

**TRABAJO DE DIPLOMA
EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO DE MINAS**

**INFLUENCIA DEL ESTADO TÉCNICO CONSTRUCTIVO DE LOS
CAMINOS MINEROS EN LOS EQUIPOS DE TRANSPORTE MINERO**

Autor: Arlindo Joel Cassinda

**Moa, 2019“
Año 61 de la Revolución”**

**TRABAJO DE DIPLOMA
EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO DE MINAS**

**INFLUENCIA DEL ESTADO TÉCNICO CONSTRUCTIVO DE LOS
CAMINOS MINEROS EN LOS EQUIPOS DE TRANSPORTE MINERO**

Autor: Arlindo Joel Cassinda

Tutores: Dra. C. María Isabel García De la Cruz

MS.c. Marlo Leyva Tarafa

**Moa, 2019
“Año 61 de la Revolución”**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo: Arlindo Joel Cassinda autor del trabajo de diploma titulado: “Influencia del estado técnico constructivo de los caminos mineros en los equipos de transporte minero”; declaro mi conformidad de ceder los derechos de propiedad intelectual al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando lo estime conveniente.

Para que así conste se firma la presente a los ____ días del mes de _____ del 2019.

Arlindo Joel Cassinda

Diplomante

Dra. C. María Isabel García De la Cruz

Tutora

Ms. C. Marlo Leyva Tarafa

Tutor



Agradecimientos

Tras un largo y a veces difícil camino recorrido llegué por fin a una meta y a la tarea que tenía pendiente para con mis padres, hermanos, cuñado y tío.

Agradezco a Dios por permitir mi existencia en este mundo, por ser mi confianza y mi ayuda.

Agradezco a las personas más importantes de mi vida:

Eduardo Fernando Cassinda y Augusta Chimbondo Cassinda, soy lo que soy y nunca voy a dejar de agradecer a la suerte de tenerlos como PADRES.

Agradezco también a mi cuñado Guilherme Agostinho (gracias por esta gran oportunidad), a mis tíos Mateus Cachitele, To Kutekila, Celestino Chikela, a mis hermanos Faustino Cassinda, Mateus Cassinda, Jaime Cassinda, Avelino Cassinda, Eduardo Cassinda Jr. (Daddy) a mis lindas e inteligentes sobrinas Melvy, Guiomara, Mircia, Cassiane, Faumy, Yasmin y a mis sobrinos mis tropas de elite Stélvio, Hamilton, Erishel, Joelson (mi tocayo), Eduair... los quiero mucho.

A mis tutores: Ms. C. Marlo Leyva Tarafa y Dra. C. María Isabel García De la Cruz, por haberme apoyado de manera incondicional en la realización de la investigación, por dedicarme muchas horas de su valioso tiempo y por su confianza en mí.

A todos los profesores de la Universidad de Moa, que de una forma u otra me ayudaron para alcanzar este éxito.

Dedicatória

Mi tesis la dedico a mi querida hermana Isabel Da Conceição Cassinda (Tita), que su alma descanse en paz eterna.

Pensamiento

The two most important days in your life are the day were born and the day you find out why.

Los dos días más importantes de tu vida son el día en que nasciste y el día en que tu descubres por qué.

"Mark Twain"

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis de las condiciones de los caminos mineros en cuanto a su diseño y construcción, para establecer una vinculación directa con los parámetros de explotación técnica y los indicadores de rendimiento de los equipos de transporte de mineral.

Este análisis es posible mediante la utilización de la metodología de cálculo para las condiciones de diseño y construcción de los caminos, y de esta manera ejecutar una evaluación de sus condiciones para conocer como influye directamente en los parámetros como ciclo de trabajo, régimen de explotación, productividad técnica, volumen de carga y cantidad necesaria del parque de transporte y así evaluar el comportamiento de los indicadores generales de rendimiento y de explotación técnica.

Los caminos en la UBMinera se encuentran divididos por caminos principales y secundarios distribuidos por los diferentes yacimientos, de ellos Camarioca Este Yagrumaje Norte, Sur y Punta Gorda. Algunos de ellos con categoría en buen estado, regular, mal y con sus respectivos kilómetros. Para las operaciones de minería de acuerdo a la fotografía de trabajo se obtiene diferentes productividades en diferentes turnos.

Las operaciones de escombreo se obtienen en tiempos productivos de 335 min y productividades variables por distancias de 73,61 hasta 108 m³/h para velocidad promedio de 12 km/h y tiempos productivos de 313 min y productividades variables de 96,06 hasta 133,6 m³/h para velocidad promedio de 18 km/h.

Se obtiene productividad horaria de 39,5 t/h en relación al índice de utilización de los camiones articulados de 98,75 %; en el primer trimestre de trabajo de estos equipos.

ABSTRACT

In the present work an analysis of the conditions of the mining roads in terms of its design and construction is made, to establish a direct link with the parameters of technical exploitation and the performance indicators of ore transportation equipment. This analysis is possible by using the calculation methodology for the conditions of design and construction of the roads, and in this way execute an evaluation of their conditions to know how it directly influences the parameters such as work cycle, exploitation regime, technical productivity, volume of load and necessary quantity of the transport park and thus evaluate the behavior of the general indicators of performance and technical exploitation. The roads in the UBMinera are divided by main and secondary roads distributed by the different deposits, of them Camarioca East Yagrumaje Norte, Sur and Punta Gorda. Some of them with category in good condition, regular, bad and with their respective kilometers. For mining operations according to the work photography, different productivities are obtained in different shifts.

The waste operations are obtained in productive times of 335 min and variable productivities by distances of 73.61 to 108 m³ / h for average speed of 12 km / h and productive times of 313 min and variable productivities of 96.06 to 133.6 m³ / h for average speed of 18 km / h.

Hourly productivity of 39.5 t / h is obtained in relation to the utilization rate of articulated trucks of 98.75%; in the first quarter of work of these teams.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
1.1 Análisis actual de la temática de estudio en el país y en el exterior.....	5
1.1.1 Estado de la temática a nivel internacional.....	5
1.1.2 Estado de la temática en Cuba	7
1.2 Características geológicas de los yacimientos lateríticos.....	9
1.2 Yacimiento Punta Gorda.....	11
1.3 Yacimiento Yagrumaje Norte	13
1.4 Yacimiento Yagrumaje Sur.....	15
1.5 Camarioca Este	16
1.6 Parámetros de los caminos mineros.....	17
1.7 Criterios para la elección de la pendiente	18
1.8 Equipamientos que realizan los caminos mineros.....	22
1.9 Indicadores técnico productivos de los equipos.....	22
1.10 Determinación de los indicadores técnico productivo de los equipos de transporte automotor	24
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1 Estado técnico de los caminos mineros en la ECG.....	25
2.2 Clasificación de los caminos mineros en la ECG	25
2.2.1 Requisitos que tienen que cumplir los caminos principales	26
2.2.2 Requisitos que tienen que cumplir los caminos secundarios.....	29
2.3 Propiedades de las capas de los caminos.....	34
2.4 Equipamientos que realizan los caminos mineros en la ECG	36
2.5 Parámetros de diseño de caminos.....	38
2.6 Cálculo de los indicadores técnico productivos.....	40
2.7 Normación técnica para el transporte de mineral con camiones volvos A- 45G	41
2.8 Método de cálculo para determinar la productividad según la velocidad media.....	43
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	46
3.1 Introducción.....	46

3.2	Estado de los caminos mineros en la ECG	46
3.3	Estado técnico de los caminos mineros en la ECG.....	46
3.4	Estado técnico de los equipos para la construcción y mantenimiento de caminos en la ECG	47
3.6	Determinación del peralte y la velocidad promedio a partir del radio de curvatura de los caminos	50
3.7	Determinación de los indicadores técnicos productivos de los equipos de carga y transporte	54
3.8	Influencia del estado técnico del equipamiento en el cumplimiento del objeto social de la Unidad Básica Minera	58
3.9	Fotografía del horario laboral de los camiones articulados Volvo A45G	59
3.9.1	Fotografía de la jornada laboral de los camiones articulados en las labores de minería.....	59
3.10	Valoración económica.....	66
3.11	Seguridad minera y medio ambiente	68
CONCLUSIONES.....		70
RECOMENDACIONES.....		71
BIBLIOGRAFÍAS CONSULTADAS		
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Composición de la concepción minera Empresa Comandante Ernesto Che Guevara	10
Figura 1.2 Ubicación de la zona de la base minera	10
Figura 1.3 Anchos en rampas y caminos interiores de la mina.....	19
Figura 1.4 Ancho en caminos principales.	20
Figura 1.5 Ancho de los caminos en secciones curvas.....	20

Figura 2.1 Camino principal hacia el yacimiento Camarioca Este.....	25
Figura 2.2 Camino secundario yacimiento Punta Gorda.....	26

Figura 3.1 Índice de disponibilidad de los camiones articulados por trimestres de trabajo	56
Figura 3.2 Índice de disponibilidad de los camiones articulados por meses	56
Figura 3.3 Índice de utilización de los camiones articulados por trimestres	57
Figura 3.4 Índice de utilización de los camiones articulados por meses	57
Figura 3.5 Productividad horaria de los camiones articulados por trimestres	58

ÍNDICE DE FIGURA DE LOS ANEXOS

Anexo 1 Distribución de los caminos en los diferentes yacimientos.	75
Anexo 2 Causas naturales que afectan en el deterioro de los caminos.....	76
Anexo 3 Estado de los frentes mineros en época de lluvias	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Coordenadas de ubicación del área de estudio	11
Tabla 1.2 Coordenadas del yacimiento Punta Gorda.....	11
Tabla 1.3 Propiedades físico-mecánica de las rocas del yacimiento Punta Gorda	12
Tabla 1.4 Coordenadas del yacimiento Yagrumaje Norte.....	13
Tabla 1.5 Propiedades físico-mecánica de las rocas del yacimiento Yagrumaje Norte	14
Tabla 1.6 Coordenadas del yacimiento Yagrumaje Sur	15
Tabla 1.7 Propiedades físico - mecánica de la rocas del yacimiento Yagrumaje Sur	15
Tabla 1.8 Coordenadas del yacimiento Camarioca Este	16
Tabla 1.9 Propiedades físico - mecánicas de las litologías del Yacimiento Camarioca Este.....	17
Tabla 1.10 Categorización de equipos de transporte por peso bruto.....	20
Tabla 2.1 Características de plasticidad de la laterita.	34
Tabla 2.2 Resistencia al esfuerzo cortante.	35
Tabla 2.3 Parámetros constructivos de los caminos principales y secundarios.....	35
Tabla 2.4 Precipitaciones por años	35
Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de los mismos.....	36
Tabla 3.1 Distribución de los caminos mineros en los diferentes yacimientos de la UBminera.	46
Tabla 3.2 Estado técnico de los caminos mineros por yacimientos que se explotan en la UBMinera.	47
Tabla 3.3 Comportamiento de la disponibilidad técnica del equipamiento minero básico (medios propios).	48
Tabla 3.4 Comportamiento de la disponibilidad técnica del equipamiento minero auxiliar (Leasing).....	48
Tabla 3.5 Especificaciones técnicas del equipo de transporte.....	50

Tabla 3.6 Velocidades promedio teniendo en cuenta el peralte y el radio de curvatura de los caminos mineros en el yacimiento Camarioca Este	51
Tabla 3.7 Velocidades promedio teniendo en cuenta el peralte y el radio de curvatura de los caminos mineros en el yacimiento Punta Gorda	52
Tabla 3.8 Velocidades promedio teniendo en cuenta el peralte y el radio de curvatura de los caminos mineros en el yacimiento Yagrumaje Norte.....	52
Tabla 3.9 Velocidades promedio teniendo en cuenta el peralte y el radio de curvatura de los caminos mineros en el yacimiento Yagrumaje Sur.....	53
Tabla 3.10 Velocidades promedio teniendo en cuenta el peralte y el radio de curvatura de los caminos mineros en el yacimiento Yagrumaje Oeste.....	54
Tabla 3.11 Productividad a obtener con camiones articulados.	55
Tabla 3.12 Productividad para el camión Volvo A-45 G promedio para los dos turnos(primer caso).	60
Tabla 3.13 Productividad para el camión Volvo A-45 G en un turno (segundo caso).	61
Tabla 3.14 Tiempos fijos para una velocidad de 12 km/h.	62
Tabla 3.15 Productividad horaria para una velocidad de 12 km/h a diferentes distancias de las escombreras.	62
Tabla 3.16 Utilización aproximada del turno.	63
Tabla 3.17 Aprovechamiento de la jornada laboral.	63
Tabla 3.18 Tiempos fijos para una velocidad media de 18 Km/h.....	64
Tabla 3.19 Productividad para una velocidad de 18 km/h.....	64
Tabla 3.20 Utilización aproximada del turno.	65
Tabla 3.21 Aprovechamiento de la jornada laboral.	66
Tabla 3.22 Gastos originados por salarios Gs.	66
Tabla 3.23 Gastos por concepto de depreciación Gd	67
Tabla 3.24 Gastos por concepto de combustible Gc.....	67

INTRODUCCIÓN

En la industria minera a cielo abierto, las actividades de carga y acarreo tanto de mineral como de material estéril o destape, son actividades cotidianas, permanentes y vitales, para el logro de los objetivos operacionales; son la clave para asegurar la continuidad del proceso de beneficio del mineral y, por lo tanto, deben ser desempeñadas por equipos de carga (cargadores) y acarreo (transporte) de gran capacidad, a fin de asegurar una alta eficiencia y productividad.

El diseño y la construcción de las vías secundarias y los caminos mineros son elementos fundamentales durante el desarrollo del proceso tecnológico de transporte de las menas lateríticas en minas ya sea a cielo abierto o subterránea. La mayoría de los operadores en las mismas están de acuerdo en que existe una fuerte relación entre caminos bien construidos y mantenidos, y operaciones de transporte del material para que estas últimas sean más eficientes y seguras.

Situación problemática

La Unidad Básica Minera de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”(UBMEGC) cuenta con caminos construidos para la transportación de mineral y acceso a los frentes mineros, los cuales no cumplen con las especificaciones y características técnicas diseñadas.

En la etapa inicial de la minería los caminos tenían mejores condiciones, con el cambio climático y el incremento de los días de lluvias en el año, mensuales y corrientes anuales, los caminos mineros se han ido deteriorando debido a la obsolescencia o al mal estado técnico del equipamiento minero destinado a esas labores, que desde el año 2003 no ha tenido reposición, se ha destinado en la brigada de caminos 2 Buldóceres, 2 Motoniveladoras que no son suficientes para la construcción y mantenimiento de los caminos principales y secundarios y a los accesos de los frentes mineros, por tanto se certifica que el estado de los caminos mineros ha influido históricamente en el cumplimiento del rendimiento del equipamiento minero.

Razones por la cual hay que evaluar e investigar el estado técnico de los caminos mineros con relación a lo establecido en el procedimiento para poder perfeccionar el mismo en función de disminuir las incidencias negativas al rendimiento del equipamiento minero.

Es por ello que el **problema**, que fundamenta este trabajo es la inadecuada relación de la influencia del estado técnico constructivo de los caminos mineros con los indicadores técnicos productivos para la explotación de los equipos de transporte de la masa mineral en los yacimientos lateríticos de la unidad básica minera empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”. En consecuencia lo anterior, se precisa como **objeto de investigación** es la influencia del estado técnico constructivo de los caminos mineros en los equipos de transporte de masa minera. Por ello, el **objetivo general** es la determinación de la influencia del estado técnico constructivo de los caminos mineros en los equipos de transporte minero en la Unidad Básica Minera empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” para observar el comportamiento de los indicadores técnicos productivos durante su explotación. De manera que el **campo de acción** lo constituyen los caminos mineros desde los frentes de explotación hasta los depósitos en la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

La significación del problema científico y la naturaleza del objeto de la investigación permiten la formulación de la **hipótesis** siguiente: si se analiza el estado técnico constructivo de los caminos mineros, las causas que conllevan al incumplimiento del rendimiento de los equipos de transporte de la masa mineral y se establecen medidas para el mejoramiento del procedimiento para la construcción de los caminos mineros en la unidad básica minera empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” entonces se podrá determinar la influencia del estado técnico constructivo con los parámetros de explotación de los equipos de transporte de la masa minera.

