



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO – METALÚRGICO DE MOA
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD DE GEOLOGÍA – MINERÍA
DEPARTAMENTO DE MINERÍA

TRABAJO DE DIPLOMA
EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO DE MINAS

Título: Influencia de los viales en la productividad de los camiones en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Autor: Joel Zvikomborero Musekiwa

Tutores: M Sc. Yoandro Diéguez García

Moa, 2013
“AÑO 55 DE LA REVOLUCIÓN”



Declaración de autoridad:

Yo **Joel Zvikomborero Musekiwa**, autor del presente trabajo, certifico la propiedad intelectual a favor del ISMM y a la Facultad de Geología y Minería del mismo Instituto los cuales podrán hacer uso del mismo con la finalidad que estimen conveniente.

El estudiante: **Joel Zvikomborero Musekiwa**,

Tutor: **M Sc. Yoandro Diéguez García**

Empresa: **Ing. Aliomar Pérez Sánchez**



Dedicatoria:

Dedico mi trabajo a mi familia, a mi mujer Yadira, mi hijo Cristian, mi hermana Aluska, mis sobrinos, Tendaicito y Dailivi, y mis hermanos y hermanas de otra madre y todos las personas dedicadas al desarrollo de la ciencia .



Agradecimiento

Quiero agradecer a mi mamá, mi papá, mis hermanos y hermanas, mis hermanos de otra madre, Edwin, Diablo Luis, Lucky (my homie), Chino, Diablo Luis, Jeez, Tío, Mr. Bollywood, Ariel, José, Samora y los angolanos; y las hermanas mías, Helvi, Kaundu, Pombili, y las angolanas, que me han ayudado en todo lo que tuve que hacer en los 5 años que estuve en Moa, al amor de mi vida Yadira, mi tutor Yoandro, Aliomar en la ECG y todos los profesores que me han ayudado durante mi formación profesional.



Resumen:

En este trabajo se determinó la influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones en la Empresa Ernesto Che Guevara. Después de estudiar la actualidad del tema, y realizar una caracterización ingeniero-geológico de la zona del estudio, una caracterización minero técnico de los caminos y los equipos de carga y transporte, se determinó la productividad de los camiones en los caminos que transportan el mineral desde el frente H hasta la tolva según las limitaciones por velocidad por el reglamento de la mina, por los parámetros de los caminos y por el estado de los caminos antes y después del mantenimiento de los mismos, y se demostró que el mantenimiento de los caminos aumenta la productividad de los camiones, con un valor significativo.



Abstract:

In this work, the influence of the state of the roads in the productivity of the trucks used in the Company Ernesto Che Guevara was determined. After studying the topic, and characterizing geologically the area of study, and also after realizing a characterization of the roads and the equipment for transport, the productivity of the trucks was determined in the roads that transport the mineral from the mining front H until the chute according to the limitations by speed according to the regulations of the mine, by the parameters of the roads and by the state of the roads before and after the maintenance, it was determined that the maintenance of the roads increases the productivity of the trucks, with a significant value.



Índice:

Introducción.....	8
Problema científico:	9
Hipótesis:	9
CAPITULO I. Características ingeniero-geológicas de la zona de estudio.....	12
I.1. Ubicación geográfica del yacimiento.....	12
I.2. Descripción geológica de la región y del yacimiento.....	13
I.3. Hidrogeología.....	14
I.4. Hidrografía	15
I.5. Fisiografía	15
I.6. Clima.....	16
I.7. Humedad relativa de la región	17
I.8. Propiedades de las capas de los caminos	17
Capitulo II. Caracterización minero-técnica de los caminos mineros y del equipamiento de carga y transporte.	19
II.1. Introducción	19
II.2. División en sectores de los caminos	19
II.3. Parámetros de los equipos de carga - transporte y mantenimiento.	23
II.4. Evaluación del estado de mantenimiento de los caminos.....	26
II.5. Conclusiones	35
CAPÍTULO III. Determinación de las productividades de los camiones y análisis de los resultados.	36
III.1. Introducción	36
III.2. Confección del mapa de velocidades.....	36
III.3. Determinación de los tiempos de ciclo.....	41
III.4. Determinación de las productividades y análisis de los resultados.....	47
III.5. Conclusiones	51
Recomendaciones.....	52
Bibliografía	53
Anexos.	55



Introducción

Los caminos mineros, son las arterias por las que fluye la masa minera desde los frentes de arranque hasta la fábrica, los depósitos o las escombreras, razón por lo cual, a medida que estos sean construidos con calidad y se mantiene en tal estado, se aumentará la fluidez del transporte y consigo, la seguridad y la economía de la actividad minera. Se ha notado fluctuaciones en la productividad de los camiones en la empresa

