esteras	LIEBHERR	PR-742	1	Caminos	Regular
Buldóceres S/Esteras	KOMATSU	D85EX	2	Caminos	Regular
Buldóceres S/Esteras	KOMATSU	D85EX	5	Mineral	Bueno
Buldóceres S/Esteras	LIEBHERR	PR-742	3	Mineral	Regular
Buldóceres S/Esteras	LIEBHERR	PR-742	1	Izaje	Bueno
Buldóceres S/Esteras	DRESSTA	TD-20M	4	Escombros	Regular
Total Buldóceres			16		

## II.8 Servicio de mantenimiento al equipamiento minero

El mantenimiento está definido como el conjunto de operaciones necesarias para que un equipamiento reúna las condiciones óptimas para el propósito para el que fue construido. La eficiencia del mantenimiento que se presta a los equipos mineros, es una medida de valor agregado. Este debe orientarse, no solo a la mejora y conservación de equipos, sino a implementar un proceso de continuo aumento de la eficiencia en la labor que estos realizan. El mantenimiento se clasifica como muestra el esquema 1.



Esquema 1. Clasificación del mantenimiento a equipos.

**Mantenimiento de conservación:** Está destinado a compensar el deterioro sufrido por el uso, los agentes meteorológicos u otras causas. En el mantenimiento de conservación pueden diferenciarse:

- ❖ **Mantenimiento correctivo:** Corrige los defectos o averías observados.
- **Mantenimiento correctivo inmediato:** Se realiza inmediatamente de percibir la avería y defecto, con los medios disponibles, destinados a ese fin.
- **Mantenimiento correctivo diferido:** Es el que al producirse la avería o defecto, se produce un paro de la instalación o equipamiento de que se



trate, para posteriormente afrontar la reparación, solicitándose los medios para ese fin.

- **Mantenimiento preventivo:** Esta destinado a garantizar la fiabilidad de equipos en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o avería por deterioro. En el mantenimiento preventivo podemos ver:
- **Mantenimiento programado:** Se realiza por programas de revisiones, por tiempo de funcionamiento, kilometraje, etc.
- **Mantenimiento predictivo:** Realiza las intervenciones prediciendo el momento que el equipo quedara fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento determinando su evolución, y por tanto el momento en el que las reparaciones deben efectuarse.
- **Mantenimiento de oportunidad:** En este se aprovechan las paradas o periodos de no uso de los equipos para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización.

**Mantenimiento de actualización:** Su propósito es compensar la obsolescencia tecnológica, o las nuevas exigencias, que en el momento de construcción no existían o no fueron tenidas en cuenta pero que en la actualidad si tienen que serlo.

La organización, control y planificación del mantenimiento, juega un papel muy importante porque incide directamente en el incremento de la productividad y en los niveles de producción de la entidad, está llamada a evaluar las diversas variantes de organización de un puesto de trabajo, sus métodos y procedimientos.

## **II.9 Planes de mantenimiento**

Un plan de mantenimiento es un conjunto de acciones y tareas de mantenimiento seleccionadas y dirigidas a proteger la función de un activo, estableciendo una frecuencia de ejecución de las mismas y el personal destinado a realizarlas. Se pueden establecer dos enfoques para la elaboración del plan de mantenimiento como son:





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

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

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

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

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

La planificación del mantenimiento preventivo del equipamiento minero en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara durante y después de la garantía, está regido por guías de mantenimiento que emiten los proveedores, en las cuales dan instrucciones específicas vinculadas directamente con la revisión, control y reposición de piezas en mal estado, con el objetivo de lograr la disponibilidad planificada del equipo y un aumento de la productividad de la operación para la cual este fue diseñado.



El mantenimiento al equipamiento se clasifica en mantenimiento diario, mantenimientos periódicos menores y mantenimientos mayores o de complejidad.

### **II.9.1 Mantenimiento diario**

Son esencialmente servicios de alta frecuencia y poca duración, se basan en la percepción de los sentidos humanos. Se reducen a verificaciones de niveles, chequeo de luces y órganos de mando, presiones de neumáticos, engrases, lectura de relojes indicadores, revisiones eléctricas, chequeo de las baterías, frenos, chequeo de códigos de errores, barras cardánicas, limpieza con aire comprimido de los filtros primarios. No requieren la detención prolongada del equipo, sino que deben llevarse a cabo durante cortos periodos de tiempo prácticamente imperceptibles.

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

### **II.9.2 Mantenimientos periódicos menores (100 h - 250 h - 500 h-750 h)**

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

Requieren de la detención de la máquina por cortos períodos de tiempo. Se llevan a cabo según las guías de mantenimiento emitidas por el fabricante a partir de la experiencia o referencias externas. Un buen control de mantenimiento preventivo requiere del historial del equipo, el que se consigue luego de un tiempo de funcionamiento, contado a partir de su adquisición y puesta en marcha.

Estos mantenimientos son relativos a cambio de lubricantes u otros fluidos, engrases. Además de las verificaciones que se hacen en el mantenimiento diario, en se hacen cambios de los filtros de aceite del motor, de la caja de reenvió y de la transmisión, cambios de los filtros primario de aire y el filtro de



lubricación. Se controla el tensado de las correas del alternador y la bomba de agua, las uniones roscadas, el separador de agua del sistema de combustible y el desgaste de los neumáticos. También se controla el desgaste de los discos de freno, se limpia el condensador del climatizador, se cambia el filtro y el aceite del filtro de aire en baño de aceite del motor, se limpian los radiadores con aire comprimido.

### **II.9.3 Mantenimientos periódicos mayores o de complejidad (1000 h-1750 h- 2000 h)**

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

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

### **II.10 Deficiencias del servicio de mantenimiento**

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



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

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

#### **II.10.1 Personal técnico capacitado en calidad y cantidad para cada parte del equipo.**

Desde la planificación del mantenimiento, no importa cuál sea el grado de complejidad del mismo, se debe tener en cuenta según las guías de mantenimientos, que personal es el que debe intervenir según la secuencia de planificación del trabajo.

La primera tarea que tiene lugar cuando un equipo va a recibir la inspección planificada, es el fregado de todas sus partes, incluyendo las gomas, para esto se han creado las condiciones materiales y el capital humano requerido y preparado para que esta acción se desarrolle con éxito y en el menor tiempo posible.

La calidad del personal técnico que interviene en cada una de las fases del mantenimiento esta abalada por el criterio de la representación del fabricante o del proveedor del equipo, este personal previamente y según las condiciones pactadas en el contrato de adquisición, reciben las instrucciones técnicas de primera mano expuestas por los técnicos especializados de la empresa proveedora.

El tiempo que demora cada inspección planificada depende de la complejidad de la misma, pero también influye en gran medida además de la calidad del personal, la cantidad adecuada de hombres que deben trabajar simultáneamente para que el tiempo de interrupción de la maquina sea el mínimo necesario para recibir un buen servicio.