Para cumplir el objetivo general se desarrollaron los siguientes **objetivos específicos**:

1. Analizar el estado técnico constructivo de los caminos mineros de la unidad básica minera empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.
2. Establecer la fotografía de trabajo para la normación de los tiempos productivos de los equipos de transporte de la masa minera durante las operaciones de escombreo y minería.
3. Determinar los principales indicadores técnicos productivos que tienen relación directa con el estado técnicos de los caminos mineros de la unidad básica minera empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

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

Métodos Teóricos:

Histórico – lógico: para el estudio de los indicadores de explotación y de rendimiento, durante el proceso de explotación de los vehículos de transporte que trabajan en la industria del níquel; fundamentalmente en los yacimientos de Moa, además de las condiciones y características de la construcción de caminos.

Análisis – síntesis: para arribar a las conclusiones que se obtendrán en el desarrollo del trabajo de experimentación, determinando las condiciones de explotación y la productividad de los vehículos de transporte en la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” y los principales parámetros de explotación.

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

Métodos Empíricos:

Observación directa: para caracterizar el problema, además de analizar las condiciones estructurales del camino y la producción de los diferentes vehículos de transporte de masa minera que laboran en el proceso de la producción de la Unidad Básica Minera empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

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

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

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1 Análisis actual de la temática de estudio en el país y en el exterior

Durante el desarrollo de la investigación se consultaron un total de 23 materiales bibliográficos, de los cuales, los mismos favorecieron a la fundamentación del trabajo escrito. La revisión bibliográfica se dirige en la dirección relacionando la información que aporta el enfoque teórico metodológico del estudio del objeto de estudio y acerca de las investigaciones sobre la temática desde el punto de vista técnico y práctico.

1.1.1 Estado de la temática a nivel internacional

Los investigadores Nelson y Jaime (2001), plantean que el estado de los caminos puede mejorar incorporando geometría en el diseño, así como los principales accesos a la zona de producción mediante métodos topográficos, determinaron la necesidad de realizar el mejoramiento de los mismos en aquellas zonas donde existe la mayor cantidad de fallas en los neumáticos, determinando por los recorridos que afectan el frente de carga hasta la zona de vaciado, y de esta manera se definen los tramos para el trabajo de diseño. Estos autores además plantean que con la optimización de los caminos de producción se logra una mayor eficiencia en todos los aspectos, como el menor tiempo en el acarreo del mineral y una disminución en los costos de producción.

Barreto (2008), determina la influencia en la eficiencia y el costo por las paralizaciones de los equipos de carga y acarreo en la construcción de acceso y plataforma con la utilización de la ingeniería inversa para seleccionar el equipo más eficiente. Mediante el criterio práctico de selección, determina el equipo de transporte más ventajoso por tener mejor resistencia a las cargas externas que este debe soportar el mismo durante la realización de las labores en la minería.

Thompson (2012), plantea que muchos caminos de minas han sido diseñados empíricamente, basándose fuertemente en la experiencia local. Esta experiencia, que localmente es muy relevante, a menudo realiza caminos eventualmente adecuados para el transporte, pero no tiene un entendimiento en los procesos de diseño de caminos, por tanto, existe dificultad en el rendimiento de los vehículos de

transporte. En las conclusiones expresa que los caminos mal diseñados reciben mantenimiento intensivo con mucha frecuencia, que afectan su rendimiento y paralización para este trabajo

Villanueva (2015), plantea que el diseño geométrico de las vías de acceso y acarreo consideran radios mínimos de diseño de 75 m sobre el eje de las vías, pendientes máximas de 7 %, bombeo en los tramos tangentes de 2 % y peralte en las curvas de 4 %. Además en las rampas de acceso proyectó pendientes máximas de 7 %. Este autor concluye su investigación planteando que muchos caminos de minas han sido diseñados empíricamente, basándose en la experiencia local. Esta experiencia, no tiene un entendimiento de los procesos de diseño de caminos, y más importante aún, si el rendimiento es de mala calidad, esta falta de entendimiento no permite que sean identificadas las causas raíz de los problemas que causan un pobre desempeño de los camiones sobre los caminos.

Marinovich (2016), expresa que debido al mal estado de las vías de acarreo, acentuadas por los efectos climáticos propios de la geografía de la zona que afectan de manera negativa a las vías, deteriorándolas y volviéndolas intransitables para los equipos, cuyos operadores por seguridad, reducen sus velocidades, se presenta una considerable reducción de la productividad del proceso, lo que se traduce en incumplimiento de las metas diarias, semanales, mensuales de producción y aumento de costos, además de aumentar el riesgo de accidentes. En sus conclusiones, este autor plantea la necesidad de acondicionar las vías principales, lo que contrarrestan los efectos negativos en el proceso de acarreo producidos por el mal estado de las vías para lograr mayor eficiencia en la operación, mayores cotas de producción y ahorro de costos.

Villalobos (2017), en su libro “Diseño y Construcción de Caminos Mineros”, plantea que es normal que la calidad de los caminos se vea impactada por muchos elementos, y cada problema debe resolverse de manera particular, que dista un poco de la solución aplicada en la ingeniería de carreteras. También plantea que cada vez se toma más conciencia de la recuperación que tiene el estado de los caminos sobre el ciclo de transporte, en cuanto a: las velocidades de los equipos, los tiempos de

interrupción por diseño o construcción inadecuadas, desgaste y daños de neumáticos, el consumo de combustible, las condiciones climáticas adversas y sobre todo en términos de la seguridad. Concluye que existen múltiples formas de evaluar una pista de circulación, dependiendo de las características de cada mina, especialmente en lo que a condiciones climáticas se refiere, una vez finalizada la reparación, el mantenimiento o conservación del camino es necesario chequear el ancho del mismo, la pendiente, el estado de la carpeta de los peraltes, de los pretiles y las señales de tránsito.

1.1.2 Estado de la temática en Cuba

Cuba (2008), en el trabajo de diploma “Perfeccionamiento de la transportación de la masa minera en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara; caracteriza la tecnología empleada para la explotación de los yacimientos lateríticos, determina los indicadores productivos y de rendimiento de los equipos de acarreo y propuso como normas perfeccionar los ciclos de trabajo utilizando las metodologías que permiten mejorar los indicadores técnico – productivos, del equipamiento minero.

Conde (2011), en su trabajo propone una metodología que permite a los ingenieros en minas y topógrafos el empleo del software como herramienta para el diseño de caminos mineros, y definición de los parámetros del terreno. En las conclusiones de su trabajo plantea que la estructuración lógicamente argumentada para el diseño geométrico de los caminos mineros permite su diseño con mayor rapidez y calidad, la metodología creada permite que el diseño de caminos se realice en un 20 % menos de pasos, con una mejor interface hombre – máquina con mayor calidad, que hace de ella una herramienta para los ingenieros de minas y topógrafos.

Téllez (2012), en su tesis en opción al título de Master en Minería elabora un procedimiento para el diseño de caminos con la utilización del SoftWareAutoCad Civil 3D como herramienta de trabajo para los ingenieros de minas, topografía y civil. Concluye que a partir del análisis integrado del camino se puede comprobar la efectividad de la propuesta, esto permite la incorporación nuevos métodos para su diseño, demostrando su factibilidad en trabajos realizados en las minas del nordeste holguinero.

Musekiwa (2013), determina la influencia del estado de los viales en los vehículos de transporte en la UBMECG mediante la productividad de estos según las velocidades limitadas por el reglamento de la mina, de igual manera intervienen en el estudio, los parámetros de los caminos y el estado de mantenimiento de los mismos. Para este autor, las propiedades de adhesión de la cubierta de los caminos no permiten a los vehículos de transporte alcanzar la velocidad máxima y provoca un aumento de su ciclo de trabajo y reducción de la productividad señalada, apunta además que las velocidades establecidas por el reglamento de la mina no concuerdan con las velocidades que limitan los parámetros geométricos de los caminos en uso.

Penehafo (2015), en su investigación plantea que la superficie de los caminos destinados al transporte de equipos pesados está sometida a deformaciones por el constante paso de los vehículos. Aunque el deterioro puede ser controlado de acuerdo al tipo de material empleado en la superficie, se deberá considerar un programa de mantenimiento de los mismos según los requerimientos de seguridad y factores económicos. Son ineludible las excavaciones de drenaje en las épocas húmedas para evitar la acumulación de las aguas y la erosión de la superficie de rodamiento debido a la saturación de los materiales en la sub-base. La autora en su estudio aborda la utilización de la brigada de mantenimiento, los equipos a emplear y las funciones a realizar, puesto que el costo de los neumáticos en el costo total de la transportación es significativo, por esa causa el mantenimiento de los caminos es un aspecto muy importante en las minas a cielo abierto.

Oliveros (2015), realiza la evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) de los camiones VOLVO A 40E empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara (UBMECECG), y su interrelación con los valores del coeficiente de agarre de las ruedas con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes), así como los volúmenes de menas lateríticas mullidas adheridas a la caja de carga de estos equipos, dada su imprecisa valoración. Según el autor, una vez establecida la metodología que relaciona las principales expresiones para el cálculo de estos

parámetros se muestra su comportamiento, y la influencia en indicadores del camión, tales como: la potencia, la fuerza de tracción desarrollada por el vehículo, velocidad y productividad del camión.

Gracious (2017), en su trabajo de diploma “ Metodología para la determinación de los indicadores técnicos-productivos de los equipos de transporte automotor en la minería del níquel” elabora una metodología para la determinación de los indicadores técnico-productivos de los equipos de transporte automotor; para la cual se caracterizó la tecnología de explotación existente en la minería del níquel, que constituye una herramienta de trabajo para los concesionarios en la evaluación técnica de estos equipos.

Lores (2017), en su trabajo de diploma evalúa los indicadores de rendimiento de las máquinas de excavación – carga de la UBMECG, a partir de las particularidades de la metodología de evaluación para determinar el funcionamiento adecuado de estos equipos, desde el ciclo de trabajo y su tecnología de diseño.

1.2 Características geológicas de los yacimientos lateríticos

Ubicación geográfica

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

El relieve de la zona se caracteriza por su inclinación hacia el Norte con rangos de pendientes variables y desmembrado en tres sectores por valles muy profundos, correspondientes a las áreas ínter 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 0-85 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 lluvias, correspondiente a

los meses mayo-junio y octubre; y dos períodos de seca, febrero – abril y julio – septiembre. La cantidad de precipitaciones oscilan en amplios límites y el promedio es de 1700 – 1800 mm al año.

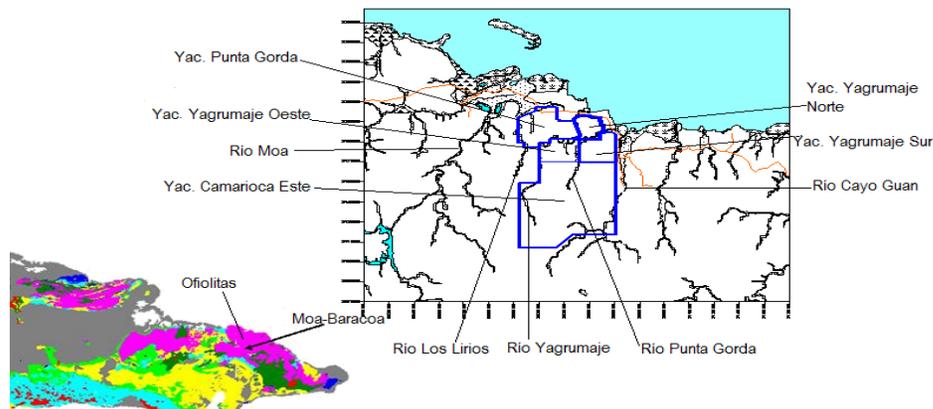


Figura 1.1 Ubicación de la zona de la base minera. *Fuente (Vargas, 2017)*

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 1.2

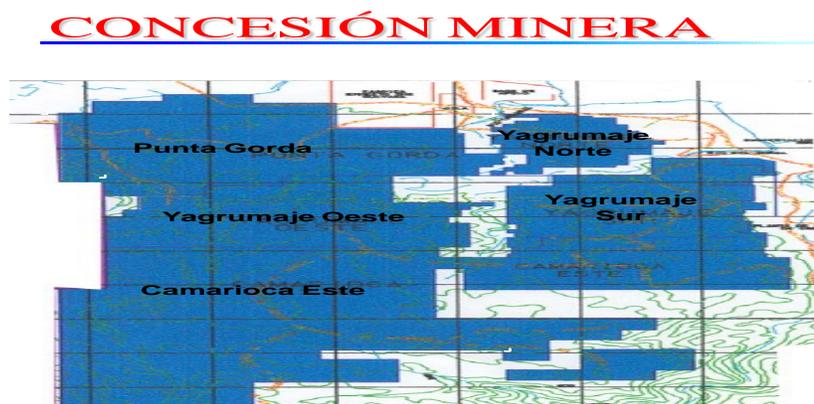


Figura 1.2 Composición de la concepción minera Empresa Comandante Ernesto Che Guevara
Fuente: (Vargas, 2017).

Estos yacimientos son explotados en la concesión minera de la empresa productora de níquel, se encuentran limitados por las coordenadas siguientes establecidas por el Sistema Lambert Cuba Sur de ubicación global, las mismas se reflejan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Coordenadas de ubicación del área de estudio

Vértices	x(m)	y(m)
1	725 320	221 841
2	731 333	221 841
3	731 333	211 212
4	725 320	211 212

Fuente: Plan cinco años de minería.

1.2 Yacimiento Punta Gorda

El yacimiento Punta Gorda, abarca un área aproximada de 746,2 hectáreas a y se encuentra localizado al noroeste de la ciudad de Moa, dentro de los límites del macizo montañoso Moa – Baracoa. La concesión de este yacimiento está definida por el polígono, cuyos vértices están dados por las siguientes coordenadas del sistema de Lambert Cuba Sur reflejadas en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Coordenadas del yacimiento Punta Gorda

Vértice	x(m)	y(m)
1	701 84	221 600
2	703 06	221 600
3	703 06	220 700
4	703 20	220 700
5	703 20	220 533
6	704 10	220 533
7	704 50	219 500
8	704 10	219 200
9	702 60	219 200
10	702 60	218 900
11	702 00	218 900
12	702 00	218 600
13	701 10	218 600
14	701 09	218 930
15	700 78	218 930
16	700 76	220 720
17	700 77	220 850

18	701 85	221 370
----	--------	---------

Fuente: Plan de minería cinco años.

El yacimiento presenta además los siguientes límites naturales: al Noreste por las aguas del océano Atlántico, al Sur el río Yagrumaje y la línea convencional que lo separa del yacimiento Yagrumaje Oeste, al Este las elevaciones que constituyen la línea divisora de las aguas del río Yagrumaje y al oeste el yacimiento Moa Oriental y el río Los Lirios.

El límite de este cuerpo mineral lo constituye el área cercana al río Yagrumaje. Presenta un relieve moderado, con inclinación hacia el norte, con rangos de pendientes variables, con poca complejidad para su explotación. La potencia promedio de la mena, actualmente es de 10,30 m; siendo la zona sur la de mayor potencia, el espesor de la capa de estéril es de 6,10 m; con la relación de escombro mineral aproximadamente de 0,45 m³/t. El mismo se encuentra afectado por las aguas subterráneas, presentando un sistema de drenaje que es deficiente. El acceso a él no presenta problemas pues existen caminos principales y secundarios que garantizan las labores mineras. La exploración geológica se realizó de manera completa con una red de 33,33m x 33,33 m. Según (Da Mata, 2017).