Comandante Ernesto Che Guevara, con los valores mínimos registrados después de los días lluviosos, especialmente antes del mantenimiento de los caminos. A veces, por falta de equipos, los caminos se pasan un tiempo sin mantenimiento, provocando extremas deformaciones de los mismos. Tales deformaciones inhiben el control de los camiones y aumentan la resistencia al rodamiento de los neumáticos, disminuyendo la seguridad y eficiencia del flujo de los equipos de transporte. El problema de afectaciones en el flujo de equipos de transporte es tan antiguo como el descubrimiento de la rueda, sea por deformaciones provocadas por condiciones climáticas severas, por grandes pesos de los mismos equipos o por materiales de la construcción inadecuados, siempre tales deformaciones aumentan la resistencia al rodamiento de los neumáticos, y como consecuencia, disminuyen las velocidades alcanzadas por los equipos. Además estas deformaciones crean un ambiente de trabajo incómodo e inseguro por el alto riesgo de pérdida de control de los vehículos en caminos en mal estado.

Autores como Badillo y Rodríguez (1974); Sowers y Sowers (1976), han probado que un aumento en el coeficiente de adhesión para cualquier superficie aumenta la velocidad del equipo por una disminución de la resistencia al rodamiento, razón por lo cual realizaron varios trabajos para establecer criterios para la selección de los materiales con las mejores propiedades de adhesión e impermeabilidad como un modo de mantenimiento preventivo de las carreteras y caminos mineros.

Algunos autores como: Thompson y Visser (2000); Kaufman y Ault (2001); Graf (2002) Jiménez y Aparicio (2006) identifican la adhesión, la aceleración lateral no compensada en las curvas y la visibilidad como los principales factores de riesgo en las carreteras para camiones pesados, los cuales son factores que se pueden determinar antes de la construcción. Ellos insisten que se debe realizar un estudio previo de los materiales que van a componer los caminos y no esperar la evaluación de



Influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones su influencia después de la construcción.

Thompson y Visser, Kaufman y Ault proponen criterios para la determinación de la velocidad de los camiones en dependencia de los parámetros geométricas de las carreteras y autopistas que permitan el tránsito de camiones de transporte. Los parámetros a tener en cuenta son: la pendiente máxima, la distancia de visión que permita un camino, el peralte (y su corrección, en los casos en que se ha comprobado su insuficiencia), el radio de curvatura; y también establecieron varios criterios para determinar las distancias del paro seguro de los equipos, pero no llegaron a aplicar los criterios en un caso de estudio de una mina.

Los parámetros de los caminos mineros en la Empresa ECG son distintos a los parámetros de carreteras y autopistas, además, los materiales de la cubierta de los caminos tienen diferentes características que las carreteras, y el peso de los equipos utilizados en la minería es mucho más grande que el peso de cualquier vehículo que transita por las carreteras y autopistas, por estas razones, no se puede evaluar la influencia del estado de los caminos mineros en la productividad de los camiones utilizados para transporte de minerales en la Empresa ECG mediante el mismo procedimiento utilizado en carreteras y autopistas.

Después de estudiar la situación del tema de los caminos mineros, surge el siguiente problema científico:

Problema científico:

Necesidad de determinar la influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones de la mina Comandante Ernesto Che Guevara.

Hipótesis:

Si se cuenta con el estudio ingeniero-geológico de la zona de estudio, se divide y caracteriza por sectores los caminos mineros y se determinan las productividades de los camiones según las velocidades limitadas por el reglamento de la mina, por los parámetros de los caminos y por el estado de mantenimiento de los mismos, es posible determinar la influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones de la mina Comandante Ernesto Che Guevara.



Objeto de estudio

La influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones.

Campo de acción

Los caminos mineros desde la tolva hasta el frente H de la mina ECG

Objetivo general

Determinar la influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones de la mina Comandante Ernesto Che Guevara.

Objetivos específicos

1. Realizar una caracterización ingeniero - geológica de la zona de estudio.
2. Realizar una caracterización minero – técnico de los caminos mineros desde la tolva hasta el frente H.
3. Determinar la productividad de los camiones según las velocidades limitadas por el reglamento de la mina, por los parámetros de los caminos y por el estado de mantenimiento de los mismos.
4. Realizar un análisis de los resultados obtenidos.

Aportes de la investigación

1. Se establece un mapa de velocidades máximas de los camiones en cada sector de los caminos mineros estudiados.
2. Se determina la influencia del estado de los viales en la productividad de los equipos de transporte en la mina de la Empresa Ernesto Che Guevara.

Proceso de investigación científica

Para cumplimentar este trabajo se establece el proceso de investigación científica que consta de trabajos de campo, de gabinete y analíticos.