Cuando la calidad y cantidad del personal técnico de mantenimiento no es la necesaria, también se afecta la propia calidad del mantenimiento y el tiempo límite que debe cumplir la interrupción de la máquina. En nuestra minería, esto es de suma importancia ya que el equipamiento disponible no cumple las condiciones de calidad y cantidad necesarias para operar óptimamente. Cuando la planificación de tiempo se ve afectada, se afectan también las operaciones para las que este equipo estaba destinado en el periodo de tiempo de interrupción no planificado, y toda una serie de equipos se detienen debido a la continuidad del proceso y al déficit de un equipo suplente en el campo que pueda cumplir sus funciones mientras este está indisponible. En síntesis, que la planificación minera es la más afectada por la causa raíz de este problema, que es la calidad y cantidad del personal técnico de mantenimiento.



### III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL MANTENIMIENTO PARA DISMINUIR LOS TIEMPOS IMPRODUCTIVOS DEL EQUIPAMIENTO

Actualmente en los trabajos de mantenimientos de los equipos mineros predomina el sistema por brigadas con la fijación a ellas de una determinada cantidad de equipos a lo largo del turno es decir, trabajo según el ciclo cerrado (Potapov, 2005).

En los tiempos actuales la teoría de colas encuentra numerosas aplicaciones en la rama de los servicios y el abastecimiento (Fedchenko, 2004) pero debe ser elaborado el procedimiento para recibir aplicación en la coordinación de los trabajos de la brigada de mantenimiento y de los equipos mineros que los reciben para las condiciones de los talleres por lo que resulta novedoso a escala internacional.

La cantidad de equipos que recibirán el mantenimiento  $N_c$ , se determina asignándole a cada equipo un fondo de tiempo constante, el que en el mejor de los casos es normado en base al promedio de las observaciones cronométricas realizadas

En la cantidad de equipos a asignar a la brigada en el ciclo cerrado, se supone una llegada rítmica del equipo minero al mantenimiento. Realmente el tiempo de mantenimiento de los distintos equipos es una variable casual que depende de la calificación de los mecánicos, de la regularidad del servicio de engrase, lubricación, del estado técnico de los equipos mineros, del desgaste de los elementos de máquinas, de los distintos niveles de fatiga de los mecánicos, de la calidad de los lubricantes y grasas, etc.

El carácter casual de la duración del mantenimiento de los equipos mineros permite interpretar el trabajo del conjunto brigada- equipo minero, como un proceso de la teoría de colas. Donde la instalación de servicio en este caso es la brigada, y la llegada del equipo minero al mantenimiento provoca el flujo de exigencia. En este caso el flujo de exigencia en el mantenimiento del equipo minero es simple y para su descripción es suficiente calcular la esperanza



matemática de la cantidad de exigencias (equipos mineros), que ingresan al mantenimiento en la unidad de tiempo. En el caso analizado el conjunto de servicio se muestra en la tabla III.1.

La brigada junto con la cantidad de equipos mineros fijado a ella se analiza como un sistema de la teoría de colas, el cual puede encontrarse en  $k$  estados, donde:  $K= 0, 1, 2, 3, \dots, n$

$n$  es la cantidad de equipos mineros que son servidos por una brigada. Estos estados corresponden a: 0 todos los equipos mineros en trabajo (en movimiento y en explotación); 1 un equipo se encuentra en el mantenimiento y los restantes  $n - 1$  en trabajo; 2 equipos mineros se encuentran en el lugar de mantenimiento y los restantes  $n - 2$  en trabajo; etc.

**Tabla III.1 Conjunto de servicio**

Conjunto que recibe el servicio.	Conjunto que da el servicio.	Contenido del servicio.	Contenido de la exigencia.
Conjunto de equipos mineros que se le asignan a una brigada.	La brigada que realiza las labores de mantenimiento del equipo.	Mantenimiento al equipo minero.	Minimización de las fallas del equipo minero para disminuir los tiempos improductivos.

En el caso mostrado la cantidad de equipos mineros que ingresan al servicio en la unidad de tiempo y constituyen el conjunto, los momentos de ingreso de los equipos mineros, el tiempo que es consumido en el servicio del equipo que ingresa, el tiempo de espera del servicio, y también otras variables bajo la acción de una serie completa de causas pequeñas, aleatorias, que no se someten a un cálculo exacto, control y varían entre amplios límites. Por ello las tareas que están relacionadas con tales conjuntos de servicio, se resuelven por los métodos probabilísticos (Skobelina et al, 2005).



La teoría de colas estudia las leyes cuantitativas de los procesos, que están relacionadas con las colas, elabora los métodos matemáticos, halla las características fundamentales para la elaboración de los procesos de funcionamiento del conjunto de servicio (Saaty, 2004), (Solomentseva, 2011).

En el conjunto de servicio al equipo, se debe utilizar el sistema con cola, los índices fundamentales de su trabajo son: la cantidad de equipos mineros en la espera y el tiempo de espera (tiempos improductivos tecnológicos). En este caso la exigencia es que el equipo espere y no abandone el conjunto de servicio, hasta tanto no se le de todo el mantenimiento.

Si la cantidad de equipos mineros que son servidos es limitada, entonces el equipo a través de algún tiempo regresa al conjunto por un nuevo servicio, a tales conjuntos se le denominan cerrados. Evidentemente, en tales conjuntos la cola al servicio siempre es limitada. Si la cantidad de exigencias que ingresan es grande entonces ellos ingresan continuamente, a tales conjuntos se le denominan abiertos.

### **III.1 El flujo de exigencia**

El flujo de exigencia, que ingresa al conjunto de servicio se le denomina flujo de entrada, el conocimiento del conjunto de servicio debe comenzar con el flujo de entrada.

La cantidad de exigencias que ingresan en la unidad de tiempo se examina como una variable de duración casual. Por su característica completa, sirve la ley de distribución de Poisson como se ve en la figura III.1, que son los denominados flujos simples (Omelchenko, 2003). El flujo simple se determina por tres condiciones:

1. La estacionariedad, que plantea que la cantidad media de equipos mineros en la unidad de tiempo es constante. Esto significa por ejemplo, que la cantidad media de equipos mineros que ingresan al mantenimiento por hora es constante en distintas horas del turno.
2. La ausencia de consecuencia. La cantidad de equipos mineros, que ingresan en un determinado intervalo de tiempo, no depende de la cantidad que fueron servidos en el intervalo precedente. Esto significa por ejemplo, que la cantidad





de equipos mineros al mantenimiento por la brigada en la segunda hora de trabajo, no depende de la cantidad que fueron servidos en la primera hora.

3. La ordinariedad. La probabilidad de ingreso de más de un equipo en pequeños intervalos de tiempo  $\Delta t$ , es muy pequeña, es decir en un intervalo de tiempo muy pequeño del orden  $\Delta t$ , ingresa no más de un equipo, lo que significa que al mantenimiento en el momento dado de tiempo llaga no más de un equipo.