Los valores de las propiedades físico – mecánica de las menas lateríticas que se extrae en los yacimientos explotación de la UBMECG, se exponen en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Propiedades físico-mecánica de las rocas del yacimiento Punta Gorda

Tipo de mena	Límite de plasticidad			Parámetros en estado natural					
	LL	LP	IP	Vf	Vd	E	Sr	Gs	W
FB	73,01	49,7	19,95	1,71	1,12	2,54	87,5	3,6	59
LB	77,34	51,8	25,56	1,63	1,34	2,98	85,93	3,9	66,6
SB	66	31	35	1,79	1,37	1,04	77,5	2,85	29,9
RE	84	37	47	SE	SE	SE	SE	2,7	SE
	K20 (m/s)	Cv	Vc (g/cm)	Cp (mm/m)	Ensayo de tensión al corte				
					H. natural		Lento saturado		
					Ø	c	Ø	c	
FB	4,3x10 ⁻⁶	19,5	5/9	16,8/21,5	18°15'	1,45	17°0'	1,31	
LB	7,44x10 ⁻⁶	11,5	1/2	27,4/38,85	17°40'	1,29	17°0'	1,26	

SB	-	-	-	-	-	-	-	-
RE	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Plan de minería cinco años.

Donde:

LL- límite líquido; LP- límite de plasticidad; IP- índice de plasticidad; Vf- peso volumétrico de la roca con humedad natural; Vd- peso volumétrico de roca secada a 105°C; E- coeficiente de porosidad; Sr- coeficiente de saturación; Gs- peso específico; W- humedad pesada; K20- coeficiente de permeabilidad a 20°C; Vc- coeficiente de penetrabilidad; Cv- cambio de volumen; Cp- compresibilidad en mm por m; Ø- ángulo de fricción interna; c- cohesión.

1.3 Yacimiento Yagrumaje Norte

Tiene un área general de 2 km² con forma bastante regular de dimensiones de 1,8 km de largo y 1,4 km de ancho; ubicándose en una meseta aplanada al norte del río Yagrumaje. Este, tiene una inclinación de sur a norte desde las cotas 20 – 40 m hasta 100 - 110 m, la diferencia de las cotas absolutas dentro de los límites del yacimiento explorados es de 88 m variando de 108 – 200 m. 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 km².

La concesión del yacimiento se encuentra definida por el polígono, cuyos vértices en el sistema de Lambert Cuba Sur, se reflejan en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Coordenadas del yacimiento Yagrumaje Norte

Vértices	x(m)	y(m)
1	704 395	220 965
2	704 400	221 000
3	704 800	221 000
4	704 800	220 950
5	705 000	220 950
6	705 000	220 900
7	705 200	220 900
8	705 200	220 850
9	705 300	220 850

10	705 300	220 800
11	705 600	220 800
12	705 600	220 550
13	705 700	220 550
14	705 700	220 200
15	705 900	220 200
16	705 900	219 700
17	705 600	219 700
18	705 600	219 200
19	704100	219 200
20	704 500	219 500
21	704 100	220 533
22	704 100	220 770

Fuente: Plan de minería cinco años.

En la tabla 1.5, se enuncian las diferentes propiedades físicas mecánicas pertenecientes a las menas lateríticas del yacimiento.

Tabla 1.5 Propiedades físico-mecánica de las rocas del yacimiento Yagrumaje Norte

Propiedades físico-mecánica de las rocas							
Indicadores	U/M	OICC			OEI		
		máximo	medio	mínimo	Máximo	medio	mínimo
Densid. Natural	kN/m ³	19,92	16,13	13,90	19,30	21,75	14,40
Densid. Húmeda	kN/m ³	15,27	9,92	7,20	16,20	10,52	8,00
Peso específico	TM/m ³	3,91	3,85	3,79	3,99	3,83	3,68
Límite líquido	%	69,50	63,60	56,50	83,30	70,81	58,60
Límite plástico	Kg/cm ²	51,30	46,63	41,60	58,60	52,81	43,50
Í. de plasticidad	%	22,50	16,97	13,50	28,74	18,00	8,70
Grava	%	0,00	0,00	0,00	9,00	1,00	0,00
Arena	%	21,00	8,67	0,00	23,00	10,14	5,00
Limo	%	64,00	42,67	27,00	59,00	38,81	18,00
Arcilla	%	69,00	47,33	31,00	71,00	50,05	27,00
Hinch	%	4,20	2,42	0,64	9,30	1,60	0,40
Cohesión	Grados	7,00	3,90	2,00	1,60	0,59	0,15
α de fricción	Grados	38,00	21,70	9,00	30,00	16,81	5,00

Fuente: Plan de minería cinco años

1.4 Yacimiento Yagrumaje Sur

Ocupa un área de 3,65 km². 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 4,4 m y 7,3 m respectivamente en las zonas desarrolladas en categoría probadas y 6,72 m y 11,37 m respectivamente en los recursos indicados. La relación escombros mineral es de 0,26 y 0,32 para ambas zonas respectivamente. Este yacimiento se encuentra explorado casi en su totalidad en una red de 33,33 m x 33,33 m y en una red de 100 x 100 m un área pequeña ocupada por una subestación eléctrica y sus tendidos correspondientes. Estas líneas energéticas pueden afectar algunas zonas determinadas del yacimiento. Se encuentra aproximadamente a 8,0 Km de la mina a partir de la carretera Moa – Baracoa.

Se encuentra ubicado dentro de las coordenadas del Sistema de Lambert Cuba Sur, expuestas en la tabla 1.6.

Tabla 1.6 Coordenadas del yacimiento Yagrumaje Sur

Vértice	x(m)	y(m)
1	704 403	220 829
2	705 903	220 829
3	705 903	219 929
4	705 903	219 629
5	705 603	219 629
6	705 603	219 029
7	704 409	219 031
8	704 404	219 625
9	704 263	219 625
10	704 265	220 533
11	704 404	220 530

Fuente: Plan de minería cinco años

Las diferentes propiedades físico – mecánicas de este yacimiento laterítico se enuncian en la tabla 1.7.

Tabla 1.7 Propiedades físico - mecánica de la rocas del yacimiento Yagrumaje Sur

Litología	LL	LP	IP	WN	PVH%	PVS%	HIN%	PE TM/m ³	C TM/m ²	Ø
IOCP	47	38	9	-	-	-	-	3,89	-	-

OISP	45	40	6	3,89	1,99	1,45	0,17	3,80	6,60	38,25
OEF	57	48	9	3,35	1,82	1,6	0,24	3,92	6,10	4,10

Fuente: Plan de minería cinco años

Donde:

LL: límite líquido; LP: límite plástico; IP: índice de poros; WN: porcentaje de humedad natural; PVH: peso volumétrico húmedo; PVS: peso volumétrico seco; HIN: hinchamiento; PE: peso específico, C: cohesión; Ø: ángulo de fricción interna.

1.5 Camarioca Este

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

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

El yacimiento está limitado por las siguientes coordenadas del Sistema de Lambert Cuba Sur expresadas en la tabla 1.8.

Tabla 1.8 Coordenadas del yacimiento Camarioca Este

Vértices	x(m)	y(m)
1	706600	212000
2	704000	212000

3	703000	211000
4	700800	211000
5	700800	215900
6	701100	215900
7	701100	217100
8	704400	217100
9	704400	217400
10	706600	217400

Fuente: Plan de minería cinco años

Las diferentes propiedades físico – mecánicas de este yacimiento laterítico se enuncian en la tabla 1.9

Tabla 1.9 Propiedades físico - mecánicas de las litologías del Yacimiento Camarioca Este

Propiedades físico-mecánica							
Indicadores	U/M	OICC		OISC		OE	
		máximo	mínimo	Máximo	mínimo	máximo	mínimo
Humedad natural	%	18,3	23,5	27,0	30,0	35,0	41,0
Densidad húmeda	TM/m ³	2,0	2,2	1,8	2,15	1,62	1,85
Densidad seca	TM/m ³	1,6	1,7	1,3	1,6	0,98	1,27
Peso específico	TM/m ³	3,26	3,36	3,7	3,8	3,6	3,6
Índice de poros	%	0,9	1,28	1,2	1,9	0,93	2,63
Cohesión	kg/cm ²	0,55	0,98	0,43	0,89	0,27	0,48
A de fricción interna	grados	31,0	46,0	13,5	34,5	24,0	33,0

Fuente: Plan de minería cinco años.

1.6 Parámetros de los caminos mineros

Nelson y Jaime (2001) y Penehafo (2015) plantearon que los caminos mineros son diseñados para transportar grandes volúmenes de material, ya sea de minerales de alta ley o materiales estériles, por lo que están sometidos diariamente a grandes exigencias. Y además todo camino minero se comienza a trazar como una simple huella sobre el terreno, huella que servirá para trasladarse de un sector a otro, hacia cada sector de la mina, sin aplicar mayormente los principios de ingeniería básica para la construcción de un camino; sin embargo, el trazado inicial servirá como referencia para darle un trazado geométrico que esté más de acuerdo con las

normas de ingeniería de camino.

Estos autores citaron como parámetros básicos los siguientes:

- Pendientes máximas, teniendo en cuenta que serán usados principalmente por camiones cargados con mineral de diferentes tonelaje.
- Velocidad de diseño, referido a la mayor velocidad que el conductor podrá desarrollar con seguridad en un tramo.
- La aplicación de peraltes, pensando en un mejoramiento del camino. (Reingeniería).
- Geometría, diseño de un alineamiento horizontal y en alzada.
- Drenaje
- Trazado
- Velocidad
- Visibilidad

1.7 Criterios para la elección de la pendiente

Al elegir la pendiente máxima de una vía, se deben tener en cuenta los gastos en la construcción y en la explotación. La pendiente debe ser la requerida por diseño, aunque para caminos de transporte no debe exceder 10% por ningún motivo. En aquellos caminos tales como rampas auxiliares de acceso éstas no deben exceder un 8%, dependiendo del equipo y las recomendaciones establecidas para tal efecto. A lo largo de una rasante se tienen diferentes valores para las pendientes (%), siendo el valor máximo permitido 10% para los caminos mineros y rampas principales; y para rampas auxiliares es de un 8% máximo como se ha mencionado en el epígrafe anterior.

Un aumento en la pendiente trae como consecuencia:

- Disminución de la velocidad de los vehículos y por ende aumento del costo del transporte (esto se manifiesta más intensamente en los vehículos pesados).
- Aumento del consumo de combustible.
- Mayor gasto de neumáticos.

- Disminución de la capacidad de la vía (a causa de la disminución de la velocidad).

Las pendientes máximas a partir de la velocidad de cálculo, que es un índice dado por la categoría de la vía. Construcción de la Superficie (2018).

Peralte

El peralte es la inclinación transversal de la vía en las curvas. Este se construye para compensar la fuerza centrífuga (que haría que el vehículo se saliera de la calzada) con la fuerza del peso sobre la rasante de la curva.

Villanueva (2015), apuntó que cuando los vehículos atraviesan curvas de radio pequeño, son forzados radialmente hacia fuera por la fuerza centrífuga. Las fuerzas que contrarrestan son la fricción entre las llantas y la superficie del camino, y la componente del peso del vehículo debido al peralte.

Ancho del camino

Para definir el ancho total de un camino se deben considerar tres componentes, el ancho de la vía de transporte, el pretil de seguridad y la berma central, si se requiere. Además, se recomienda que para el tráfico en dos pistas el ancho del camino no debe ser menor que 3,5 a 4 veces el ancho del camión.

En rampas y caminos interiores de la mina se considera el criterio del espacio libre a cada lado del camión igual a la mitad del ancho del mismo, y como resultado, el ancho total del camino debe ser 3,5 veces el ancho del camión más el pretil, como se observa en la Figura 1.3. Villalobos (2017)

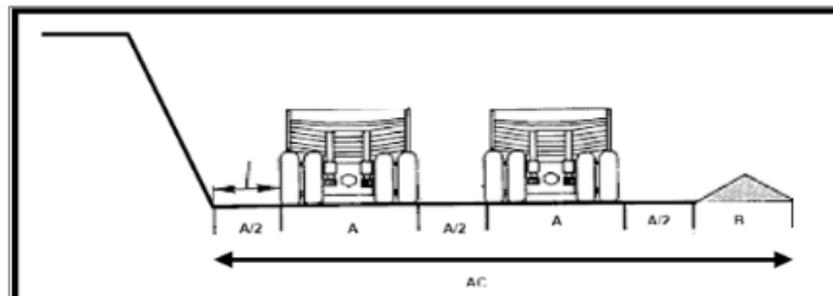


Figura 1.1 Anchos en rampas y caminos interiores de la mina.

En la Figura 1.4, en caminos principales, se considera el criterio del espacio libre a cada lado del camión igual a la mitad del ancho del mismo, teniendo como resultado que el ancho total del camino debe ser 4 veces el ancho del camión más el pretil más la berma intermedia. Villalobos (2017)

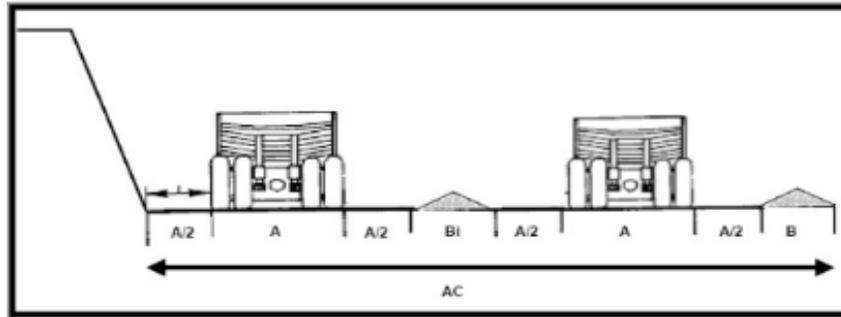


Figura 1.2 Ancho en caminos principales.

Como se puede ver en la figura 1.5, en secciones con curvaturas el ancho de caminos requerido en las curvas toma en cuenta el efecto saliente que ocurre en el equipo en su parte frontal y trasera cuando toma una curva. Villalobos (2017)

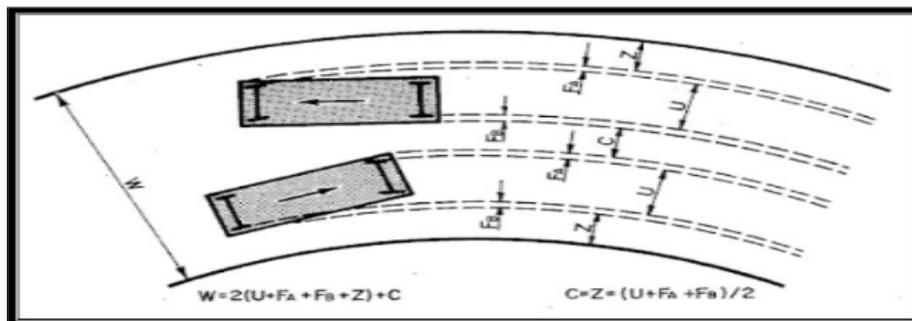


Figura 1.3 Ancho de los caminos en secciones curvas.

Como se observa en la tabla 1.10, el ancho de camino en curvas varía para los equipos según las distintas categorías de peso y diferentes radios de curvatura.

Tabla 1.10 Categorización de equipos de transporte por peso bruto

Categoría del equipo	Peso bruto de equipo (kg)	Radio mínimo (m)
1	<45 000	5,8
2	45 000 a 90 000	7,3
3	> 90 000 a 180 000	9,4
4	> 180 000	11,9

Fuente: Villalobos (2017)

Drenaje

El sistema de drenaje es un escudo de protección el cual se debe proveer la estructura de las carreteras contra los efectos erosivos e inundación de las aguas superficiales o subterráneas, para lo cual se propone la construcción de algunos artificios, para la recolección, transporte y descarga segura de las aguas, los que deben ser diseñados técnica y económicamente que justifique la vida útil. El principal objetivo del drenaje, es evacuar en el menor tiempo posible las aguas que se precipitan sobre la plataforma de la carretera o que puedan penetrar lateralmente la estructura vial. Revista Drenaje de Caminos / Universidad Señor de Sipán (2013).