Todas estas labores se realizan en una determinada secuencia, las cuales constituyen el procedimiento para la realización de la investigación. Este procedimiento se refleja en el diagrama del flujo del proceso de investigación. El mismo comprende tres etapas, que son las siguientes:



Primera Etapa:

Comprende el diseño y la investigación bibliográfica del tema.

Segunda Etapa:

En la misma se realizan trabajos de campo para tomar valores promedios de las velocidades en los diferentes sectores de los caminos y los tiempos de ciclo de los camiones que transportan el mineral desde el frente H hasta la tolva.

Tercera Etapa:

En la misma se realizan trabajos de gabinete que incluyen las siguientes tareas:

- Cálculo de las velocidades máximas de los camiones en cada sector de los caminos según los límites de las velocidades por los parámetros geométricos de los caminos y por el estado de mantenimiento de los mismos.
- Determinación de los tiempos de ciclo según los criterios establecidos.
- Cálculo de las productividades de los camiones.
- Análisis de los resultados.



CAPITULO I. Características ingeniero-geológicas de la zona de estudio

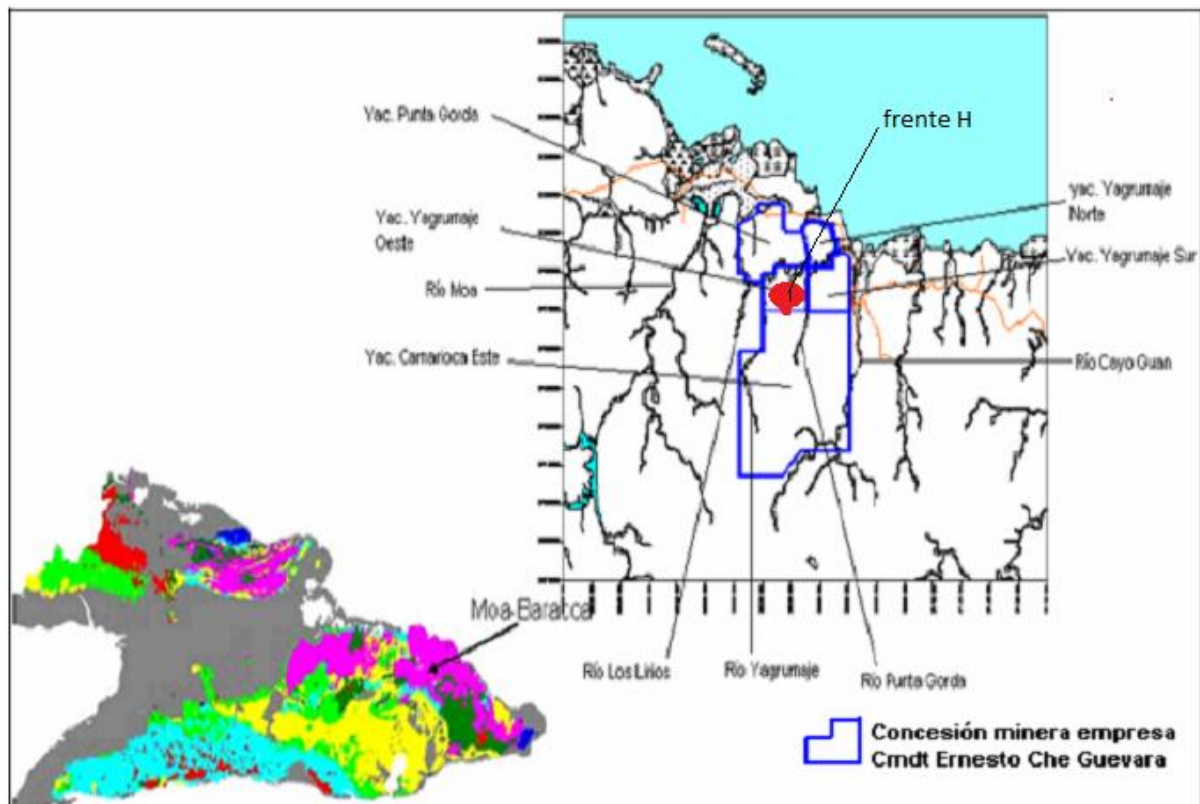
I.1. Ubicación geográfica del yacimiento

El yacimiento Yagrumaje Oeste se encuentra comprendido dentro del macizo montañoso Moa-Baracoa, en el municipio Moa, al Este de la provincia de Holguín. Sus contornos lo constituye un polígono irregular ubicado dentro de la cuadrícula definida por las coordenadas Lamber:

X-704000 X-706800

Y-217000 Y-219500

El mismo limita, al norte con el yacimiento Punta Gorda, al sur con Camarioca Este y al Este con Yagrumaje Sur.