En este caso se demuestra, que para los flujos simples la cantidad de equipos mineros que ingresan al sistema en la unidad de tiempo, se someten a la ley de distribución de Poisson (Skobelina, 2005), es decir la probabilidad  $P_k$  de que al conjunto de servicio durante el tiempo  $t$  ingresa  $k$  exigencias, se calcula según la fórmula (Fedchenko A. A. et al ,2004)

$$P_k = \frac{n(n-1)\dots[n-(k-1)]}{k!} P_0 \left( \frac{\lambda}{v} \right)^k$$

Donde:

$P_0$  es la probabilidad de que en el momento dado en el servicio no se encuentra ni un equipo

$\lambda$  es la cantidad media de exigencias que ingresan en la unidad de tiempo (hora) (parámetro del flujo de exigencias y caracteriza su intensidad), se expresa en equipo/h.

$1/V$  es el tiempo medio de servicio (mantenimiento) de un equipo por una brigada se expresa en h/equipo, significando la cantidad de equipos mineros que ingresan al sistema a lo largo del tiempo de mantenimiento de un equipo.

La cantidad media de equipos mineros, que ingresan en el tiempo  $t$  viene dada por la esperanza matemática de  $K(t)$

$$M[K(t)] = \lambda t$$

### III.2 Duración del servicio

La duración del servicio de una exigencia, es una variable casual, la cual puede variar en un diapasón amplio ver tabla III.2. La ley de distribución de esta



variable puede ser diversa. En este caso el tiempo de servicio de un equipo por una brigada es  $1/V$ .

$$M (\text{t mantenimiento})= T \text{ mantenimiento} = 1/V \quad (\text{III.4})$$

La presencia de la distribución del índice de tiempo de servicio se establece estadísticamente (Saaty, 2004). No obstante su requisito fundamental es que la ley de distribución del índice de tiempo de servicio se obtiene en aquellos casos, cuando la densidad de la distribución decrece con el crecimiento de  $t$  (por ejemplo, cuando la cantidad fundamental de los equipos mineros son servidos por la brigada rápidamente y un servicio prolongado se exige raramente). En este caso la relación  $\lambda / V = \lambda (1/V)$ .

En la mayoría de las aplicaciones prácticas de la teoría de colas como el caso analizado, el flujo de exigencias se supone simple, y el tiempo de servicio tiene una ley de distribución del índice (Saaty, 2004)

**Tabla III.2**

<b>Camiones</b>	<b>Tiempo de mantenimiento</b>
CV- 1	20 minutos
CV- 2	30 minutos
CV- 3	15 minutos
CV- 4	53 minutos
CV- 5	10 minutos
CV- 6	15 minutos
CV-7	18 minutos
CV- 8	12 minutos
CV- 9	11 minutos
CV- 10	14 minutos
<b>Total</b>	198 minutos
<b>Promedio</b>	20 minutos

De la tabla III.2 se puede apreciar que la duración de los tiempos de mantenimiento del equipamiento minero es una varia casual que varía en amplios límites, desde 10 hasta 53 minutos, con un valor promedio de 20 minutos.

Se verá el caso cuando el sistema de servicio consta de una brigada ( $m = 1$ ) sea  $\lambda$  la intensidad de llegada de los equipos mineros a la zona de mantenimiento partiendo de un equipo, y  $1/V$  es el tiempo medio del servicio de



un equipo. (Se dan los distintos estados del sistema) como se muestra a continuación.

Es examinada la probabilidad de los distintos estados del sistema. Designando por  $P_0$  la probabilidad de que en el momento dado, en el servicio no se encuentra ni un equipo y a través de  $P_k$  la probabilidad de que en el momento dado en el servicio de mantenimiento se encuentren  $k$  equipos mineros de  $n$  posibles ( $k = 1, 2, 3, \dots, n$ )

De donde son correctas las siguientes relaciones

$$\sum_{k=0}^n P_k = 1$$

$$P_0 = P_e$$

$$P_1 = n P_0 \lambda / V$$

$$P_2 = n(n-1) P_0 (\lambda / V)^2$$

$$P_3 = n(n-1)(n-2) P_0 (\lambda / V)^3$$

.....

$$P_k = n(n-1) \dots [n-(k-1)] P_0 (\lambda / V)^k$$

.....

$$P_m = n(n-1) \dots [n-(m-1)] P_0 (\lambda / V)^m$$

De la suma de las partes derechas e izquierdas de estas igualdades, se obtiene:

$$P_0 \{1 + n \lambda / V + n(n-1) (\lambda / V)^2 + n(n-1)(n-2) (\lambda / V)^3 + \dots + n! (\lambda / V)^n\} = 1$$

De donde se determina  $P_0$  y después según las ecuaciones (III.5) todas las probabilidades  $P_k$ .

Conociendo  $P_k$  ( $k = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ ) se pueden calcular los parámetros fundamentales de la coordinación mutua casual del trabajo de la brigada y de los equipos mineros en el ciclo cerrado.

1. La cantidad media de equipos mineros, que se encuentran en el mantenimiento.

$$a = M(k) = \sum_{k=0}^n k P_k \quad ; \quad \text{Unidades}$$

2. El coeficiente de tiempo improductivo de un equipo.



$$Tie = \frac{a}{n} = \frac{\sum_{k=0}^n k P_k}{n} \cdot 100 \quad ; \quad \%$$

3. Probabilidad de la brigada resulte ocupada y surja la cola en el servicio es:

$$P_{CO} = \sum_{k=m}^n P_k \quad ; \text{ En partes de la unidad}$$

4. Cantidad media de equipos mineros, que esperan el servicio.

$$b = M \left( n - m \right) = \sum_{k=m}^n \left( n - m \right) P_k = \sum_{s=0}^{n-m} s P_{m+s}$$

5. Coeficiente de tiempo improductivo del equipo en la espera del servicio.

$$\beta = \frac{b}{n} = \frac{\sum_{s=0}^{n-m} s P_{m+s}}{n} \cdot 100 \quad ; \quad \%$$

6. Tiempo medio de espera del servicio.

$$T_{esp} = \frac{b}{n\lambda} = \frac{1}{n\lambda} \sum_{s=0}^{n-m} s P_{m+s} \quad ; \text{ min.}$$

7. Parte del tiempo de trabajo de la brigada que no es utilizado.

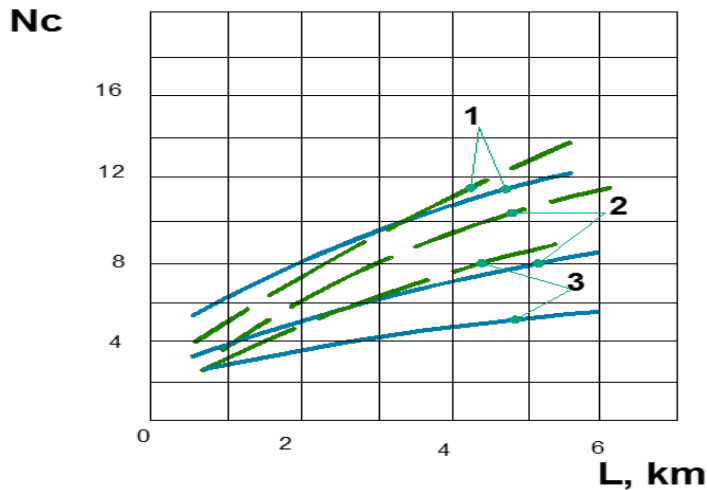
$$C = M(\gamma - K) = \sum_{k=0}^m \left( n - k \right) P_k \quad ; \quad \text{ En partes de la unidad}$$