Trazado

El trazado de cada camino obedece la necesidad de transporte de los diferentes tipos de materiales, al origen y destino, a la geometría del rajo, a la topografía y un sin número de variables que determinan dicho trazado, ya sea en el plano o en altimetría evitando exceso de curvas y contra curvas y la sinuosidad en el trazado planimétrico. Villalobos (2017).

Velocidad

Sobre este aspecto, Villalobos (2017), planteó que la velocidad de diseño estará determinada por el tipo de equipo de transporte, sus características particulares que determinan la velocidad máxima posible en cada instancia, bajando cargado, viajando cargado en plano o subiendo una rampa. Dicha velocidad, además del equipo está determinada también por la geometría y las consideraciones propias de seguridad asociadas al camino.

Visibilidad

Para que el conductor del vehículo pueda tomar a tiempo las medidas necesarias, en dependencia del obstáculo que se presenta delante de él.

Para garantizar la visibilidad necesaria se tienen en cuenta en el proyecto del camino los siguientes aspectos:

- Que las curvas tengan un radio mínimo tal que garantice con un peralte dado la seguridad en el desplazamiento del vehículo.
- Para un radio y un peralte dados la condición de vuelco, por lo que se considera que lo más útil es aumentar el valor del coeficiente de rozamiento transversal en las curvas.
- Que en los tramos curvos la vía tenga un ancho mayor (sobreaancho).
- Para curvas con radios mayores a los 300 m se puede despreciar este parámetro.
- Que en los casos de curvas pronunciadas el paso de ella a un tramo recto se realice por una curva de transición. Asignatura Construcción de la superficie (2018)

1.8 Equipamientos que realizan los caminos mineros

Generalmente para la construcción y mantenimiento de caminos en las minas se utilizan los siguientes:

- Buldócer (D9 o mayor, 45tons, 300kW) y Wheeldócer (asistente).
- Rodillo vibrador (230kN de fuerza vibratoria).
- Motoniveladora (16ft -24ft, hoja ancha o equivalente).
- Camiones Cisterna con Capacidad de 50-80 litros y Barra Aspersora. Nelson y Jaime (2001)

1.9 Indicadores técnico productivos de los equipos.

Productividad

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

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

Disponibilidad operativa

Lores (2017), define la disponibilidad como la probabilidad de que un equipo opere, o sea, esté disponible para su uso, durante un periodo de tiempo determinado, es decir; la disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. La disponibilidad de un elemento, equipo o componente no implica necesariamente que esté funcionando, sino que se encuentra en condiciones de funcionar.

Utilización

Según Lores 2017, la UBMECG utiliza diferentes equipos de excavación-carga para la realización de las tareas del laboreo minero (destape, extracción, escombreo y remonte), para la realización de estas existe un parque que se encargan de estas operaciones, los mismos son considerados como uno de los eslabones fundamentales en la producción de la empresa puesto que se encargan del comienzo del proceso productivo. En la tabla se muestran los equipos estudiados y el comportamiento de los mismos desde su puesta en marcha para la ejecución de las operaciones.

Producción (volumen productivo)

Producción: es el volumen o peso de material a ser manejado en una operación específica.

- mineral (en unidades de peso).
- estéril (en unidades de volumen) Vargas (2017).

Ciclo de trabajo

El ciclo de trabajo que se usa para una operación, se refiere a los pasos repetitivos o componentes de trabajo que el equipo seleccionado hace una y otra vez para

ejecutar la operación. En el caso de la extracción de mineral o escombro, el ciclo primario de trabajo se compone de: la excavación, el acarreo, el vaciado y el regreso a la excavación.

Al mover el material a las escombreras para usarlo como reserva y la posible explotación de este material en otro momento, pero partiendo de que presenta baja ley del mineral se originaría un ciclo secundario.

Da Mata (2017), expresa que en la explotación de los yacimientos lateríticos, se utiliza el conjunto retroexcavadora-camión; además de los equipos auxiliares para el resto de las operaciones de preparación minera. Cada equipo ejecuta su ciclo de trabajo independiente, y se relacionan en: la obtención del destino final del material, la preparación y ejecución de las labores en la minería.

1.10 Determinación de los indicadores técnico productivo de los equipos de transporte automotor

Los factores más importantes que influyen en los indicadores técnico-productivos de la explotación del transporte automotor en la explotación de yacimientos lateríticos son:

- Condiciones minero-técnicas de la zona de trabajo.
- Características técnicas del equipamiento.
- Condiciones climáticas.
- Régimen de trabajo.
- Experiencia del operador.
- Disponibilidad mecánica.
- Distancia de transportación.

Para Gracious (2017), la influencia de estos factores determinará el aumento o no del rendimiento de la explotación de los equipos de transporte automotor utilizados en la minería del níquel y sirven de base de conjunto con la experiencia de adquirida por los especialistas de las diferentes industrias a poder plantear una metodología que permita realizar la evaluación del rendimiento de dichos equipos.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Estado técnico de los caminos mineros en la ECG

La puesta en explotación de los camiones articulados en la Empresa Ernesto Che Guevara(ECG), de altas prestaciones, ha llevado a la falsa creencia, de que con los mismos no resulta necesario construir caminos con rigor técnico y se ha generalizado la práctica de hacer accesos sin los debidos requerimientos técnicos, lo que repercute negativamente en la productividad, las condiciones de confort y seguridad de los operadores, así como en el índice de averías de los camiones.

Este capítulo tiene como objetivo plantear el procedimiento para la determinación de la fotografía de la jornada laboral para la normación de los tiempos productivos para la vinculación con las condiciones técnicas del camino minero.

2.2 Clasificación de los caminos mineros en la ECG

Para el transporte de la masa minera se utilizan dos tipos de caminos clasificados en principales y secundarios, de acuerdo al uso a que estén destinados.

- Los caminos principales, sirven a varios frentes de minería dentro de uno o más yacimientos y su tiempo de vida útil como regla es de varios años.



Figura 2.1 Camino principal hacia el yacimiento Camarioca Este

- Los caminos secundarios están destinados al movimiento dentro de los frentes de minería y al enlace de estos con los caminos principales, la vida útil de los mismos puede variar de días hasta más de un año.



Figura 2.2 Camino secundario yacimiento Punta Gorda

El procedimiento 138 – Po – 2 es el que rige la construcción y mantenimiento recién aprobado en la Unidad Básica Minera, cuenta con los requisitos necesarios para su construcción.

2.2.1 Requisitos que tienen que cumplir los caminos principales

- Su trazado tiene que dar acceso al mayor número de frentes posibles.
- Deben de tener pocas curvas y lo más amplias posibles en concordancia con el relieve.
- Las pendientes, no deben de ser abruptas y tienen que ser inferiores a las que puedan sortear los equipos cargados.
- No pueden tener curvas de lomo roto, ni provocar el efecto de montaña rusa.
- El peralte de las curvas, no debe de permitir el derrame del material a la velocidad de diseño; se calculará para condiciones de pavimento mojado, es decir adherencia cero.
- Deberán de soportar el peso de los equipos, sin sufrir deformaciones tanto en tiempo seco como húmedo.
- Buena compactación, drenaje y terminación de la rasante, para lograr buena adherencia y poca resistencia a la rodadura.
- Se deben de construir fundamentalmente sobre las escombreras inactivas o zonas no mineralizadas.

- El ancho de la vía tiene que ser como mínimo, de tres veces el ancho de los camiones más cuatro m.

Pasos a seguir para el trazado de un camino principal:

- Se hace un trazado preliminar del camino, en función de los planes a mediano y largo plazo.
- Se hace un estudio detallado de la traza preliminar, se hacen los ajustes pertinentes y se proyecta la traza definitiva del tramo a construir para la etapa, de tal forma que el mismo sirva para las nuevas área a minar en el futuro.
- Una vez defina la traza se hace una trocha a lo largo de la misma desbrozando solamente el ancho necesario; 25 a 30 m.
- Se replantea el camino y se señala adecuadamente, de tal forma que durante los trabajos no se afecten las referencias.

Preparación del terreno:

Luego de replanteada la traza del camino, se realizan los trabajos de preparación del terrenos en el siguiente orden:

- Se realiza el descortezado de los tramos donde exista materia orgánica y se evacua todo el material.
- Se liberan de lodo y rectifican las cañadas existentes en la traza del camino.
- Se retiraran todos los bolsones de materiales friables que aparezcan en la traza, hasta alcanzar una profundidad no menor de 1,5 m, por debajo del nivel de la base del camino.
- Las depresiones que resulten de la extracción de materiales friables, se rellenarán con OICC (ocres inestructurales con concreciones), si no hay humedad y con rocoso si existe humedad permanente.
- En todos los tramos del trayecto en que haya humedad permanente, se colocará una capa de material rocoso sobre el material plástico y luego se pondrá una capa de grava para romper la capilaridad.
- En todas las cañadas se colocarán tubos , acorde con el caudal que aporte la cuenca.

Levantamiento del terraplén

Una vez creadas las condiciones en la base, se comenzará a levantar el terraplén hasta la cota de diseño, para lo cual se procederá como explica a continuación:

- En caso de que la humedad natural del terreno al comenzar el camino, no permita compactarlo se escarificará y se esperará hasta lograr una humedad en que admita la compactación.
- El rehincho se hará por capas de 20 a 30 centímetros de espesor; las que se compactarán debidamente.
- Para el rehincho se empleará preferencialmente los ocres inestructurales con concreciones y en ningún caso cortezas de gabroides o materiales contaminados con materia orgánica.
- Siempre que el terreno presente alta humedad o manantiales se pondrá una capa de grava, para romper la capilaridad y facilitar el drenaje de la base.
- Es requisito indispensable para lograr una buena y rápida compactación, que la humedad del material esté entre 25 y 30%.
- Para la última capa se empleará rocoso o escombros con corazas, en ningún caso perdigones.
- Todos los días al finalizar el turno de trabajo o si hay amenaza de lluvia, se dejará el terraplén compactado y con caída hacia los laterales, para evitar que se ablande.
- En caso de lluvias, se paralizará el trabajo hasta que el material y el terraplén tengan la humedad requerida.

Obras de fábrica y drenaje superficial de los caminos

El agua es el peor enemigo de los caminos mineros, tanto en la etapa de construcción como en la de explotación, por lo que todo camino minero tiene que construirse con un sistema de drenaje adecuado, para lo cual se deben de cumplir los siguientes requisitos:

- Todos los caminos tendrán cunetas a ambos lados, con una profundidad nunca menor de 0,5 metros.

- En los casos en que los caminos se construyan sobre escombreras inactivas, se cavará una trinchera, a una distancia entre 10 y 15 metros del borde superior del mismo.
- Las obras de fábricas o tubos, que se coloquen en las depresiones y cursos de agua, tendrán una capacidad de evacuación, mayor que el caudal crítico probable para la cuenca, durante la vida útil proyectada para el camino.
- Todas las obras de fábricas sobre los ríos, tendrán un proyecto específico y tienen que permitir el paso del mayor equipo existente o probable en la mina.

Terminación y parámetros de los caminos principales mineros

Una vez que se ha concluido el terraplén con todos los requerimientos, se procede a darle la terminación al camino, para que el mismo pueda ser utilizado de forma eficiente y segura durante todo el año, para la transportación de mineral con camiones mayores de 60 toneladas.

A continuación se detallan los parámetros fundamentales, para la terminación del camino

- En todos los trayectos rectos de la vía a media ladera, la inclinación para el drenaje lateral será hacia adentro con una pendiente entre 1,6 y 2%.
- El radio mínimo de las curvas será de 50,0 m.
- En todos los bordes exteriores de los tramos de camino a media ladera, se hará una berma de no menos de 2,0 m de ancho y 1,5 m de altura, adecuadamente conformada.
- En todos los bordes exteriores de los tramos de camino con cuestas a ambos laterales, se harán sendas cunetas entre las bermas y la vía.
- El bombeo en los tramos rectos con cuesta a ambos lados, será como máximo de 2,0 %.

2.2.2 Requisitos que tienen que cumplir los caminos secundarios

- Su trazado tiene que dar acceso a todos los bancos de extracción del frente de minería.

- Las pendientes, no deben de ser abruptas y tienen que ser inferiores a las que puedan sortear los equipos cargados.
- Los caminos deberán de soportar el peso de los equipos, sin sufrir deformaciones tanto en tiempo seco como húmedo.
- Buena compactación y drenaje.
- El ancho de la vía tiene que permitir el cruce de los camiones sin peligro.
- El rehincho del terraplén tiene que ser lo suficientemente grueso, para que no se mezcle con el mineral, al paso de los camiones y además sea fácil de evacuar.

Pasos a seguir para el trazado de un camino secundario

- Se hace un trazado preliminar del camino en función del flujo de minería planificado, tratando de que cubra la mayor cantidad de frentes de trabajo posibles.
- Se hace un estudio detallado de la traza preliminar, se hacen los ajustes necesarios para llevar la traza por las zonas con menor complejidad.
- Se replantea el camino y se señala adecuadamente, de tal forma que durante los trabajos no se afecten las referencias.

Preparación del terreno

- Se realiza el descortezado de los tramos donde existan restos de materia orgánica y se evacua todo el material fuera del área.
- Se realizan los trabajos preventivos de drenaje, para evitar la afluencia de las escorrentías hacia el área de trabajo durante la construcción.
- Se liberan de lodo y se rectifican las cañadas existentes el trayecto del camino.
- En todos los tramos del trayecto en que haya humedad permanente, primeramente, se retirará el material arcilloso y se rellenará el espacio con material rocoso, luego se pondrá una capa de grava para romper la capilaridad.

- En todos los tramos del camino donde aparezcan bolsones de materiales friables; los mismos se retirarán totalmente o hasta alcanzar una profundidad no menor de 1,5 m, por debajo del nivel de la base del camino.
- Se colocan tubos en todas las depresiones y cañadas; el diámetro de los mismos estará en correspondencia con caudal que aporte la cuenca.
- En los casos de las corrientes permanentes de poco caudal, se colocan los tubos definitivos una vez rectificad y librado de lodo el cauce.

Levantamiento del terraplén

- Una vez creadas las condiciones, se comenzará a levantar el terraplén hasta el espesor deseado, lo cual será por capas de 20 a 30 centímetros de grosor; las que se compactarán debidamente.
- Si el terraplén se hace sobre mineral blando, el espesor será de 0,75 a 1,0 m de espesor para evitar la mezcla del mineral y el escombros a la hora del saneo.
- Si el terraplén se hace sobre mineral estable, el espesor será de 0,5 a 0,75 m de espesor para evitar la mezcla del mineral y el escombros a la hora del saneo.
- Si el terraplén se hace sobre escombros el espesor será lo que determinen las condiciones locales.
- En caso de que la humedad natural del terreno, al comenzar el camino no permita compactarlo, se escarificará y se esperará hasta lograr una humedad que admita la compactación.
- Para el rehincho se podrán utilizar los diferentes materiales del destape, con excepción de los contaminados con materia orgánica o cortezas arcillosas de gabros.
- Es requisito indispensable para lograr una buena y rápida compactación, que la humedad del material esté entre 25 y 30%.
- Todos los días al finalizar el turno de trabajo o si hay amenaza de lluvia. se dejará el terraplén compactado y con caída hacia los laterales, para evitar que se ablande.

- En caso de lluvias se paralizará el trabajo, hasta que el material y el terraplén tengan la humedad requerida.

Casos en que no es necesario hacer terraplén en los caminos secundarios

- Caminos para el destape sobre material insitu compacto y seco.
- Caminos para la extracción del mineral sobre material compacto y seco.
- Caminos internos de los bancos de extracción con retroexcavadoras.
- Caminos a frentes no priorizados o de corta vida en que se puede esperar a que estén secos.
- Caminos sobre escombreras estables, en que el terraplén se puede sustituir por una o dos trincheras laterales.