Ver anexo I.

Figura 1: Ubicación geográfica del yacimiento

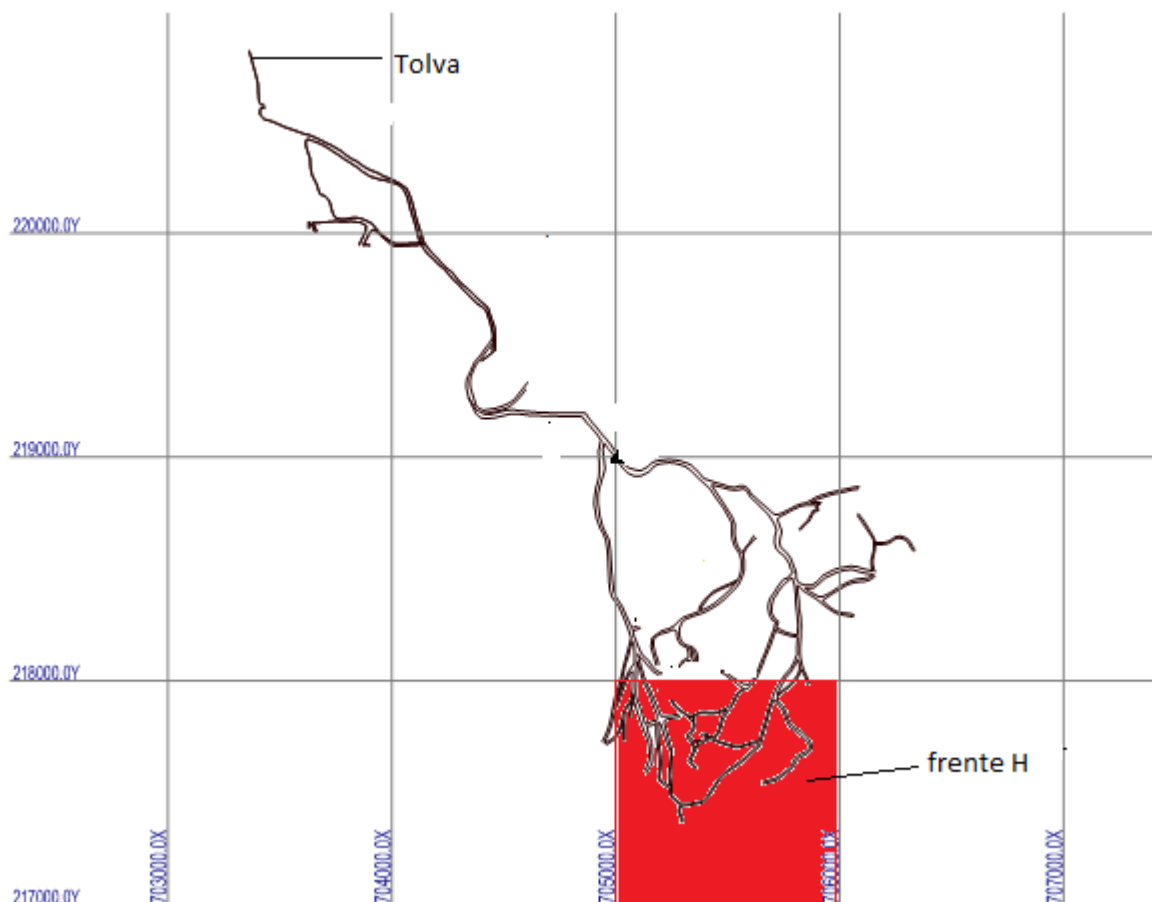


Figura 2: Caminos desde la tolva hasta el frente H.

I.2. Descripción geológica de la región y del yacimiento

El macizo Moa-Baracoa se localiza en el extremo oriental de la faja Mayarí-Baracoa, ocupando un área aproximada de 1 500 Km², presentando un gran desarrollo de los complejos ultramáficos, de gabros y vulcano-sedimentario.

El complejo de rocas ultrabásicas aflora en toda la porción central y meridional del área y está constituido predominantemente por harzburgitas, dunitas, lherzolitas y piroxenitas.

Sobre estas rocas se forman relieves muy variados en dependencia del nivel hipsométrico que ocupan y por tanto del grado de conservación de la corteza de meteorización.

El complejo máfico está representado por gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías. Los cuerpos de gabro tienen una estructura de grandes bloques y la mayoría se disponen en las zonas periféricas del complejo ultramáfico. En el área de estudio el más común es el gabro normal de color oscuro, algo verdoso, con textura masiva a fluidal, aflorando siempre asociados a las



serpentinitas apareciendo en forma de bloques en las zonas de Quesigua-Cayo Guam-Mercedita, Centeno-Miraflores y Farallones-Caimanes.