8. Coeficiente de tiempo improductivo de la brigada que da el servicio.

$$Tie = \frac{C}{m} = \frac{\sum_{k=0}^m \left( n - k \right) P_k}{m} \cdot 100 \quad ; \quad \%$$

En la figura 3.1 son mostrados los nomogramas (resultados de los cálculos) de la cantidad de equipos mineros que reciben mantenimiento  $N_c$  en dependencia del recorrido para recibir el mantenimiento L (tiempo improductivo), según la metodología expuesta (línea continua) y los obtenidos sin

tener en cuenta el carácter casual del proceso( línea discontinua), para el caso de mantenimiento de la brigada a equipos mineros de transporte: 1- Volvo A40D, 2- Terex , 3- Volvo A40E en el conjunto brigada – equipos mineros; los que en la mayoría de los casos no coinciden y en la medida que aumenta la capacidad del equipo más significativa se hace la diferencia, la que oscila entre un 10%-17%.



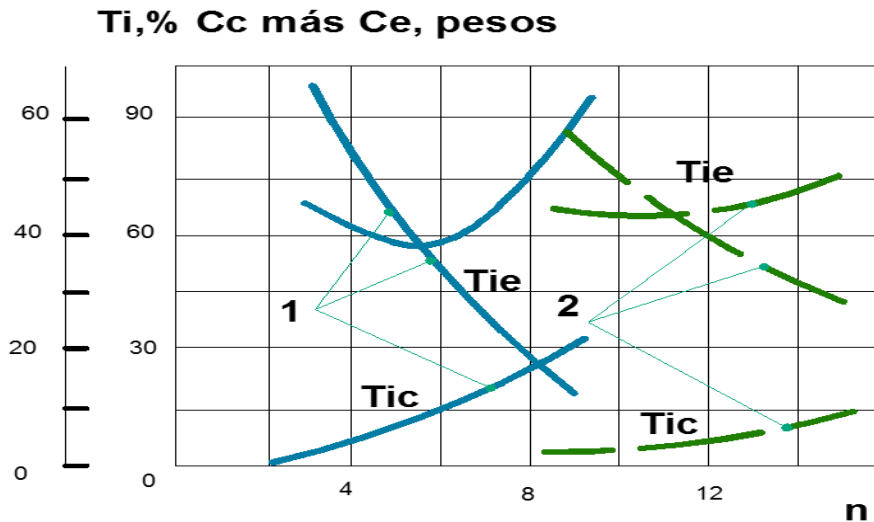
**Fig.III.1 Cantidad calculada de equipos mineros para el servicio por una brigada: equipos mineros de transporte: 1- Volvo A-40D, 2- Terex; 3- Volvo-A40E.**

De la figura 3.1 se puede apreciar que en la medida que aumenta la distancia de transportación la metódica existente tiende a aumentar la cantidad de camiones por encima de los que realmente puede servir la brigada de mantenimiento, por lo que aproximadamente dos camiones no serán servido dando una gran contribución al incremento de los tiempos improductivos de los mismos y una gran productividad de la brigada, por otro lado cuando disminuye la distancia ocurre lo contrario, hay menos camiones de los que puede servir la brigada garantizando una alta productividad de los camiones y valores considerables de tiempo improductivo de la brigada.

En la figura III.2 es dada la dependencia de las magnitudes de los tiempos improductivos totales de la brigada  $T_{ie}$ , Tiempo improductivo de los equipos mineros  $T_{ic}$ , de la cantidad de equipos mineros  $Nc$ , en el conjunto brigada –



equipos mineros, para el caso del equipo de transporte A40D, en los recorridos al lugar del mantenimiento de: 1- 1,9km; 2- 5 Km.



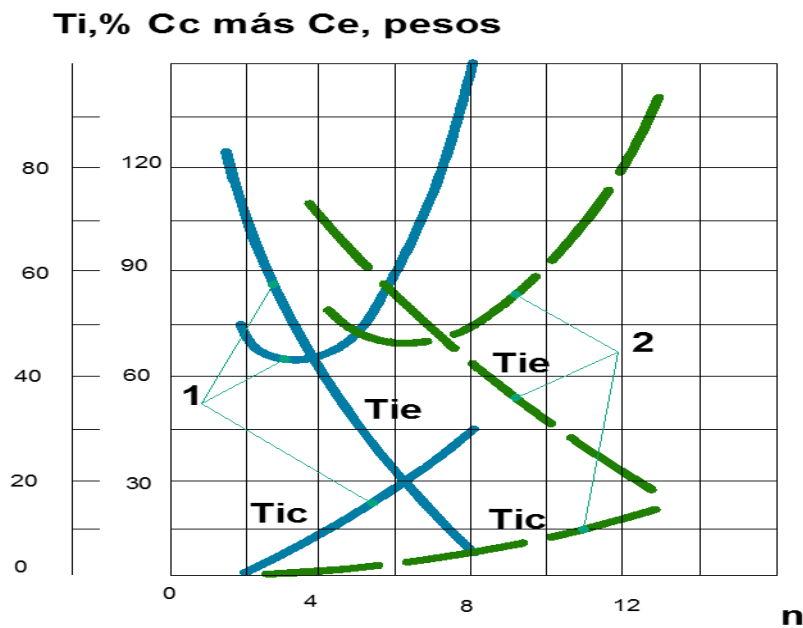
**Figura III.2 Dependencia de los tiempos improductivos de la brigada y del equipo minero volvo AD40 de la cantidad de equipos mineros y del costo total de los tiempos improductivos del conjunto brigada-equipo.**

El aumento de la cantidad de equipos mineros significativamente disminuye el tiempo improductivo de la brigada, no obstante conduce al aumento de los gastos totales de los tiempos improductivos sobre todo con la utilización de equipos mineros potentes como se verá en la fig.III.3, Las diferencias en los tiempos improductivos de los equipos mineros alcanza del 10%--15% por encima del establecido por el procedimiento propuesto. El sistema posee una gran flexibilidad en distancias no grandes de recorrido al mantenimiento ya que admite aumentar la cantidad de equipos mineros por encima de la racional con el objetivo de aumentar la productividad de la brigada, pero sobre la base de una valoración técnico- económica que minimice los costos de los tiempos improductivos.