Mantenimiento de los caminos mineros

Tan importante como una construcción con todos los requerimientos técnicos, es el mantenimiento de los caminos mineros, ya que los mismos están sometidos constantemente a fuerzas destructivas, tanto naturales como las originadas por el desplazamiento de los equipos sobre los mismos. Por lo que para mantenerlos en condiciones seguras, eficientes, efectivas y económicas de explotación de los viales; es preciso darle un adecuado mantenimiento.

Para lograr un adecuado mantenimiento a bajo costo, se tienen que realizar inspecciones periódicas por personal competente, para valorar el estado de las vías y elaborar el plan de medidas preventivas para asegurar que:

- Que se corrija el defecto de la vía cuando comience a manifestarse y no esperar a que cause trastornos.
- Que el agua del escurrimiento superficial no invada la vía en ningún caso.
- Que se mantenga el bombeo de los caminos, así como las cunetas limpias en toda época del año.
- Que no se produzcan tupiciones en las tuberías de drenaje.
- Que las cunetas para la evacuación de las aguas se no obstruyan.
- Que no se almacene en los paseos de los caminos, ningún material que limite el drenaje de los mismos.

- Que no se formen colchones de polvo.

Forma y momento en que se tienen que hacer los mantenimientos para que resulten económicos y eficaces

- Mantenimiento de los caminos recién construidos.

Como la presión específica de los medios de compactación disponibles en la UBMinera, es menor que la de los camiones cargados, las retroexcavadoras y los patines de las dragalinas. Durante la primera etapa de su explotación al paso de los equipos por las vías, se producen deformaciones en las mismas las que son el germen de una serie de defectos que retardan la consolidación incluso hasta inutilizarla, si no se corrigen a tiempo por lo que en esta etapa se tomarán las siguientes medidas:

- Mantener un buldócer o una motoniveladora a tiempo completo para explanar las deformaciones causadas por los neumáticos.
- No utilizar agua para el control del polvo; esto se hará mediante la mezcla del material seco con en húmedo de la base o traído de otro sitio.
- En todos los casos que exista material plástico en la base del camino, se evacuará o se mezclará con material seco, según sea la magnitud del caso.
- No depositar grava o rocoso sobre el camino hasta que el mismo no esté consolidado y se haya creado una sub rasante impermeable.
- En caso de lluvias se debe de paralizar la circulación en todos los casos que sea posible, hasta que se haya secado el terraplén.
- Si obligatoriamente hay que mantener la circulación por una vía recién construida, durante o después de las lluvias y se produce lodo, el mismo se evacuará hacia donde no afecte el drenaje.
- Para acelerar el secado se debe de hacer un escarificado de poca profundidad y luego aplanar el terreno.

Una vez que el camino ha alcanzado estabilidad se le pone la capa de rodamiento de rocoso y una cantidad mínima de escombros tomado preferiblemente de áreas donde se ven pequeñas corazas en forma de pastel de hojaldre

- Mantenimiento de los caminos consolidados:

Una vez que los caminos mineros alcanzan cierto grado de consolidación, es necesario mantener una supervisión sobre los mismos para corregir los pequeños defectos y así evitar que por descuido no lleguen a alcanzar un grado de consolidación y vialidad que permita explotarlos con seguridad y eficiencia.

Aspectos a revisar y corregir inmediatamente que se comiencen a manifestar atendiendo a la causa que lo provoca:

- Almacenamiento de agua en la vía después de las lluvias o el regadío, ocasionados por falta de bombeo lateral.
- Inundación de las vías por el desbordamiento de las cunetas, debido a la poca profundidad o pendiente de la misma.
- Acarcavamiento de las cunetas y bordes de las vías.
- Almacenamiento de agua en las cunetas y paseo de los caminos después de cesar las lluvias.

2.3 Propiedades de las capas de los caminos

En la UBMinera ECG, se realizó una caracterización de los diferentes materiales que componen los caminos según muestras sacadas de trabajos de campo, y después se confeccionó probetas para determinar su resistencia mecánica. Según su contenido en % de grava (>2mm), arena (2 – 0,02 mm), lino (0,02 – 0,002 mm) y arcilla (<0,002mm); los materiales se clasificaron en grava, arcillas plásticas y arcillas muy plásticas, de los cuales el único apto como material de relleno es la grava de la capa de laterita.

Tabla 2.1 Características de plasticidad de la laterita.

Grava >2mm	Arena 2-0,0- 2mm	Lino 0,02- 0,002 mm	Arcilla <0,002 mm	Plasticidad (%)			Condiciones naturales				
				LL	LP	IP	W (%)	Xf (kN/m ³)	Xd (kN/m ³)	e	S (%)
35	45	14	6	47	30	17	23,4	22,3	18,2	1,03	81

Fuente: Musekiwa(2013)

Tabla 2.2 Resistencia al esfuerzo cortante.

Muestra	Profundidad (m)		Carga vertical	Esfuerzo cortante	Resultados			Valores del cálculo	
	Desde	Hasta	MPa	MPa	tan	C (MPa)	Ø (grados)	C (MPa)	Ø (grados)
212	3,8	4,4	0,1	0,12	0,60	0,06	31		
212	3,8	4,4	0,2	0,18					
207	6,4	7	0,1	0,11	0,2	0,087	13	0,087	13
207	6,4	7	0,2	0,12					

Fuente: Musekiwa(2013)

Tabla 2.3 Parámetros constructivos de los caminos principales y secundarios.

Indicadores	U/M	Corte	m. ladera	Terraplén
Ancho efectivo de la corona	m	16,0	16,0	16,0
Ancho de la base de la corona	m	17,0	19,0	21,0
Profundidad y ancho de la cuneta	m	0,5 x 1,0	0,5 x 1,0	0,5 x 1,0
Ancho de la berma de seguridad	m	0	2	2
Pendiente inferior de la berma		---	2:1	2:1
Pendiente del talud		1:1	1,5:1 y 1:1	1,5:1
Bombeo	%	1,6	1,6	1,6

Fuente: UBMinera (2018)

Tabla 2.4 Precipitaciones por años

Meses	Año 2015 (mm)	Cantidad de días	Año 2016 (mm)	Cantidad de días	Año 2017 (mm)	Cantidad de días	Año 2018 (mm)	Cantidad de días
Ene	169,50	13	359,90	9	35,60	7	809,8	24
Feb	279,10	8	231,70	13	70,40	7	124,5	21
Mar	175,80	10	96,20	7	436,85	20	197,8	10
Abr	78,10	7	137,00	7	51,40	8	69,9	5

May	462	9	258,45	13	175,85	14	534,8	11
Jun	7,20	1	70,70	12	23,60	5	11,0	3
Jul	37,40	6	141,20	13	69,75	12	107,6	7
Ago	88,20	8	102,90	7	310,05	12	91,8	8
Sep	63,60	9	118,40	8	313,98	13	156,9	11
Oct	78,50	17	359,80	12	193,95	14	308,8	17
Nov	405,95	22	252,40	15	754,25	20	196,4	13
Dic	114,30	8	162,20	15			212,9	13
Total	1959,7	118	2,290.8	131	2,435.68	132,00	2,822.2	143
	5		5					

Fuente: UBMinera (2018)

2.4 Equipamientos que realizan los caminos mineros en la ECG

Los equipos que realizan los caminos mineros en la empresa comandante Ernesto Comandante Che Guevara son:

- Buldóceres
- Motoniveladora
- Compactador
- Retroexcavadoras
- Camiones articulados
- Camión cisterna de agua

Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de los mismos.

Tipo	objetivo	Motor	Tren de rodaje	Empuje	Peso
Buldócer sobre esteras	Trabajos auxiliares a la excavación –	Potencia del motor: 120 Kw a 1850 rmp.	Tejas de 510 – 700 mm. Tren de rodaje	Fuerza de empuje 100-365 KN.	16 -20 t.

	carga.		con barras y muelles espirales, tipo de bastidor reforzado, con protección en los rodillos al final de la sección del bastidor.	Velocidad de empuje 2-11 Km/h.	
Motoniveladora.	Trabajos auxiliares de acarreo de masa minera.	Potencia 115-145 Kw/Hp. Motor diesel turbo alimentado. Tracción 6 x 6. Inyección electrónica.		Fuerza de empuje 140 - 235 Hp/ 104 - 175 Kw. Velocidad de empuje 0-3.2 Km/h.	
Compactador	Se emplean en la compactación de tierras.	Potencia de 140 a 160 CV. Ancho del tambor 1.70 a 2.22 m.			12 a 16 t
Retroexcavador a hidráulica sobre esteras.	Excavar y cargar la masa minera a los equipos de transporte.	Potencia de 400Kw/543 CV.			
Camión Articulado	Transportar los volúmenes de masa minera.	Volvo D16E AAE3*/ABE3*** Potencia máxima (30r/s-1 800 rpm) SAE J1349 bruta(350 kW-476 CV)			Neto 40.7 t Bruto 63.2t
Camión Cisterna para agua	Regadío de los frentes de trabajo y caminos mineros.	Doble tracción (6x6).	Capacidad de 8000 hasta 16 000 litros y realiza el regadío a una velocidad de hasta 20 km/horas, Regadío a presión y lateral		

			que permita la disgregación del material suelto hacia los laterales, Bomba independiente a la bomba del equipo de 75 litros/min aproximadamente		
--	--	--	---	--	--

Fuente: Elaboración propia

2.5 Parámetros de diseño de caminos

Los principales parámetros de diseño de los caminos mineros tanto principales como secundarios se emplean para determinar las condiciones geométricas para la construcción y la reparación de los caminos y su posterior explotación por parte de los principales equipos mineros que participan en la explotación de los yacimientos lateríticos.

Ancho de la vía

El ancho de las vías que se recomienda puede estimarse con la siguiente expresión:

$$A = a(0,5 + 1,5 n) \quad (2.1)$$

Donde:

A=Anchura total de la vía (m)

a= Anchura del vehículo en (m)

n = Número de carriles deseados

En rampas y caminos interiores de la mina

$$AC = 3,5 \cdot A + B \quad (2.2)$$

Donde:

A = ancho del camión más grande en la operación(m)

B = ancho de la berma con pretil de seguridad(m)

En caminos principales

$$AC = 4 \cdot A + Bi + B \quad (2.3)$$

Donde:

A = ancho del camión más grande en la operación(m)

B = ancho de la berma con pretil de seguridad(m)

Bi = ancho de la berma intermedia(m)

En secciones con curvaturas

$$W = 2(U + Fa + Fb + Z) + C \quad (2.4)$$

Donde:

U = ancho de la pista del equipo (desde centro a centro de neumáticos)

Fa = ancho frontal saliente del equipo

Fb = ancho trasero saliente del equipo

C = espacio libre lateral total

Z = ancho extra asignado debido a las dificultades de conducción en curvas, puesto que el ancho de camino en curvas varía para los equipos según las distintas categorías de peso y diferentes radios de curvatura. Villalobos (2017).

Pendientes

Para calcular la pendiente que se posee un camino se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = \frac{E}{p} * 100 \quad (2.5)$$

donde:

P= pendiente

E= elevación

p= proyección

El perfil longitudinal del camino debe considerar en el trazado de la rasante una

compensación entre el corte y el relleno a realizar para satisfacer las necesidades del diseño.

Peralte: a continuación se mostrará la siguiente fórmula básica para calcular el peralte.

$$e + f = \frac{V^2}{127,14 * R} \quad (2.6)$$

Donde :

e = Tangente del ángulo del plano horizontal de la vía

V = Velocidad (km/h)

R = Radio de la curva (m)

f = Coeficiente de fricción

2.6 Cálculo de los indicadores técnico productivos

Los principales indicadores técnicos productivos establecen la valoración de la explotación del equipamiento minero, en el caso particular los equipos de transporte del mineral, también dan la posibilidad de evaluación de comportamiento y la posible planificación de las actividades mineras que se desarrollan durante la explotación de los yacimientos.

Disponibilidad de los equipos de los equipos de excavación – carga

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

$$ID = \frac{HD}{HH}; [h] \quad (2.7)$$

Índice de Utilización

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

$$IU = \frac{HE}{HE+HI}; [h] \quad (2,8)$$

Producción

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

$$\mathfrak{R} = \frac{P}{HE}; [t/h] \quad (2.9)$$

Donde

P : Producción; (t)

2.7 Normación técnica para el transporte de mineral con camiones volvos A-45G

La normación técnica para el transporte de mineral es imprescindible para la planificación y el control de la producción de los camiones, pero para normar todos los frentes donde varían con frecuencia las condiciones de las vías, las distancias de transportación y el modelo de los camiones, se elaboró una metodología que tiene en cuenta todos los factores que influyen en la productividad horaria de los equipos de transporte.

Con el uso de estas normas se puede determinar la productividad horaria en cualquier situación en los yacimientos en explotación.

Con esta normación es posible determinar los principales tiempos productivos y la productividad variable para el camión en un turno, como en 2 turnos.

Para determinar la productividad en un camión en 2 turnos de trabajo, que sería el primer caso de estudio.

$$P = \frac{Cv*Vm*Kh}{2D+Eq} tm/h \quad (2.10)$$

Donde:

$C_v = 20$ toneladas

$D =$ Distancia variable km

$V_m =$ Velocidad media variable

$P =$ Productividad variable

Para determinar la productividad en un camión en 2 turnos de trabajo, que sería el segundo caso de estudio.

$$P = \frac{V_m * C_v * K_h}{2D + E_q} \text{ tm/h} \quad (2.11)$$

Donde:

$C_v = 20$ toneladas

$D =$ Distancia variable km

$V_m =$ Velocidad media variable km/h

$P =$ Productividad variable t/h

Y para el escombreo en condiciones normales con velocidad media de 12 km/h el ciclo se calcula por la siguiente formula:

$$E_q = \frac{(V_M * T_F)}{3600} \text{ km} \quad (2.12)$$

$$P = \frac{(C_V * V_M)}{(2D + E_q)} = m^3 / h \quad (2.13)$$

donde:

C_V : capacidad volumétrica del camión A-45G

E_q : Equivalente en espacio de los tiempos fijos.

P : Productividad horaria neta.

Para condiciones normales con velocidad media de 18 km/h el ciclo se calcula por la siguiente formula:

$$Eq = \frac{(VM*TF)}{3600} km \quad (2.14)$$

$$P = \frac{(CV*VM)}{(2D+Eq)} = m^3/h \quad (2.15)$$

Donde:

CV: capacidad volumétrica del camión A-45G

Eq: Equivalente en espacio de los tiempos fijos.

P: Productividad horaria neta.

El aprovechamiento de las productividades para el turno se calcula por la siguiente formula:

$$P = \frac{(CV*VM*At)}{(2D+Eq)} \quad (2.16)$$

2.8 Método de cálculo para determinar la productividad según la velocidad media

Tiempo de recorrido por el camión

El tiempo de recorrido de los camiones es el parámetro más difícil de determinar por los métodos tradicionales de las normas, porque el mismo depende de varios factores siendo los fundamentales:

- Aceleración y frenado del camión
- Tiempo para alcanzar la velocidad de crucero o régimen lleno y vacío
- Distancia de recorrido para alcanzar la velocidad del régimen.
- Distancia de recorrido para detenerse a partir de la velocidad de régimen.

Primer Grupo

Tiempos del ciclo en que el camión no está transportando ni moviéndose de regreso, los cuales son obligatorios:

- Tiempo de maniobra para cargar (todos los ciclos)

- Tiempo de carga (“ “ “)
- Tiempo de maniobra para descarga (“ “ “)
- Tiempo de descarga (“ “ “)

Segundo Grupo

Interrupciones del ciclo que ocurren durante el turno y que son proporcionales al número de viajes.

- Limpieza del volteo (todos los turnos)
- Limpieza de la tolva (todos los turnos)
- Limpieza del cargadero (todos los turnos)
- Recorrido técnico, medición topográfica y muestreo del corte. (turnos diurnos).