La asociación ofiolítica en su conjunto está compuesta por rocas ultramáficas que aparecen con menor o mayor grado de serpentización, estas se encuentran asociadas a gabros y a diabasas. Secuencia ofiolítica del norte de Cuba.

Las secuencias representativas pertenecientes a la asociación ofiolítica están representadas por los complejos siguientes:

1. Una zona de harzburgitas con texturas de tectonitas.
2. Una zona de harzburgitas que contienen principalmente cuerpos de dunita, peridotitas impregnadas (con plagioclasas y clinopiroxenos), sills de gabros, diques de gabros y pegmatoides gabroicos; así como cuerpos de cromitas.
3. Una zona de gabros, los cuales presentan en la base un gran desarrollo de gabros bandeados (gabros olivínicos, gabronoritas).
4. El complejo Vulcano-sedimentario.

Las rocas pertenecientes al Arco Insular Volcánico del Cretácico (Paleo arco) están ampliamente desarrolladas en la región de estudio, representada por rocas de las formaciones Santo Domingo y rocas del Complejo Cerrajón.

El área del yacimiento está representada por rocas del corte ofiolítico, el complejo ultramáfico meteorizado, compuesto por peridotitas y sus serpentinas y el complejo cumulativo compuesto por gabros, olivinos y plagiogranitos.

Los representantes más abundantes del corte ofiolítico son las serpentinas apoharzburgísticas y Harzburgitas serpentinizadas.

El complejo cumulativo está pobremente representado en el área del yacimiento y se manifiesta en las partes Este y Sureste del mismo.

Las rocas del complejo ultramáfico metamorizado que originan las cortezas de intemperismo friables, ricas en Fe, Ni y Co que se extraen como materia prima mineral para el proceso metalúrgico y son las más abundantes en el sector.

I.3. Hidrogeología

Conforme a los resultados obtenidos durante la investigación hidrogeológica efectuada en el yacimiento, estas son simples, ya que la mayoría de los pozos perforados resultaron secos durante el avance de la perforación espiral hasta su culminación. No obstante los pozos hidrogeológicos cortaron el agua en las proximidades del ocre



estructural inicial y la roca del basamento, excepto el pozo 225614 que corto el agua en los ocreos inestructurales.

Con los resultados de los bombeos de pruebas realizadas en todos los pozos hidrogeológicos se detectó que los gastos específicos oscilaran entre 0.7 a 145.42 m³/día*m y las transividades estuvieran entre 0.8 y 31.61 m²/día, los valores máximos de ambos parámetros se corresponden con zonas falladas de la roca del basamento, se pudo apreciar que los niveles del agua en época de seca descienden rápidamente y luego se mantienen estables, hasta tanto comienza la lluvia, donde ascienden rápidamente y al terminar estas y en pocos días retornan al comportamiento de periodo de seca prolongado, explicándose la disminución del caudal en época de seca e incrementando en periodos de lluvia producto a la relación que existe entre el nivel de lluvia y dicho caudales.

Con estos resultados se concluye que no deben existir condiciones hidrogeológicas complejas que dificulten el proceso de explotación del yacimiento, solamente en época de lluvia puede existir complicaciones en zonas donde existen fallas.

I.4. Hidrografía

La red hidrográfica en el área del yacimiento está representada por los ríos cayo Guam; en la frontera Este y Noreste y varios afluentes del mismo que surcan el yacimiento, El río Punta Gorda y sus afluentes que surcan la parte central de Sur a Norte y el río Yagrumaje que sirve como frontera en el flanco Oeste. Como corriente superficial interior tiene una serie arroyos y cañadas intermitentes que lo surcan en varias direcciones y principalmente de Sur a Norte, los mismos están confinados en depresiones abruptas con baja mineralización pero dificultan el acceso a las áreas Mineralizadas.

I.5. Fisiografía

El área del yacimiento Yagrumaje Oeste, representa geomorfológicamente una zona de sedimentación pre-montañosa, con una inclinación general hacia el Norte de unos 6-8 grados, constituyendo una superficie ondulante, sobre todo lateralmente (dirección Este-Noroeste), motivado por la existencia de una sucesión de parte-aguas aplanados y cañadas con pendientes que terminan en arroyos con aguas intermitentes y corrientes, alargados en las direcciones Noreste y Noroeste siguiendo los dos sistemas de fallas tectónicas principales que cortan al yacimiento



Influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones

Las mayores pendientes se localizan en las márgenes del río Cayo Guam, Yagrumaje y el cauce del río Punta Gorda, las cuales se hacen más pronunciada hacia el Norte donde se convierte en un cañón con pendientes mayores del 30%.