En distancias significativas de recorridos al mantenimiento, ver en la fig.III.3 la posición 2 y la utilización de equipos mineros potentes, la desviación de la cantidad de equipos mineros de su cantidad racional agudamente aumenta los gastos a costa de los tiempos improductivos, los que alcanzan magnitudes

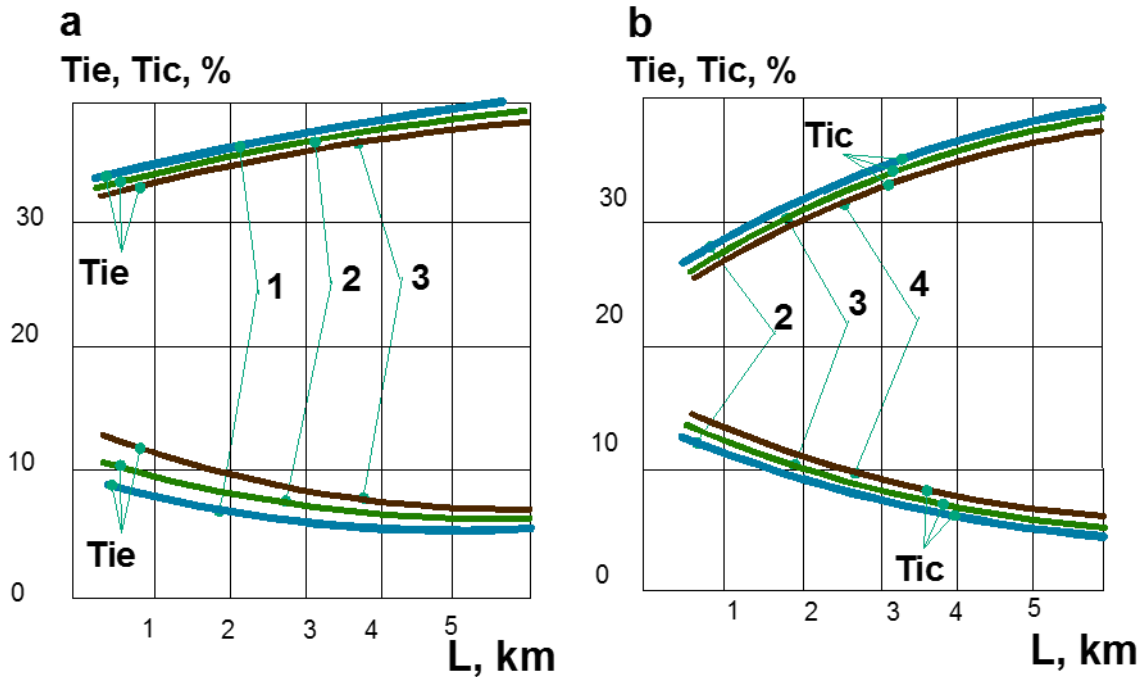


significativas por ejemplo, con una utilización racional de la brigada y del equipo minero VOLVO A40E del conjunto en una distancia de recorrido de 4.5km el tiempo improductivo de las brigadas a causa del acceso casual de los equipos mineros alcanza alrededor del 37.5% y de cada equipo alrededor del 11%, lo que se determinó cronométricamente en el taller y en el yacimiento Yagrumaje sur.



**Figura III.3 Dependencia de los tiempos improductivos de la brigada y de los equipos mineros volvo A40D, de la cantidad de equipos mineros y del costo total de los tiempos improductivos del conjunto brigada-equipo.**

El análisis ejecutado del trabajo de los conjuntos brigada-equipos mineros con la utilización de la teoría de colas, permite establecer la magnitud de los tiempos improductivos del equipo con una cantidad racional de equipos mineros que son servidos por la brigada: a) Brigada- VOLVO EC 460; b) Brigada y equipos mineros 1- Komatsu, 2-Volvo AD40, 3- Equipo minero camiones articulados volvo AD40E ver fig. III.4.



**Figura III.4 Dependencia de los coeficientes de pérdidas de tiempo de las brigadas (Tie) y de los equipos mineros (Tic) con respecto a la distancia de recorrido al mantenimiento.**

Como se ve del gráfico el tiempo improductivo del equipo a causa del carácter casual de los elementos del tiempo de mantenimiento alcanza magnitudes significativas.

Como resultado del sistema que existe de servicio por la brigada a los equipos mineros fijados a ella es decir, trabajo según el ciclo cerrado no permite utilizar efectivamente la cantidad de brigadas y equipos mineros. Por eso la productividad de las brigadas en el trabajo con equipos mineros es comparativamente pequeña y tendría una gran perspectiva el desarrollo del procedimiento de cálculo del mantenimiento que permita disminuir los tiempos improductivos para el caso de la organización del mantenimiento según el ciclo abierto.





### **III.3 Cálculo de la productividad de explotación y establecimiento de la cantidad de equipos en los conjuntos**

#### **III.3.1 Cantidad de equipos mineros serviciados por una brigada en el ciclo cerrado**

Los cálculos muestran, que la productividad del equipo considerando el carácter casual de los procesos se desvía de los resultados del cálculo según el método general aceptado y en mayor medida corresponde a las condiciones reales de trabajo, que son determinadas según las observaciones cronométricas en las minas.

Estas desviaciones alcanzan del 10 al 20% para los equipos mineros de transporte, lo que es necesario considerar en la formación de la estructura de la mecanización integral con brigadas de mantenimiento y transporte.

#### **III.3.2 Cantidad total de equipos mineros sometidos al mantenimiento.**

Conociendo la cantidad de equipos mineros que son necesarios para ser serviciados por una brigada, se determina el parque de trabajo de los equipos mineros, que son exigidos para el trabajo en el flujo de mantenimiento de la mina con  $m$  brigadas que trabajan simultáneamente:

$$N_t = \sum_{i=1}^m N_i$$

### **III.4 Indicaciones metodológicas para el procedimiento de cálculo**

Se tiene un conjunto de  $m$  brigadas para el servicio de  $n$  equipos mineros, la cantidad de los cuales es limitado. Se supone que el flujo de exigencias en los equipos mineros al servicio por la brigada, que ingresan al sistema en la unidad de tiempo se somete a la ley de distribución de Poisson.

La brigada junto con los equipos mineros fijados a ella se analiza como un sistema de la teoría de colas, el cual puede encontrarse en  $k$  estados, donde:

$$K = 0, 1, 2, 3, \dots, n$$

$n$  es la cantidad de equipos mineros que son servidos por una brigada. Estos estados corresponden a: 0 todos los equipos mineros en trabajo (en movimiento); un equipo se encuentra en el mantenimiento y los restantes  $n - 1$



en trabajo; 2 equipos mineros se encuentran en el lugar del mantenimiento y los restantes

$n - 2$  en trabajo; etcétera.

El sistema de servicio consta de una brigada  $\gamma = 1$ . Sea  $\lambda$  la intensidad del flujo de exigencia en el servicio, que parte de un camión y  $\frac{1}{\nu}$  es el tiempo medio del servicio de una exigencia.

Se examina la probabilidad de los distintos estados de los sistemas. Se designa a través de  $P_o$  la probabilidad de que en el momento dado en el sistema se encuentra  $k$  exigencias de  $n$  posibles ( $k=1, 2, 3, \dots, n$ )

Las fórmulas para la determinación de la probabilidad de la llegada simultánea al servicio de los equipos mineros se desarrollan de la forma siguiente:

$$P_1 = nP_o \frac{\lambda}{\nu}$$

$$P_2 = (n-1)P_1 \frac{\lambda}{\nu}$$

-----

$$P_k = [1 - \sum_{i=1}^{k-1} P_i] \frac{\lambda}{\nu}$$

-----

$$P_n = [1 - \sum_{i=1}^{n-1} P_i] \frac{\lambda}{\nu}$$

Dónde:  $\lambda$ : es la cantidad media de equipos mineros, que ingresan al servicio de mantenimiento en la unidad de tiempo.