Tercer Grupo

Interrupciones del turno que tienen que ver con la revisión de los equipos y necesidades personales:

- Repostado con agua y combustible (c/turno)
- Revisión por chofer al cambiar el turno (c/turno)
- Revisión técnica de los equipos MTD (1 turno)
- Necesidades personales (c/turno)

El primer y segundo grupo se dan como tiempos fijos (T_f) y el tercer grupo como utilización de la jornada (kh). Y el tiempo de recorrido es variable en función de la distancia y condiciones viales.

Por lo que la productividad tendrá la expresión siguiente:

$$P = \frac{(CV*VM*Kh)}{(2D+Eq)} = Tn/h \text{ donde: } Eq = \frac{Tf*Vm}{3600} \quad (2.17)$$

p = productividad

C_v = Capacidad de carga del camión (t)

D = Distancia de transportación en un sentido (Km)

Kh = Coeficiente de utilización de la jornada

Eq = Equivalente en espacio recorrido a Vm en los tiempos fijos (Km)

Productividad para el camión A-45G promedio para los 2 turnos

$$P = \frac{Cv \cdot Vm \cdot Kh}{2D + Eq} = Tm \quad (2.18)$$

Donde:

D = Distancia variable (Km)

Cv = 26 toneladas

Vm = Variable en función de la distancia y la vía Km/h

P = productividad variable Tm/h, V/h, Tm/turno

Partiendo de la ecuación básica se produjeran paradas hasta un total de 14 ecuaciones para la determinación de la velocidad media de ida y regreso para cualquier distancia ≤ 0.2 km con pendientes medias de 0-5 % y de 6-10 %. Como se ha mencionado en el acápite anterior.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

El estado de los caminos mineros a partir de su estructura constructiva es importante y necesaria para que los equipos de transporte de la masa minera cumplan con los objetivos propuestos y el cumplimiento de las normas de trabajo en la UBMinera.

El objetivo del capítulo es explicar la relación del estado técnico constructivo y las características técnicas y de diseño de los caminos y su influencia en los indicadores técnicos de los equipos de transporte de la masa minera.

3.2 Estado de los caminos mineros en la ECG

En la Unidad Básica Minera, distribuidos por los diferentes frentes de explotación existen 20 695 km para el desarrollo de las diferentes operaciones mineras y fundamentalmente para la transportación del mineral hacia los depósitos y la realización de las escombreras, los mismos se especifican en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Distribución de los caminos mineros en los diferentes yacimientos de la UBminera.

Yacimientos	Yagrumaje norte	Yagrumaje sur	Camarioca este	Punta gorda	Yagrumaje oeste	Total
Caminos principales (km)	2,006	3,752		3,822		9,580
Caminos secundarios (km)	2,089	2,174	2,051	3,007	0,794	10,115
Caminos principales(inversiones) (km)		1,000				1,000
TOTAL (km)	4,095	5,926	2,051	6,829	0,794	20,695

Fuente: *Elaboración propia*

3.3 Estado técnico de los caminos mineros en la ECG

Para el cumplimiento del transporte y el traslado de los diferentes equipos mineros, se tiene en cuenta el estado técnicos de los caminos, puesto que esta condición influyó en varios factores para el cumplimiento de las actividades como son: la velocidad de desplazamiento, el tiempo, la rodadura, el coeficiente de fricción, por

tanto las condiciones de los caminos es esencial para la realización de las operaciones, además de incidir en el mantenimiento de los equipos que pueden dañarse a causa de las condiciones técnicas del camino. En la tabla 3.2 se enuncian las condiciones técnicas de los diferentes caminos ubicados en los yacimientos de explotación.

Tabla 3.2 Estado técnico de los caminos mineros por yacimientos que se explotan en la UBMinera.

Yacimientos	Estado de los Caminos Principales			Estado de los Caminos Secundarios		
	Bueno	Regular	Mal	Bueno	Regular	Mal
Camarioca Este			x			x
Yagrumaje Sur		x				x
Yagrumaje Norte	x			x		
Punta Gorda	x				x	

Fuente: *Elaboración propia*

El estado técnico deficiente de los caminos mineros, calificados de malos, se encuentra en fase de construcción y no existe circulación de equipos por los mismos, la condición de estos es valorada como camino secundario para lograr la planificación en el yacimiento Camarioca Este.

Los caminos catalogados en condición regular, son aquellos que tienen problemas en las cunetas, drenajes, compactación y canarreos.

Los clasificados de buen estado técnico tienen las condiciones fundamentales para realizar la transportación.

3.4 Estado técnico de los equipos para la construcción y mantenimiento de caminos en la ECG

Para la construcción y mantenimiento de los caminos mineros utilizados en la UBMinera, se disponen de un equipamiento especializado, los mismos se encuentran

en mal estado técnico debido al tiempo de explotación, alrededor de cinco años, por lo que la mayoría están paralizados, unas de las causas fundamentales es la falta de suministro de piezas de repuesto, en relación a los equipos propios, reflejados en la tabla 3.3. Por lo que, a partir del año 2018 se adquirió un arrendamiento de equipos para garantizar los trabajos de mantenimiento, reparación y construcción de los caminos mineros, la disponibilidad técnica de estos últimos se refleja en la tabla 3.4.

Tabla 3.3 Comportamiento de la disponibilidad técnica del equipamiento minero básico (medios propios).

Equipos fundamentales	Acumulado					
	Parque	Estado	Causas	Plan (%)	Real (%)	Cumplimiento (%)
Cisternas para agua	1	Buena		71,67	50,12	69,94
Motoniveladoras	3	1 Buena y 2 malas	Motor	66,67	0,0	0
Compactadores vibratorios	3	3 Malos	Motor	60	0,0	0
Buldócer sobre esteras	14	3 Buenos y 11 malos	Motor y Piezas	29,20	21,53	48,44
Camión Articulado	9	3 Buenos y 6 malos	Piezas	75	79,73	106
Retroexcavadora hidráulica	6	1 Buena y 5 malas	4 motor y 1 reductor	38,7	27,77	71,76

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4 Comportamiento de la disponibilidad técnica del equipamiento minero auxiliar (Leasing).

Equipos Fundamentales	Acumulado					
	Parque	Estado	Causas	Plan (%)	Real (%)	Cumplimiento (%)
Cisternas para agua	2	Buena		83,33	99,07	118,89

Motoniveladoras	2	Buena		83,33	96,09	115,31
Compactadores vibratorios	2	3 Malos	Motor	83,33	99,29	119,15
Buldócer sobre esteras	x	x	x	x	x	x
Camión Articulado	27	25 Buenos y 2 malos	Completa miento mecánico	75	79,73	106
Retroexcavadora hidráulica	6	Buena	x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.3, se observa la disponibilidad técnica del equipamiento propio de la UBMinera, el cual no satisface según la planificación realizada, para los trabajos de construcción y mantenimiento de los caminos mineros. Entre los principales causales se encuentran:

- Falta de piezas de repuesto
- Deficiente servicio de postventa.
- Averías por violación de las normas de explotación.
- Deficiente política de reemplazo que incide negativamente en el cumplimiento de la disponibilidad técnica.

3.5 Estado técnico y especificaciones técnicas de los equipos de transporte y carga de la masa minera

El transporte de masa minera en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara de los cuatro yacimientos concesionados (Punta Gorda, Yagrumaje Norte, Yagrumaje Sur y Camarioca Este), se realiza en un 95 % con camiones articulados adquiridos mediante la opción de arrendamientos.

Estos equipos realizan las prestaciones de los servicios según las especificaciones técnicas, relacionadas en los catálogos de los fabricantes, que se enuncian en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Especificaciones técnicas del equipo de transporte.

Camión articulado	Estado	Cantidad		Plan	Real	Cumplimiento		
	Bueno	27		83,33	92,13	109,04		
	Capacidad de carga	Potencia del motor	Ancho	Altura	Longitud	Ø de giro	Tracción	Consumo de combustible
23 m ³	309 kW	3,43 m	3,74 m	11,3 m	45	6x6	22.07 l/h	

Fuente: *Elaboración propia*

Para el cumplimiento de la producción en base a su objeto social, que es la carga y transporte de la masa mineral, desde los yacimientos hasta los depósitos ubicados en la UBMinera y el traslado de los escombros hacia la construcción de las escombreras, depende del estado técnico que presentan los vehículos.

3.6 Determinación del peralte y la velocidad promedio a partir del radio de curvatura de los caminos

Los caminos en la UBMinera se encuentran distribuidos por los diferentes yacimientos que se explotan por la ECG, estos se anuncian en Tabla 3.1 de este capítulo, los mismos se clasifican en principales y secundarios. Estos se dividen por cada uno de los yacimientos y además se puede observar en el Anexo n°1.

Estos caminos presentan tramos rectos y curvos, donde estos últimos son los que más influyen en el cumplimiento de la productividad de los equipos de carga y transporte del mineral laterítico, en torno al derrame de la carga y mantener la velocidad promedio que regula el comportamiento de los equipos mencionados.

El peralte de las curvas, se determina en función del radio de las mismas, para que a la velocidad de diseño no se produzca el derrame de la carga; la condición es que la aceleración centrífuga sea anulada por el peralte, es decir no considerar el coeficiente de adherencia de los neumáticos con el pavimento en los cálculos, esta condición también asegura que el camión no se salga del carril cuando llueve.

En las tablas siguientes, se obtienen las velocidades medidas por la fotografía de trabajo y por regulaciones especificadas para que se anule la fuerza centrífuga y no se produzca derrame de la carga, para diferentes relaciones entre el radio de la curva y el peralte.

En la tabla 3.6, se observa los diferentes tramos de curvatura teniendo en cuenta que el yacimiento Camarioca Este solo posee en construcción caminos con designación secundaria, por tanto por especificaciones topográficas se tiene el radio de curvatura y se determina el peralte, fijando así, además de las mediciones realizadas la velocidad promedio que debe presentar el equipos de transporte.

Tabla 3.6 Velocidades promedio teniendo en cuenta el peralte y el radio de curvatura de los caminos mineros en el yacimiento Camarioca Este

Radio de curvatura (m)	Camino principal	Camino secundario	Peralte (%)	Velocidad promedio (km/h)
40		X	9	18,7
50		X	6	19,6
70		X	2	13,81
60		X	8	24,9
80		X	4	20,89

Fuente: Elaboración propia

En la tabla siguiente se exponen los valores del radio de curvatura para los tramos de camino en el yacimiento Punta Gorda, de igual manera que el caso anterior se determinan los valores de peralte y velocidad promedio, en el caso particular se dividen el cálculo de los parámetros porque existen designaciones de caminos principales y secundarios.

Tabla 3.7 Velocidades promedio teniendo en cuenta el peralte y el radio de curvatura de los caminos mineros en el yacimiento Punta Gorda

Radio de curvatura (m)	Camino principal	Camino secundario	Peralte (%)	Velocidad promedio (km/h)
40	X		8	20,2
50	X		9	23,9
60	X		10	27,6
60	X		7	23,1
70	X		9	28,3
40		X	8	20,2
50		X	7	21,1
70		X	7	24,9
80		X	8	28,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.8, de igual manera que el caso Punta Gorda, se establece el cálculo de los parámetros y de igual manera para la clasificación de caminos principales y secundarios.

Tabla 3.8 Velocidades promedio teniendo en cuenta el peralte y el radio de curvatura de los caminos mineros en el yacimiento Yagrumaje Norte

Radio de curvatura (m)	Camino principal	Camino secundario	Peralte (%)	Velocidad promedio (km/h)
50	X		9	23,9
60	X		7	23,1
70	X		7	24,9
70	X		9	28,3

80	X		7	26,7
80	X		8	28,5
100	X		6	27,6
100	X		7	29,8
40		X	6	17,5
50		X	6	19,5
50		X	7	21,1
60		X	7	23,1
70		X	7	24,9
80		X	7	26,7

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.9, para el yacimiento Yagrumaje Sur, se determinan los parámetros para los tramos de los caminos secundarios solamente, ya que no presenta caminos principales.

Tabla 3.9 Velocidades promedio teniendo en cuenta el peralte y el radio de curvatura de los caminos mineros en el yacimiento Yagrumaje Sur.

Radio de curvatura (m)	Camino principal	Camino secundario	Peralte (%)	Velocidad promedio (km/h)
50		X	8	22,5
50		X	9	23,9
80		X	7	26,7
80		X	8	28,5
90		X	6	26,2
90		X	7	28,3

Fuente: Elaboración propia

En la presente tabla, se exponen los parámetros determinados de igual manera para los tramos de los caminos secundarios que presenta el yacimiento de Yagrumaje Oeste.

Tabla 3.10 Velocidades promedio teniendo en cuenta el peralte y el radio de curvatura de los caminos mineros en el yacimiento Yagrumaje Oeste.

Radio de curvatura (m)	Camino principal	Camino secundario	Peralte (%)	Velocidad promedio (km/h)
30		X	7	16,3
30		X	8	17,5
40		X	8	18,9
50		X	8	22,5
60		X	9	26,2

Fuente: Elaboración propia

3.7 Determinación de los indicadores técnicos productivos de los equipos de carga y transporte

Los indicadores técnicos productivos son los parámetros guías para establecer el comportamiento de los equipos que laboran en la producción, a partir de los mismos se realiza la planificación de la explotación de los equipos y también la evaluación durante la realización de los diferentes trabajos del laboreo minero.

En la tabla 3.11, se expresan los valores obtenidos de la productividad horaria teniendo en cuenta las condiciones constructivas de los caminos mineros de la UBMinera, estos valores de productividad se relacionan de igual manera con la distancia que deben de cumplir los equipos de carga y transporte del mineral en los frentes de carga, y en los depósitos.

Tabla 3.11 Productividad a obtener con camiones articulados.

Distancia de transporte	Productividad camiones de transporte minero (frentes)						Distancia de transporte	Productividad camiones de transporte minero (depósitos)			
	Buen estado caminos		Regular estado caminos		Mal estado caminos			Buen estado caminos		Mal estado caminos	
(km)	t/h	t/turno	t/h	t/turno	t/h	t/turno	(km)	t/h	t/turno	t/h	t/turno
1	110,3	1323,6	98,1	1177,1	89,1	1069,3	0,5	112,1	1345,2	103,25	1239,04
1,5	90,2	1082,9	78,3	939,8	69,9	838,5	0,8	89,0	1067,9	80,22	962,68
2	76,4	916,3	65,2	782,1	57,5	689,6	1,2	69,8	837,6	61,83	742,01
2,5	66,2	794,1	55,8	669,7	48,8	585,7	1,5	60,1	721,0	52,76	633,15
3	58,4	700,7	48,8	585,6	42,4	508,9	2	48,8	585,2	42,40	508,76
3,5	52,2	627,0	43,4	520,2	37,5	450,0					
4	47,3	567,2	39,0	468,0	33,6	403,3					
4,5	43,2	517,9	35,4	425,3	30,4	365,3					
5	39,7	476,5	32,5	389,7	27,8	333,9					
5,5	36,8	441,2	30,0	359,7	25,6	307,5					
6	34,2	410,8	27,8	333,9	23,7	284,9					

Fuente: Elaboración propia

Como se establece la productividad, también es necesario conocer el índice de disponibilidad de los equipos para poder planificar las diferentes operaciones del laboreo minero, en el caso particular de los camiones articulados se determinan este índice dividido por los trimestres de trabajo y por la planificación mensual, a partir de las horas hábiles y las horas disponibles establecidas por mantenimiento, según se expresa en la ecuación 2.7.

En los gráficos siguientes es posible observar que el trimestre de mayor nivel de disponibilidad para estos equipos es el último trimestre del presente año, derivado a la correcta planificación del mantenimiento y explotación que se realizó para su

funcionamiento durante el desarrollo de las diferentes actividades en el laboreo minero, el 2do trimestre es el de menor índice de disponibilidad, los principales causales están originados debido a que en los meses de este trimestre ocurrieron fallas en los equipos y esta situación incremento las acciones de mantenimiento por reparación y correctivas .