La parte con mayor potencial menífero, se encuentra comprendida entre las cotas 200 y 500 pero en algunas elevaciones llega a 700.

I.6. Clima

El clima de la región donde se encuentra el yacimiento es tropical marítimo, pero debido a la pantalla que ofrecen las montañas y la posición geográfica, presenta un microclima que difiere del resto del país el mismo está caracterizado por altas temperaturas, precipitaciones y evaporación. El clima está fuertemente influenciado por los vientos alisios que van de Este a Noreste.

Las temperaturas en Moa son generalmente altas con promedios mensuales que van desde 21° hasta más de 27°. Los meses más calurosos son de junio a septiembre y los meses más fríos de diciembre a marzo.

La precipitación en Yagrumaje Oeste, se ha estimado a partir de los datos de precipitación promedios registrados en la estación de Quesigua entre 1964 y 1994.

Tabla 1: Precipitaciones promedio por mes

PRECIPITACIÓN PROMEDIO POR MESES EN 21 AÑOS (SEGÚN DATOS PARA EL DIQUE DE COLAS)													
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	AÑO
mm	201.5	156.9	106.1	170.4	213	102.4	151.5	137.8	158	237.2	310.6	202.3	2148

De acuerdo con los resultados de planos y colaboradores, 2004, las lluvias máximas para la zona en 24 h se corresponden a registros históricos con valores medios de 450 mm y para lluvias en una hora del orden de los 200 mm

Para esta zona se reportan gradientes pluviométricos entre 94 y 122 mm/100 metros de altura, hasta elevaciones de 400 metros, y de 26 mm/100 metros para alturas superiores a ésta.

La evaporación tiene un promedio de 1631mm en la región pero en el área del yacimiento Yagrumaje Oeste, puede ser algo menor debido a que el mismo se encuentra en las estribaciones de las montañas y permanece nublado gran parte del



año aunque la evapotranspiración y evaporación desde la superficie libre del agua, como componente del balance hídrico de una cuenca, viene dada por el hecho de que ésta constituye entre un 25 y un 70% de los aportes totales por precipitaciones pero, no puede ser medida directamente y debe ser estimada a partir de balances de energía o por enfoques aerodinámicos.

I.7. Humedad relativa de la región

La humedad relativa de la región, es alta y está influenciada sobre todo por la cercanía de la costa y el macizo montañoso que sirve de pantalla a los vientos alisios cargados de humedad, la cual alcanza los valores máximos desde mediados de otoño hasta el inicio de la primavera. La humedad relativa anual es de 90-95 % a las 7:30 horas y de 70-75% a las 13:00 horas.

I.7.1. Vientos

El sistema local de vientos, se caracteriza por el predominio de los vientos alisios reforzados por brisas marítimas procedentes del NE durante los meses de Octubre a Enero y del ENE de Marzo a Septiembre. La velocidad del viento varía entre 5 y 15 Km/h.

I.7.2. Insolación

El régimen de radiación en el país presenta variaciones espaciales relacionadas fundamentalmente con factores orográficos, de manera que mientras en zonas costeras aparecen promedios diarios anuales superiores a 16.6 MJ/m^2 , en las alturas los registros son inferiores a 15.6 MJ/m^2 .

I.8. Propiedades de las capas de los caminos

En UB Minera ECG, se realizó una caracterización de los diferentes materiales que componen los caminos según muestras sacadas de trabajos de campo, y después se confecciono probetas para determinar su resistencia mecánica. Según su contenido en % de grava ($>2\text{mm}$), arena ($2-0.02\text{mm}$), lino ($0.02-0.002\text{mm}$) y arcilla ($<0.002\text{mm}$); los materiales se clasifico 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.

En la tabla 2, se muestran la caracterización de la capa de relleno de laterita, y en la tabla 3, se muestran las resistencias al esfuerzo cortante.



Tabla 2: Características de plasticidad de la laterita.

Grava >2 mm	Arena 2-0.02 mm	Lino 0.02-0.002 mm	Arcilla <0.002 mm	Plasticidad (%)			Condiciones naturales				
				LL	LP	IP	W (%)	α_f (kN/m ³)	α_d (kN/m ³)	e	S (%)
35	45	14	6	47	30	17	23.4	22.3	18.2	1.03	81

Tabla 3: Resistencia al esfuerzo cortante.

Muestra	Profundidad (m)		Carga vertical MPa	Esfuerzo cortante MPa	Resultados			Valores del calculo	
	Desde	Hasta			tan	C (MPa)	ϕ (grados)	C (MPa)	Φ (grados)
212	3.8	4.4	0.1	0.12	0.60*	0.06*	31°*	0.087	13°
212	3.8	4.4	0.2	0.18					
207	6.4	7	0.1	0.11	0.2	0.087*	13°		
207	6.4	7	0.2	0.12					



Capítulo II. Caracterización minero-técnica de los caminos mineros y del equipamiento de carga y transporte.