$\nu$ : es parámetro de la duración del servicio.

$P_o$ : es la probabilidad de que en el momento dado en el mantenimiento no se encuentre un equipo.

Para la determinación de  $P_o$  se expresan todos los  $P_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ) a través de  $P_o$  y se calcula, que la suma de la probabilidad de todos los posibles estados del sistema igual a la unidad.

Se obtiene:



$$\sum_{k=0}^n P_k = 1$$

$$P_o = P_o$$

Los parámetros de cálculos fundamentales que caracterizan la coordinación casual del trabajo de la brigada y de los equipos mineros en el ciclo cerrado se determinan según las fórmulas:

1. La cantidad media de equipos mineros, que se encuentran en el mantenimiento.

$$a = M(k) = \sum_{k=0}^n k P_k \quad ; \quad \text{Unidades}$$

2. El coeficiente de tiempo improductivo de una unidad de equipamiento a causa de fallos

$$Tic = \frac{a}{n} = \frac{\sum_{k=0}^n k P_k}{n} \cdot 100 \quad ; \quad \%$$

3. Probabilidad de que la brigada resulte ocupada y surja la cola en el servicio:

$$P_{CO} = \sum_{k=m}^n P_k \quad ; \quad \text{En partes de la unidad}$$

4. Cantidad media de camiones, que esperan por el servicio.

$$b = M(-m) = \sum_{k=m}^n (-m) P_k = \sum_{s=0}^{n-m} s P_{m+s}$$

5. Coeficiente de tiempo improductivo del equipo en la espera del servicio.

$$\beta = \frac{b}{n} = \frac{\sum_{s=0}^{n-m} s P_{m+s}}{n} \cdot 100 \quad ; \quad \%$$

6. Tiempo medio de espera del servicio.



$$T_{esp} = \frac{b}{n\lambda} = \frac{1}{n\lambda} \sum_{s=0}^{n-m} sP_m + s \quad ; \text{ min.}$$

7. Cantidad media de unidades libres del personal de servicio.

$$C = M(\gamma - K) = \sum_{k=0}^m (n - k) P_k \quad ; \quad \text{En partes de la unidad}$$

8. Coeficiente de tiempo improductivo de la brigada que da el servicio.

$$T_{ie} = \frac{C}{m} = \frac{\sum_{k=0}^m (n - k) P_k}{m} \cdot 100 \quad ; \quad \%$$

9. Cálculo de la cantidad de equipos mineros que ingresan al mantenimiento.

El procedimiento de cálculo expuesto anteriormente permite determinar la cantidad de equipos mineros sometidos al servicio por la brigada en el ciclo cerrado partiendo de las premisas siguientes:

Con la disminución del tiempo improductivo de la brigada y el aumento de la cantidad de unidades de transporte, se aumenta el tiempo improductivo de los equipos mineros y, a la inversa con la disminución de la cantidad de equipos mineros para el servicio por la brigada aumenta el tiempo improductivo de ella pero se disminuye el de los equipos mineros en la espera de mantenimiento.

Por criterio de optimización para establecer la cantidad de equipos mineros es tomado el mínimo de los costos de los tiempos improductivos del equipo y de la

brigada 
$$\sum_{i=1}^n Cca + Ce = \text{min}$$

Donde:

$C_e, Cca$ : son respectivamente el costo del tiempo improductivo de la brigada y de un equipo, \$ /equipo.

$$C_e = T_{ie} C_{mt}$$

$$Cca = T_{ic} C_{mt}$$

Donde:



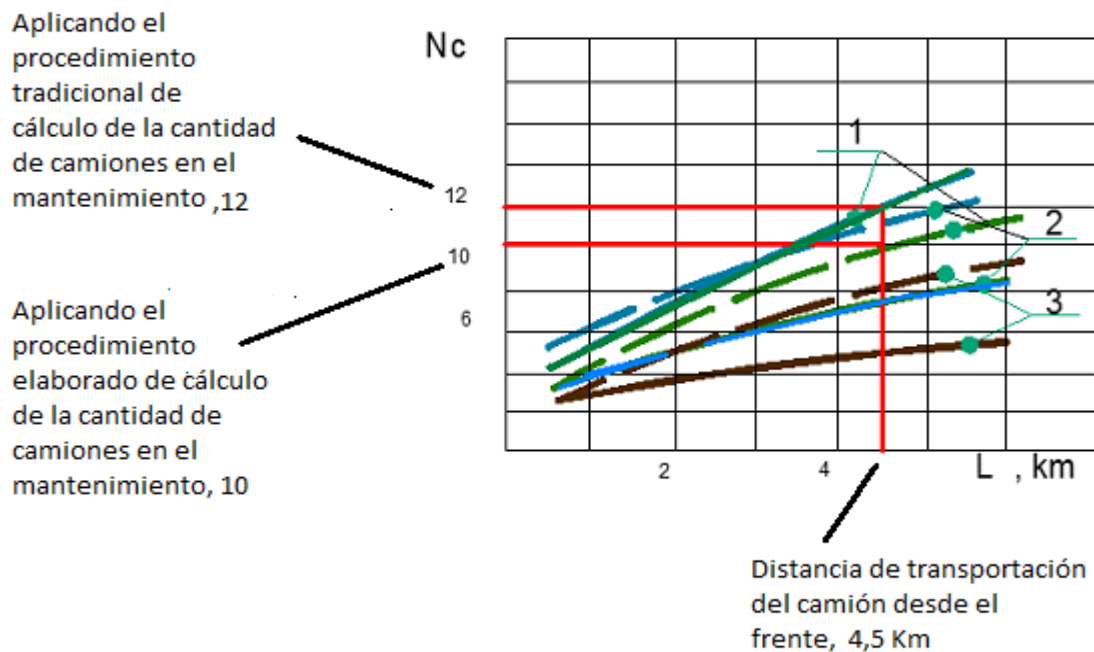
$C_{mt}$  €,  $C_{mt}$  € son los costos de los tiempos improductivos de la brigada y de los equipos mineros respectivamente, \$/ equipo.

## CAPÍTULO IV: APLICACIÓN AL CASO DE ESTUDIO DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL MANTENIMIENTO QUE PERMITE DISMINUIR LOS TIEMPOS IMPRODUCTIVOS DE EQUIPAMIENTO

### IV.1 Análisis comparativo de la aplicación del procedimiento de cálculo nuevo con el procedimiento existente

Anteriormente en la mina al mantenimiento se destinaban 12 equipos mineros lo que era establecido según la metodología tradicional, ver fig.IV.1.