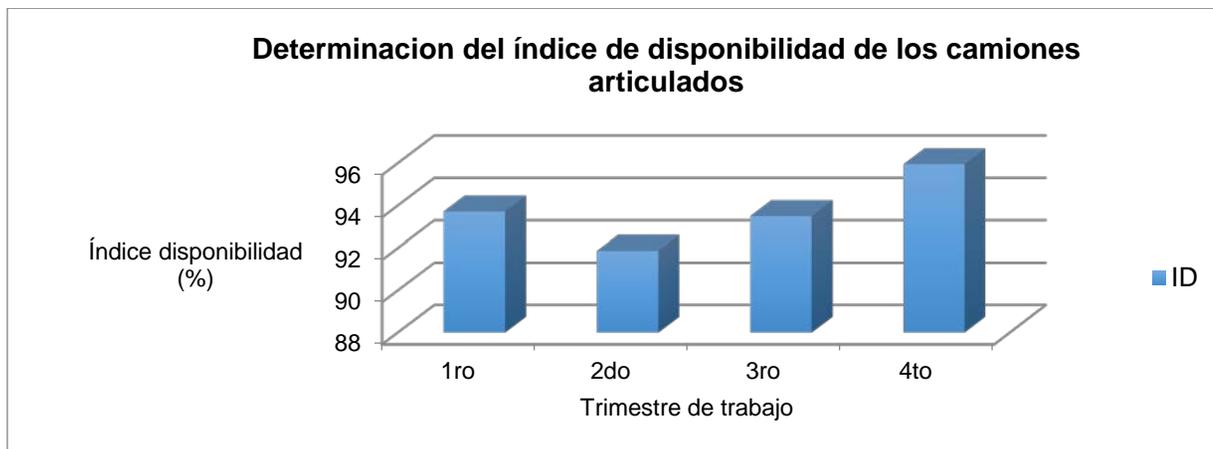


Figura 3.1 Índice de disponibilidad de los camiones articulados por trimestres de trabajo

En cuanto al comportamiento mensual, octubre presenta mayor nivel de horas disponibles, por la razón de la planificación del mantenimiento de estos equipos y las actividades mineras que se planificaron para los mismos, el mes de mayo tiene menor disponibilidad originado por los continuos mantenimientos del tipo de reparación y correctivos ocasionados por la aparición de fallos derivados a la explotación y al clima imperante en mencionado mes.

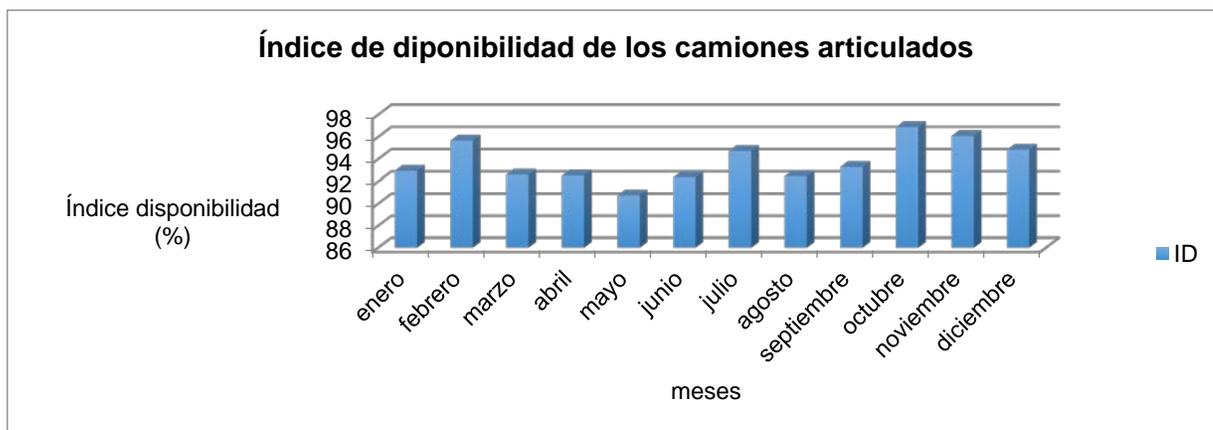


Figura 3.2 Índice de disponibilidad de los camiones articulados por meses

El índice de utilización como se encuentra relacionado directamente con las horas efectivas, es determinado por la ecuación 2.8. Se puede observar que el primer trimestre del año 2018, porcentualmente tiene mayor valor, ya que en el mismo se aprovecharon de manera efectiva las horas disponibles y se realizaron los trabajos planificados en la producción, tanto en la extracción del mineral como en el escombreo. Estos valores se muestran en el grafico 3.3.

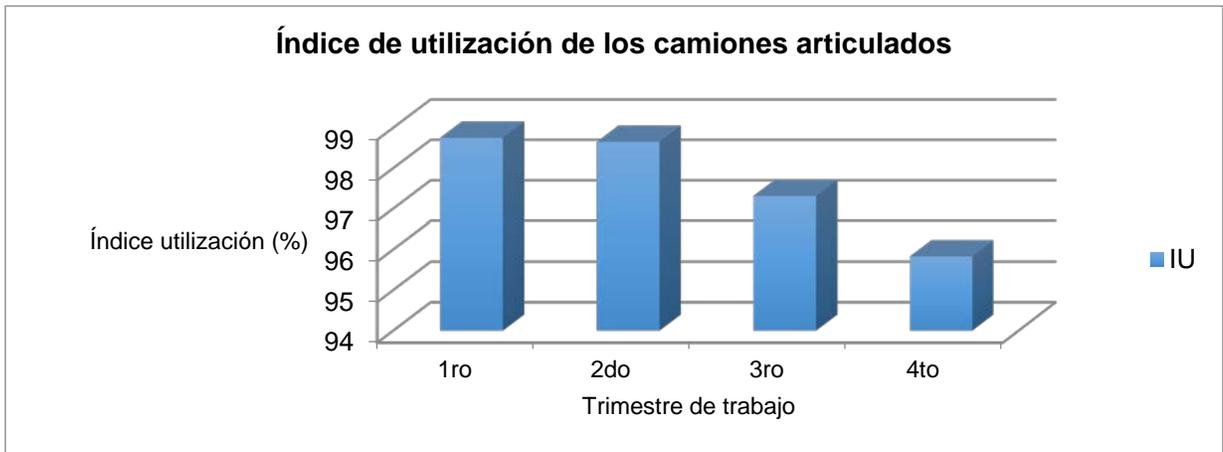


Figura 3.3 Índice de utilización de los camiones articulados por trimestres

Este indicador analizando su comportamiento desde el punto de vista mensual, se puede expresar que se aprecia estabilidad relativa en cuanto al funcionamiento y utilización de los equipos de transporte y carga, aunque en los meses del último trimestre se denotan valores más bajos de utilización de los mismos.

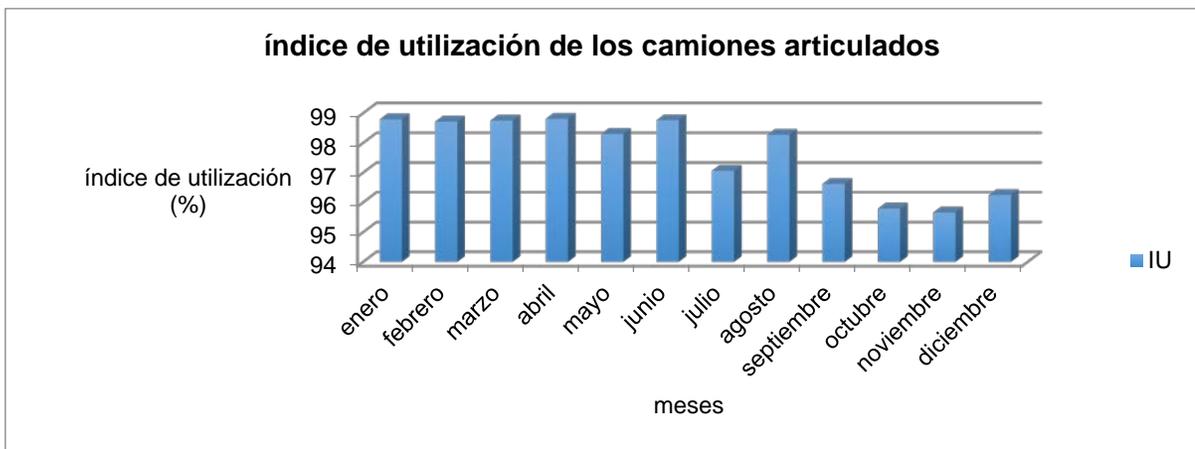


Figura 3 4 Índice de utilización de los camiones articulados por meses

La productividad es el indicador que manifiesta el rendimiento de los equipos, a partir de la producción obtenida y las horas efectivas que se utilizan los mismos, este indicador se determina por la ecuación 2.9. En el gráfico 3.5 se analiza el comportamiento de la productividad horaria lograda por los equipos de carga y transporte donde se puede observar que el primer trimestre presenta mayor valor originado por la cantidad de horas que se utilizaron los equipos, además del movimiento de mayor volumen del mineral hacia los depósitos y mayor volumen de escombro hacia las escombreras situadas y planificadas en los yacimientos lateríticos. El menor trimestre es el cuarto coincidiendo con el índice de utilización, ya que en este último se aprovecharon menos las horas efectivas para mover el mineral laterítico hacia las escombreras y los depósitos.

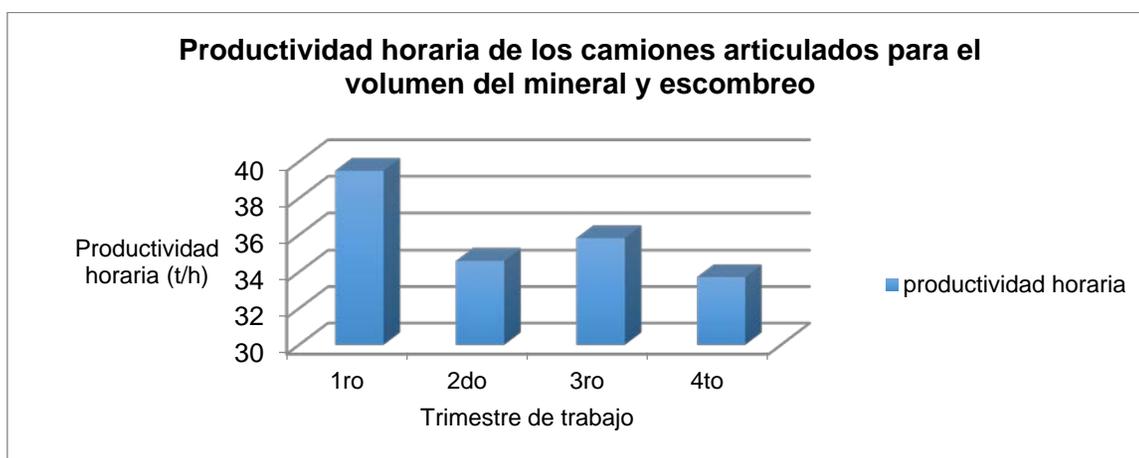


Figura 3.5 Productividad horaria de los camiones articulados por trimestres

3.8 Influencia del estado técnico del equipamiento en el cumplimiento del objeto social de la Unidad Básica Minera

1. Violación de la planificación minera en cuanto a:

- Porcentaje de participación de los yacimientos planificados.
- Incumplimiento de los volúmenes de masa minera.

2. Afectación al rendimiento de los equipos mineros por:

- Insuficiente conformación de: las plazoletas de los frentes mineros, de las escombreras,

- Deficiente compactación y mantenimiento de los viales
- Insuficiente ejecución de los trabajos de drenaje.

3. Violación de la relación entre la minería y la rehabilitación minera por:

- Falta de zona preparadas para la reforestación.
- Cumplimiento de los planes de rehabilitación minera en cuanto a terraceo, conformación de diques y de embalses para agua.

3.9 Fotografía del horario laboral de los camiones articulados Volvo A45G

La normación técnica para el transporte de mineral es imprescindible para la planificación y el control de la producción de los camiones, pero para normar todos los frentes donde varían con frecuencia las condiciones de las vías, las distancias de transportación y el modelo de los camiones, estos factores que influyen en la productividad horaria de los equipos de transporte, tanto en los parámetros técnicos de los camiones como en la organización del trabajo, que permite determinar la productividad horaria para cualquier distancia de transportación en rangos de pendientes del 0 - 5 % y de 6 –10 % para los camiones articulados marca VOLVO modelo A-45G, en las condiciones más frecuentes de organización del turno.

Con el uso de estas normas se puede determinar la productividad horaria en cualquier situación en los yacimientos en explotación.

3.9.1 Fotografía de la jornada laboral de los camiones articulados en las labores de minería

En el caso de estudio en particular, se seleccionaron los camiones articulados que laboraron en dos turnos de trabajo desde el frente de carga hasta los depósitos del mineral laterítico, de acuerdo con la metodología que emplea la ECG para la determinación de los tiempos de trabajo de los mismos con el objetivo de determinar los tiempos productivos y el aprovechamiento de la jornada de trabajo.

En la tabla 3.12, se expresan los principales tiempos de trabajo de los camiones articulados para dos turnos de trabajo y así determinar las productividad de los mismos a partir de los tiempos productivos.

Tabla 3.12 Productividad para el camión Volvo A-45 G promedio para los dos turnos(primer caso).

Trabajos a medir por la fotografía	Tiempos (s)
Tiempo de carga	175
Maniobra de carga	30
Descarga	39
Maniobra de descarga	25
Sub Total	269
Limpieza de tolva	51
Limpieza de volteo	36
Medición y revisión corte	14
Sub total	134
Total TF	403
Repostado con combustible	10 min
Revisión, cambio de chofer	10 min
Merienda y necesidades personales	30 min
Revisión MTD	21 min
Total	71 min

Fuente: Elaboración propia

Con los tiempos productivos obtenidos mediante la metodología de la fotografía de trabajo, empleando un coeficiente de utilización de la jornada laboral $K_h = 0.85$, entonces se alcanza una productividad para estos equipos de $P = 37,72$ t/h para la minería en dos turnos de trabajo.

En la tabla 3.13, se toma como caso de estudio la medición de los tiempos productivos de los camiones articulados que laboran en las actividades de la minería

desde el frente de carga hasta los depósitos, en este caso solamente se midieron los tiempos de un turno de trabajo.

Tabla 3.13 Productividad para el camión Volvo A-45 G en un turno (segundo caso).

Trabajos a medir por la fotografía	Tiempos (s)
Tiempo de carga	175
Maniobra de carga	30
Descarga	39
Maniobra de descarga	25
Sub Total	269
Limpieza de tolva	51
Limpieza de volteo	36
Medición y revisión corte	0
Limpieza del cargadero	33
Sub total	120
Total TF	389
Repostado con combustible	10 min
Revisión, cambio de chofer	10 min
Merienda y necesidades personales	30 min
Revisión MTD	0 min
Total	50 min

Fuente: Elaboración propia

En este caso con los tiempos obtenidos para la realización de la minería, pero solamente en un turno de trabajo con el empleo de la metodología de la fotografía de trabajo, empleando un coeficiente de utilización de la jornada laboral $K_h = 0.85$,

entonces se alcanza una productividad para estos equipos de $P = 39,49$ t/h para la minería.

Esta metodología de medición para obtener la fotografía de trabajo en los equipos de carga y transporte de mineral laterítico que se empleó en la minería, se utiliza de igual manera para estos cuando realizan las labores de escombreo. En la tabla 3.14 se reflejan los resultados de los tiempos productivos de los equipos de carga y transporte para las labores de escombreo con la especificación de una velocidad promedio de estos equipos de 12 km/h, para condiciones normales de trabajo.

Tabla 3.14 Tiempos fijos para una velocidad de 12 km/h.

Trabajos a medir por la fotografía	Tiempos (s)
TMC: Tiempo de maniobra para acomodarse en el cargadero	35
TMD: Tiempo de maniobra para descargar en la escombrera	40
TB: Tiempo de basculado en la escombrera y bajar el volteo	50
TC: Tiempo de carga a cuatro cubos	140
TE: Tiempo de espera por no sincronismo de los ciclos	50
TEPF: Tiempo distribuido de espera para preparar el frente de trabajo	20
TF: Total de los tiempos fijos	335

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15 Productividad horaria para una velocidad de 12 km/h a diferentes distancias de las escombreras.