II.1. Introducción

Después del análisis del problema científico existente, se decidió comparar las productividades de los caminos según los siguientes criterios:

- Según limitaciones por el reglamento de la mina.
- Según limitaciones por los parámetros geométricos de los caminos.
- Según limitaciones por el estado de mantenimiento de los mismos.

Este capítulo tiene los siguientes objetivos:

- Dividir los caminos en sectores, considerando los siguientes parámetros: el radio de curvatura, el peralte y la pendiente.
- Determinar los parámetros de cada sector.
- Especificar los parámetros de los equipos de carga y transporte que influyen en la productividad.
- Determinar el estado de los caminos de la tolva hasta el frente H después de un periodo lluvioso (porque este es el momento en que las deformaciones de los mismos son pésimas)

II.2. División en sectores de los caminos

Los caminos se dividen en sectores según los radios de curvatura, la pendiente y el peralte. En la figura 3 se muestran los sectores que se utilizarán para este estudio.

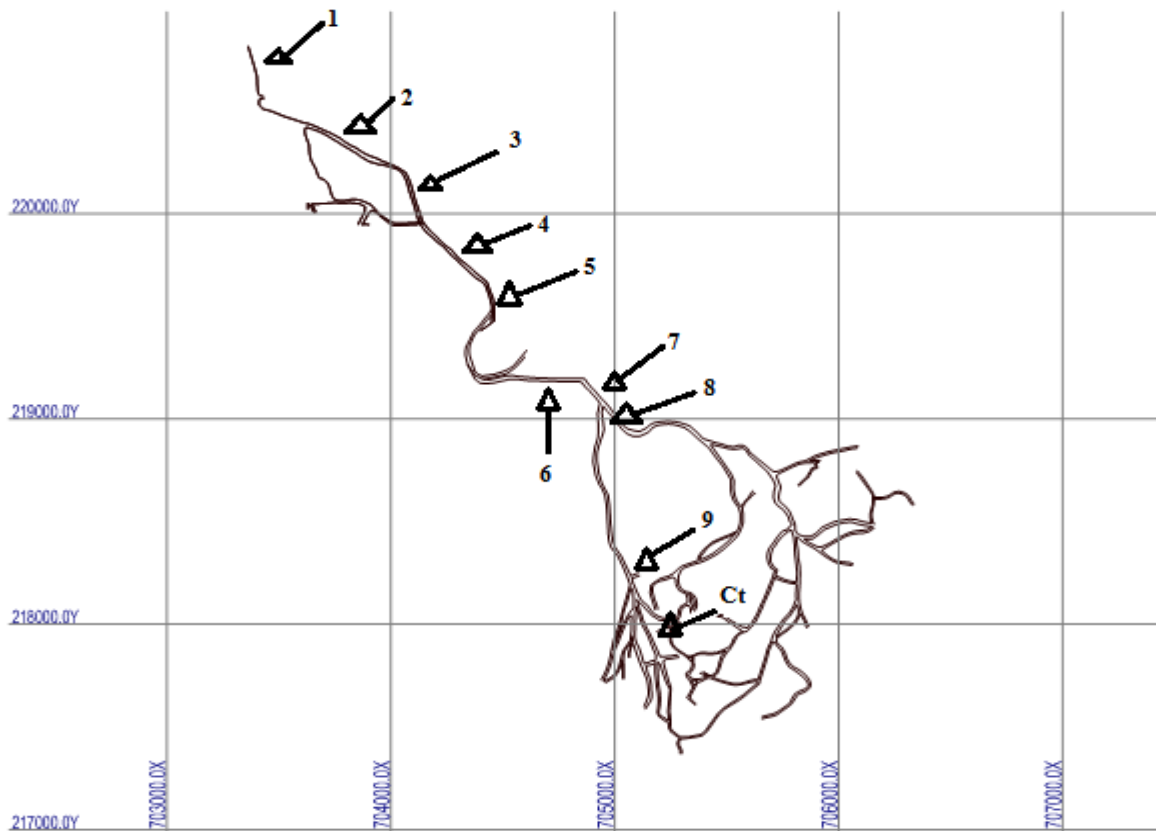


Figura 3: los sectores que se utilizarán para este estudio.

II.2.1 Determinación de los parámetros de los caminos para cada sector

La pendiente.

Las pendientes longitudinales de los sectores varían entre 2% y 15%. Las pendientes fueron tomadas de las mediciones hechas por los mismos camiones en su recorrido. Las tablas 4 y 5, señalan los valores de las pendientes de cada sector.