En la figura IV.1 se ilustra cómo se utiliza el nomograma de cálculo de la cantidad de equipos mineros de transporte sometidos a mantenimiento diario por el método de cálculo tradicional, que es de 12 equipos mineros y el propuesto que permite disminuir los tiempos improductivos, es de 10; se desarrolla el estudio de caso, para los 10 equipos mineros.



**Fig. IV.I. Utilización del nomograma para establecer la cantidad de equipos mineros para el servicio por una brigada: equipos mineros de transporte 1- Volvo A-40D, 2- Terex; 3- Volvo-A40E.**

El Servicio de los 10 equipos mineros por la brigada de mantenimiento en el taller a una distancia de 4,5 km del frente de trabajo. Una unidad de



equipamiento exige la atención de dos trabajadores en la media una vez cada 20 minutos, y el servicio ocupa en la media 2 minutos. Sobre la base de la investigación estadística y la experiencia de la práctica de producción fue establecido, que el flujo de exigencia es simple y que la distribución es del tiempo de servicio es de índice con los parámetros:

En este caso. Los cálculos se muestran en la tabla 4.1

**Tabla 4.1**

K	$P_K$	$P_K/P_0$	$P_K$	$KP_K$	K-2	$(K-2)P_K$	2-K	$(2-K)P_K$
0	$P_0$	1,000000	0,370993	0	-	-	2	0,741986
1	$10P_0(1/10)$	1,000000	0,370993	0,370993	-	-	1	0,370993
2	$9P_{1/2}^*10$	0,450000	0,166947	0,333893	0	0	0	0
3	$8P_{2/2}^*10$	0,180000	0,066779	0,200334	1	0,066778	-	-
4	$7P_{3/2}^*10$	0,063000	0,023372	0,093488	2	0,046744	-	-
5	$6P_{4/2}^*10$	0,001890	0,000701	0,003505	3	0,002103	-	-
6	$5P_{5/2}^*10$	0,000472	0,000175	0,001050	4	0,000700	-	-
7	$4P_{6/2}^*10$	0,000094	0,000035	0,000238	5	0,000170	-	-
8	$3P_{7/2}^*10$	0,000014	0,000005	0,000040	6	0,000030	-	-
9	$2P_{8/2}^*10$	0,000001	0,000000	0,000000	7	0,000000	-	-
10	$1P_{9/2}^*10$	0,000000	0,000000	0,000000	8	0,000000	-	-
Total		2,695471	1,000000	1,003540	-	0,116525	-	1,112979

La suma de la probabilidad de todos los estados es igual a la unidad.

$$\sum_{k=0}^{10} P_k = 2,695471 * P_0 = 1$$

De donde:

$$P_0 = \frac{1}{2,395471} = 0,370993$$



## IV.2 Determinación de los parámetros de cálculos fundamentales que caracterizan la coordinación mutua casual del trabajo de la brigada y de los equipos mineros en el ciclo cerrado

1. La cantidad media de equipos mineros que se encuentran en el mantenimiento (tiempo improductivo tecnológico del equipo).

$$a = \sum_{k=0}^{10} k P_k = 1,00354$$

2. El coeficiente de tiempo improductivo de una unidad de equipamiento a causa de un fallo.

$$T_{ic} = \frac{1,00354}{10} = 0,100354$$

Es decir, el 10% del tiempo de la unidad de equipamiento no trabaja

3. Probabilidad de que la brigada en el servicio resulte ocupada y surja la cola para el mantenimiento.

$$P_{co} = 1 - (P_0 + P_1) = 1 - (0,370993 + 0,370993) = 0,258014 \quad \text{Es decir } 26 \%$$

4. La cantidad media de camión, que esperan por el servicio.

$$b = \sum_{k=2}^{10} (k - 2) P_k = 0,116525$$

5. El coeficiente de tiempo improductivo de un equipo en la espera del servicio.

$$\beta = \frac{b}{n} = \frac{0,116525}{10} = 0,011652 = 1\% \quad \text{del tiempo de trabajo de la unidad de equipo}$$

no trabaja en la cola en la espera del servicio.

6. Tiempo medio de espera del servicio.

$$T_{esp} = \frac{b}{n\lambda} = \frac{0,116525}{10 \cdot 3} \cdot 60 = 0,23305 \text{ min}$$

7. Cantidad media de unidades libres del personal de servicio.

$$C = M(2 - k) = \sum_{k=0}^2 (2 - k) P_k = 1,112979$$

8. Coeficiente de tiempo improductivo de la brigada

$$T_{ie} = \frac{C}{m} = \frac{1,112979}{2} = 0,556489 \cdot 100 = 55,65\%$$





Por consiguiente el coeficiente de tiempo improductivo de la brigada es 55,65% El determinado cronométricamente fue 55.20% lo que habla de la exactitud del procedimiento nuevo para determinar los tiempos improductivos.

### 9. Cálculo de la cantidad de equipos mineros.

De las consideraciones económicas en la comparación de los perjuicios producto de los tiempos improductivos de los equipos mineros con los de la brigada, será examinada la racionalidad de la posible decisión de aumentar la cantidad de camiones mineros que es servido por una brigada, como criterio de optimización en este caso es tomado el costo mínimo de los tiempos improductivos del equipo y de la brigada (Lebedev, 2011).

$$\sum_{i=1}^n Cca + Ce = \min \qquad \sum_{i=1}^n TicCm.tc + TieCmte = \min$$

Dónde: Cca y Ce son el costo del tiempo improductivo de los camiones mineros y de la brigada respectivamente.

$$Cca = Tic * Cmtc$$

$$Ce = Tie * Cmte$$

$$Tic=10\%$$

$$Tie=55,65\%$$

Datos suministrados por la mina:

$$Cmtc = 56,85 \text{ \$/h para un camión}$$

$$Cmte = 28,96 \text{ \$/h}$$

Sustituyendo y calculando

$$Cca = 56,85\$/h$$

$$Cce = 16,12 \text{ \$/h}$$

Los costos de los tiempos improductivos de los equipos mineros, con 10 camiones son 3 veces superior al costo del tiempo improductivo de la brigada, por lo que no tiene sentido incrementar dos equipos ya que lo que se hace es, buscando disminuir los tiempos improductivos de la brigada aumentar considerablemente los de los camiones que son más caros y no cumpliríamos entonces, con la condición de minimización, con los 10 hay un tiempo improductivo del camión en la espera de mantenimiento del 1% el que es despreciable y prácticamente no hay cola, aumentarlo provocará aumentar



considerablemente el costo de producción por pérdida de productividad del equipamiento.

El costo mínimo de los tiempos improductivos es:

$$\sum_{i=1}^n Cca + Ce = \min$$

$$56,85 + 16,12=72,97 \text{ \$/h}$$

### IV.3 Análisis técnico-económico de los resultados

1. El 10 % del tiempo de trabajo del equipo de transporte es improductivo, para un aumento del coste de producción de **56,85 \\$/h**.
2. El 1% del tiempo de trabajo de un equipo, se pierde en la espera de mantenimiento para un perjuicio económico de **5,69\\$/h**.
3. El 55,65 % del tiempo de trabajo de la brigada es improductivo para un aumento del coste de producción de **16,12\\$/h**
4. El costo mínimo de los tiempos improductivos de los equipos para el caso estudiado es de **72,97\\$/h**
5. Un efecto económico sustancial lo tiene la reducción del número de equipos mineros en dos, con lo que aumenta la productividad de explotación del parque de equipo minero y disminuye el costo de producción y del tiempo improductivo de los equipos mineros (Somolentsheva, 2011).