No.	Distancia (km)	Productividad horaria (m ³ /h)
1	1	73,61
2	0,75	85, 71
3	0,5	108

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.16 se exponen los resultados de las recomendaciones que se realizan para un aprovechamiento óptimo del turno de trabajo durante estas labores de escombreo.

Tabla 3.16 Utilización aproximada del turno.

Actividades reguladas en la fotografía	Tiempos (mntos)
Almuerzo	60
Merienda	30
Cambio de turno	10
Traslado al frente de trabajo	5
Repostando con combustible de la retroexcavadora	20
Repostando con combustible de los camiones	30
Revisión técnica de las retroexcavadora(distribuida)	10
Necesidades personales	15
Totales	180

Fuente: Elaboración propia

Tenemos que en el turno los camiones se mantienen sin transportar escombros durante tres horas lo que significa un aprovechamiento del turno de sólo el 75% .

$$At = 0.75$$

Con ese aprovechamiento las productividades para el turno, en los escenarios de distancias que se dan a continuación serían las siguientes:

Tabla 3.17 Aprovechamiento de la jornada laboral.

No.	Distancia (km)	Productividad horaria (m ³ /h)
1	1	54,98
2	0,75	64,28

3	0,5	81,04
---	-----	-------

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.18 se aplica la metodología para determinar la fotografía de trabajo en las labores de escombreo pero en el caso en particular es para una velocidad promedio de 18 km/h en condiciones normales de trabajo para el traslado de los escombros hacia las escombreras diseñadas en los frentes de carga.

Tabla 3.18 Tiempos fijos para una velocidad media de 18 Km/h.

Trabajos a medir por la fotografía	Tiempos (s)
TMC: Tiempo de maniobra para acomodarse en el cargadero	30
TMD: Tiempo de maniobra para descargar en la escombrera	20
TB: Tiempo de basculado en la escombrera y bajar el volteo	50
TC: Tiempo de carga a cuatro cubos	140
TE: Tiempo de espera por no sincronismo de los ciclos	53
TEPF: Tiempo distribuido de espera para preparar el frente de trabajo	20
TF: Total de los tiempos fijos	313

Fuente: Elaboración propia

Con estos tiempos establecidos es posible determinar la productividad horaria de los equipos teniendo en cuenta las distancias a que se encuentran ubicadas las escombreras con una velocidad promedio de desplazamiento de 18 km/h, estos valores ubicadas en la tabla 3.19.

Tabla 3.19 Productividad para una velocidad de 18 km/h.

No.	Distancia (km)	Productividad horaria (m ³ /h)
1	1	96,06
2	0,75	111,74

3	0,5	133,6
---	-----	-------

Fuente: *Elaboración propia*

En la tabla 3.20 se exponen los resultados de las recomendaciones que se realizan para un aprovechamiento óptimo del turno de trabajo durante estas labores de escombreo.

Tabla 3.20 Utilización aproximada del turno.

Actividades reguladas en la fotografía	Tiempos (mntos)
Almuerzo	60
Merienda	20
Cambio de turno	10
Traslado al frente de trabajo	5
Repostando con combustible de la retroexcavadora	00
Repostando con combustible de los camiones	30
Revisión técnica de las retroexcavadora (distribuida)	10
Necesidades personales	15
Totales	150

Fuente: *Elaboración propia*

Tenemos que en el turno los camiones se mantienen sin transportar escombros durante 2.5 horas lo que significa que un aprovechamiento del turno pasaría de sólo el 75% al 79%.

$$At = 0.79$$

Con ese aprovechamiento las productividades para el turno, en los escenarios de distancias que se dan a continuación serían las siguientes:

Tabla 3.21 Aprovechamiento de la jornada laboral.

No.	Distancia (km)	Productividad horaria (m ³ /h)
1	1	75,98
2	0,75	88,4
3	0,5	105,67

Fuente: Elaboración propia

El otro gran problema que presenta la actividad minera es la falta de buldócer, lo cual se agrava con la descarga desordenada de los camiones en las escombreras ya que obligan a acarrear el material a una distancia tres o cuatro m mayor que la necesaria creándose un círculo vicioso que siempre exige más equipos para explanar el escombro. Sin embargo con un chequeador que organice la descarga y forme las escombreras de acuerdo con el pasaporte se puede ahorrar hasta el 75% del trabajo del buldócer en la escombrera, por lo que con un solo buldócer se puede: dar mantenimiento al camino, eliminar los canarreos en las escombreras.

3.10 Valoración económica

Tabla 3.22 Gastos originados por salarios Gs.

Puesto de trabajo	Cantidad Operadores	Salario mensual(\$/mes)	Tiempo de trabajo(meses)	Salario total (\$)
Operador Buldócer	6	522,21	12	37599,12
Operador Motoniveladora	2	515,49	12	12371,76
Operador Compactador	3	449,94	12	16197,84
Operador Retroexcavadora	1	502,97	12	6035,64
Operador Camión	3	535,74	12	19286,64

articulado				
Total	15	2526,35	60	91 491

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23 Gastos por concepto de depreciación Gd

Equipos	Cantidad Equipos	Valor inicial (\$)	Vida útil (años)	Depreciación (\$/año)
Motoniveladora	2	125 386,36	10	2 507 727,2
Compactador	3	81 818,18	10	245 454, 54
Retroexcavadora	1	764 246,59	10	7 642 465,9
Camión articulado	3	478 620,00	10	143 586,00
Total	9	1 450 071,13	40	26 963 338,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24 Gastos por concepto de combustible Gc

Equipos	Cantidad Equipos	Consumo horario (l/hora)	Hora de operación (h)	Precio del litro (USD)	Costo total(\$/año)
Bulldozers	6	38,41	121 251	0,80	22 354 833,9
Motoniveladora	2	18,41	121 251	0,80	3 571 574,17
Compactador	3	18	121 251	0.80	5 238 050,11
Retroexcavadora	1	45,28	121 251	0.80	52 652 110,37
Camión	3	22,95	121 251	0.80	6 678 513,89
Total	15	143,05	606 255	4	43 108 182,4

Fuente: Elaboración propia

Gastos directos

$$G_d = G_s + G_d + G_c \quad (3.1)$$

$$G_d = 91\,491 + 26\,963\,338,5 + 43\,108\,182,4$$

$$G_d = 70\,163\,011,9 \text{ \$/año}$$

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

3.11 Seguridad minera

Medidas de seguridad en la mina

Las medidas de seguridad y parámetros técnicos que deben cumplirse en la mina, sobre la base de los artículos del 607 - 627, son las siguientes:

- La berma de seguridad debe tener no menos de tres cuartas ($\frac{3}{4}$) partes de la altura de la llanta más grande de los vehículos que circulan por los caminos mineros.
- No se permite realizar trabajos de arranque en un escalón o banco que no disponga de la plataforma de trabajo o las condiciones necesarias para ejecutar la evacuación segura del material arrancado.

Prohibiciones durante el trabajo con los camiones, según los artículos 635, 636 y 637.

- Ponerlos en movimiento con la caja de volteo levantada.
- Moverlos en marcha atrás, hacia el punto de carga a una distancia mayor de 30 m (con excepción de los movimientos en las trincheras).
- Transportar personas en el volteo y en la cabina.
- Dejar los camiones en las cuestas y pendientes.

- Realizar transporte de material que pueda caerse sin tomar las medidas para su debido aseguramiento.
- Sobrepasar su capacidad de carga.
- Cuando en un terreno inclinado resulte obligada la parada de un camión por deficiencias técnicas, se adoptan las siguientes medidas:
 - Desconectar el motor.
 - Frenar el equipo.
 - Colocar topes o calzos bajo las ruedas. Todos los equipos estarán provistos de dos topes adecuados.
- Cuando la parada por deficiencias técnicas tenga lugar dentro del radio de acción de la cuchara de la retroexcavadora, se adoptan las siguientes medidas:
 - Avisar de inmediato al operador para que detenga el funcionamiento de la misma.
 - Proceder a la retirada del equipo de la zona a la mayor brevedad posible.

CONCLUSIONES

1. Los caminos mineros de la UBMinera se encuentran divididos por caminos principales y secundarios, de ellos el yacimiento Camarioca Este tiene 2,051 km de caminos secundarios con categoría en mal estado. Yagrumaje norte con 4,095 km entre secundarios y principales con categoría buen estado para ambos caminos. Yagrumaje sur con 5,926 km entre ambos caminos y con categoría de regular para los principales y mal para los secundarios. Punta gorda presenta 6,829 km en general, de ellos los principales en estado bueno y los secundarios en regular.
2. Para las operaciones de minería se obtiene un tiempo general para la realización de las actividades de acuerdo con la fotografía de trabajo de 403 min como tiempo fijo para obtener una productividad de 37,72 t/h, para dos turnos de trabajo; para el caso de un turno de trabajo, un tiempo fijo de 389 min con una productividad= 39,49 t/h.
3. Las operaciones de escombreo se obtienen tiempos productivos de 335 min y productividades variables por distancias de 73,61 hasta 108 m³/h para velocidad promedio de 12 km/h y tiempos productivos de 313 min y productividades variables de 96,06 hasta 133,6 m³/h para velocidad promedio de 18 km/h.
4. Se obtiene productividad horaria de 39,5 t/h en relación al índice de utilización de los camiones articulados de 98,75 %; en el primer trimestre de trabajo de estos equipos.
5. Los gastos totales de los equipos pertenecientes a la brigada de caminos y equipos contratados estos equipos, por concepto de combustible, salario y depreciación tiene un total de 70 163 011,9 \$/año teniendo en cuenta 121 251 horas de operación de estos equipos.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un planificado, programado y priorizado mantenimiento para obtener el rendimiento óptimo y un costo total mínimo en toda la red de caminos.
2. Mejorar el estado técnico de los caminos mineros en los diferentes yacimientos para un buen cumplimiento del transporte y el traslado de los diferentes equipos mineros.

BIBLIOGRAFÍAS CONSULTADAS

1. Barreto. (2008). *Criterios de selección y reemplazamiento de equipos para la construcción de accesos y plataforma en la zona de San Antonio*. Yauli-Junin.
2. Conde. (2011). *Diseño de caminos mineros empleando AutoCad Civil 3D*. Tesis, ISMM, Moa.
3. Cuba. (2008). *Perfeccionamiento de la transportación de la masa minera en empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Tesis, ISMM, Mecánica, Moa.
4. (2004). *Equipos de construcción en obras viales*. Trabajos de explanación en obras viales, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de tecnología de la construcción.
5. Gracious. (2017). *Metodología para la determinación de los indicadores técnico-productivos de los equipos de transporte automotor en la minería del Níquel*. Tesis, ISMM, Minería, Moa.
6. León. (2007). *Análisis de la productividad de los camiones*. ECG, Técnico, Moa.
7. León. (2015). *Fundamentación de equipos mineros*. Inversiones, empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Moa.
8. León. (2013). *Passaporte de caminos mineros*. empresa Comandante Ernesto Che Guevara , Moa.
9. León. (2013). *Procedimiento para la realización de caminos mineros*. empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Moa.
10. Lores. (2017). *Evaluación de los indicadores de rendimiento de los equipos de excavación - carga*. Tesis, ISMM, Mecánica, Moa.

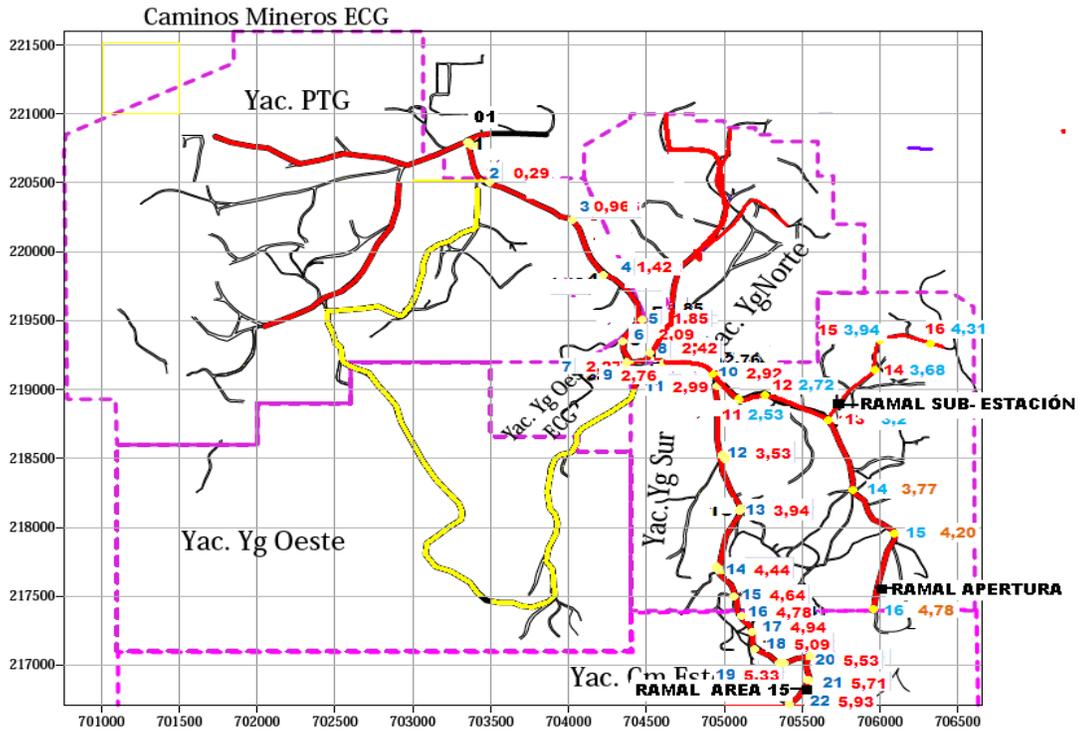
11. Marinovich. (2016). *Influencia del mantenimiento de las vías sobre la productividad del proceso de acarreo en el minado del tajo pampa verde, minera la Zanja-Cajamarca*. Trujillo, Peru.
12. Mata, D. (2017). *Evaluación del ciclo de trabajo de los equipos mineros excavación - carga marca XCMG de la UBMECG*. Tesis, ISMM, Minería, Moa.
13. Musekiwa. (2013). *Influencia de los viales en la productividad de los camiones en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Tesis, ISMM, Minería, Moa.
14. Nelson , & Jaime. (2001). *Mejoramiento de caminos y accesos minera escondida*.
15. Oliveros. (2015). *Evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación del transporte automotor minero empleado en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Tesis, ISMM, Moa.
16. Penehafo. (2015). *Proyecto de apertura de un frente de trabajo al oeste del yacimiento Victoria II*. Tesis, ISMM, Minería, Moa.
17. Santiago. (2012). *Procedimiento para el cálculo de las retroexcavadoras para determinar los diferentes ciclo de trabajo*. Tesis, ISMM, Moa.
18. Sipán. (2013). *Drenaje de caminos*. Revista.
19. Téllez. (2012). *Procedimiento para el diseño geométrico de caminos mineros con el Software AutoCad Civil 3D*. Tesis, ISMM, Moa.
20. Thompson. (2012). *Diseño, construcción y mantenimiento de los caminos de la mina*.
21. Villalobos. (2017). *Diseño y construcción de camino, rampas em minería superficial*. Cusco, Peru.

22. Villanueva. (2015). *Diseño geométrico de caminos de acarreo para la mina de fosfatos* . Bayóvar.

23. Yaritzá. (2018). *Construcción de la superficie*. Asignatura, ISMM, Minería, Moa.

ANEXOS

Anexo 1 Distribución de los caminos en los diferentes yacimientos.



Anexo 2 Causas naturales que afectan en el deterioro de los caminos



Anexo 3 Estado de los frentes mineros en época de lluvias