El procedimiento de cálculo del mantenimiento que permite disminuir los tiempos improductivos, constituye una herramienta de trabajo muy valiosa y superior a la tradicional, que posibilita argumentar de forma técnico- económica las decisiones, para el cálculo de la cantidad de equipos mineros que deben someterse a mantenimiento, lo que permite aumentar la productividad de la mina, producto de evitar el exceso de equipos mineros que da el método tradicional y determinar la estructura del conjunto brigada-equipo para condiciones operativas concretas, lo que dota al procedimiento de mucha flexibilidad y de aplicabilidad.



Al realizar la reducción de plantilla de la brigada de mantenimiento la mina debe considerar el hecho de que, en la coordinación del trabajo de los equipos mineros y de la brigada de mantenimiento, en la misma ha existido una tendencia a aumentar la cantidad de equipos mineros que se envían al mantenimiento y no de la plantilla de la brigada, lo que influye en el valor significativo del coeficiente de tiempo improductivo del equipo en la espera del servicio, al consumir la brigada más tiempo en el mantenimiento de un equipo, lo que se aumentará el costo de producción, lo que es contrario al efecto que se busca con la misma.



## CONCLUSIONES GENERALES

1.El procedimiento de cálculo del mantenimiento que permite disminuir los tiempos improductivos, constituye una herramienta de trabajo muy valiosa y superior a la tradicional, que posibilita argumentar de forma técnico- económica las decisiones, para el cálculo de la cantidad de equipos mineros que deben someterse a mantenimiento, optimizar el número de máquinas mineras que deben integrar el conjunto brigada-equipo para disminuir los tiempos improductivos y aumentar la productividad del equipamiento minero producto de evitar el exceso de su cantidad en el mantenimiento que da el método tradicional para condiciones operativas concretas, lo que dota al procedimiento de mucha flexibilidad y de aplicabilidad.

2.Fueron establecidas las indicaciones metodológicas para la aplicación del procedimiento propuesto y revelados por primera vez, los parámetros de cálculo de la coordinación casual, racional del trabajo de la brigada de mantenimiento y el equipo en el ciclo cerrado, demostrando la viabilidad tanto técnica como económica del procedimiento, al disminuir al 10 % los tiempos improductivos del equipamiento, con un costo de producción de 56,85 \$/h; la disminución del número de equipos mineros en dos; reducir al 1% la pérdida del tiempo de trabajo de un camión, en la espera de mantenimiento para un perjuicio económico de 5,69\$/h; el 55,65 % del tiempo de trabajo de la brigada es improductivo con una contribución al costo de producción de 16,12\$/h y lograr el costo mínimo de los tiempos improductivos de los equipos y de la brigada para el caso de estudio, que es de 72,97\$/h.



## RECOMENDACIONES

1. Digitalizar el nuevo procedimiento de cálculo del transporte automotor para disminuir los tiempos improductivos, de forma que permita determinar en tiempo real la cantidad de equipos que serán sometidos a mantenimiento para las distintas situaciones operativas que se presentan en la mina.
2. Al realizar la reducción de plantilla de la brigada de mantenimiento la mina debe considerar el hecho de que, en la coordinación del trabajo de los equipos mineros y de la brigada de mantenimiento, en la misma ha existido una tendencia a aumentar la cantidad de equipos mineros que se envían al mantenimiento y no de la plantilla de la brigada, lo que influye en el valor significativo del coeficiente de tiempo improductivo del equipo en la espera del servicio, al consumir la brigada más tiempo en el mantenimiento de un equipo, lo que se aumentará el costo de producción, lo que es contrario al efecto que se busca con la misma.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

Aduvirre (1990), En su Tesis en la opción al título de Doctor en Minas.

Cisneros 2003. Como miembro de la Asociación de Ingenieros de Mina de Ecuador.

(Cisneros, 2003) "Diseño de Explotación a Cielo Abierto ".En su tesis muestra una metodología para la selección de equipos mineros;

Chiang, L; Olivares Pasten, L. (2008) El enfoque que proponen permite analizar máquinas con ciclo variable de trabajo.

(Cooke, 2008)En la publicación de la revista viewponit hace referencia a una flota de camiones en la mina de Cobre y Oro, La Sierrita, en Arizona, Estados Unidos.

Curbeira, D. (2002), en su tesis "Nueva dimensión de la teoría de la reposición y el mantenimiento" en opción al título de Máster en Matemática Aplicada.

Estupiñan, E. (2003) En su artículo "Alcance de la implementación de nuevas técnicas de análisis en los programas de mantenimiento productivo-proactivo en la industria" El departamento técnico del Taller de Mantenimiento Industrial Mina (2006).

García de la Cruz, M.I. (2008), En su Tesis "Perfeccionamiento del procedimiento de adquisición y explotación de los equipos mineros en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara" en opción al Título Académico de Máster en Minería.

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

Guerra López, E; García de la Cruz, M.I. (2009) Analiza en su trabajo "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"

Herrera y et. alt (2002) en el "Manual de Laboreo ",



Juan Herrera Herbert (2006) en edición de la revista "Inteligencia y Tecnología en Minería" el Analista de Noticias – InfoMine, 2010, , en la edición del artículo "Importancia de la selección del método de explotación"

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

Maxera (2002) "Aplicación de la simulación para la optimización del acarreo de mineral; "

Mbalongany, M. (2010) En su tesis "Estudio del Rendimiento de los equipos de arranque y carga en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara"

Ortiz. et al, (2002). Diseña una metodología donde plantea que los criterios de selección de equipos mineros deben ser básicos y específicos.

Pérez Hernández, A. (2010) En su tesis "Evaluación de la eficiencia en la gestión económica del mantenimiento automotor de la Empresa Puerto Moa"

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

Saavedra, P.; Estupiñan, E. (2001), En su artículo "Impacto del mantenimiento proactivo en la productividad"

Toirac Cobas, A. (2010) Caracteriza en su tesis "Estudio del rendimiento del transporte automotor en la mina de la Empresa Comandante Che Guevara"

Zaldívar Salazar, M. C; Comas Pereira, J.F. (2006) Plantea en su artículo "La Función del Mantenimiento. Un reto para la empresa del futuro"

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

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

Potapov M. G. Transporte de cantera. Quinta edición, Moscú, Niedra, 2005, 239 páginas.



SaatyT.L. Elementos de la Teoría de colas. Cuarta edición, Madrid, Aguilar, 2004, 477 páginas.

Fedchenko A.A.et al. Economía de la empresa, Manual de problemas. San Petersburgo Universidad Técnica Estatal de minería. SPB, 2004. 96 pág. ISBN 5-94211-242-8.

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

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