Radio de curvatura.

Los radios de curvatura para las curvas horizontales se determinaron del mapa, suponiendo que las curvas tienen el comportamiento de una bóveda con 3 centros, por la siguiente expresión:

$$R = 0.692 \cdot b; m \quad (1)$$

Dónde:

- b, es el ancho de la curva por su base; m

Distancia del recorrido.

La distancia recorrida por las curvas se determina, suponiendo que las curvas tienen el comportamiento de una bóveda con 3 centros, por la siguiente expresión:



$$S = 1.33 \cdot b; m \quad (2)$$

Para las distancias por los tramos rectos, se tomó en cuenta las pendientes de cada sector, y se determinó por la expresión siguiente:

$$S' = d / \cos \beta \quad (3)$$

Donde:

- d , es la distancia del sector en el mapa; m.
- β , es el ángulo de inclinación del camino, °

$$\beta = \arctg i \quad (4)$$

La distancia total del recorrido es la suma de las distancias de todos los sectores.

Peralte.

En carreteras, el peralte se define como la tangente del ángulo de inclinación del plano de la calzada, viene limitado por el radio de curvatura, la velocidad específica del camión y la aceleración lateral no compensada del camión que permite la adhesión entre superficie neumático-camino, sin deslizamiento del camión.

Comportamiento general de vehículos bajo varias valores de aceleración lateral no compensada.

- Inferior a 2 m/s: Todos los vehículos pueden soportarla sin pérdida de estabilidad y todos los conductores son capaces de abordarla.
- Entre 2 m/s y 4 m/s: Todos los vehículos ligeros y la mayoría de los conductores medios la soportan.
- Entre 4 m/s y 6 m/s: Los vehículos modernos en buenas condiciones no pierden la estabilidad, pero los conductores tiene problemas para ejercer el control del mismo.
- Entre 6 m/s y 8 m/s: Difícil de soportar para la mayoría de los vehículos y conductores.

Lo que resulta coherente con la indicación realizada en estudios anteriores que establecían un intervalo de aceleraciones laterales aceptables de 0.2 g – 0.4 g en buenas condiciones de adherencia y con independencia de la velocidad de circulación.



Influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones

En la misma línea, la Instrucción de Señalización Vertical indica que las limitaciones de velocidad en curva deben ser tales que se tenga, como máximo, una aceleración lateral no compensada de 0.25 g, de lo que se deduce, en km/h, que

$$v = \sqrt{1.27 * R * (P + 0.25 g)} \quad (5)$$

Dónde:

- v , es la velocidad específica del camión en la curva (tomamos el valor medio de la velocidad en la curva según la expresión 5); km/h
- R , es el radio de la curva; m

$$v_m = \frac{86}{1 + \frac{314}{R^{1.5}}}; km/h \quad (6)$$

Desde la ecuación 5, despejamos el peralte y quedamos con la siguiente expresión:

$$P = \frac{v^2}{1.27 * R} - 0.25g; \% \quad (7)$$

En las tablas siguientes se muestran los parámetros de los sectores de los caminos que serán analizados en el estudio.

Tabla 4: los parámetros de los sectores rectos.

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ct
Distancia (m)	277	810	247	446	153	375	164	103	221	663
Pendiente (%)	2	2	2	5	7	7	10	15	2	5

Tabla 5: los parámetros de los sectores con curvas.

Sector	R12	R23	R34	R45	R5c	Rc	R67	R78	R'	R''	R'''
Radio de curvatura (m)	57	44	15	31	31	270	49	71	202	101	168
distancia (m)	70	54	19	38	38	330	60	86	246	123	205
Pendiente (%)	3	2	-7	10	7	3	2	2	3	7	10
Peralte (%)	2.39	2.4	2.4	2.4	2.39	2.4	2.4	2.39	2.4	2.4	2.4



II.3. Parámetros de los equipos de carga - transporte y mantenimiento.

Para determinación de la productividad en el próximo capítulo, es necesario establecer los parámetros de los equipos de carga y transporte que tienen una relación directa con la productividad.

II.3.1 Equipos de carga

La carga se realiza este trabajo con las retroexcavadora LIEBHERR 984 con las siguientes características técnicas:

Duración del ciclo de trabajo:	25 s
Volumen nominal del cubo (V_c):	7 m ³
Altura máxima de carga:	14,4 m
Altura máxima de descarga:	9,9 m
Profundidad de rapeleo:	8,7 m
Acho de las esteras:	750 mm
Longitud de la pluma:	8000 mm
Altura:	4710 mm
Ancho:	5190 mm
Largo:	11400 mm
Peso:	91400 kg
Potencia:	431 kW (586 HP)
Radio de giro de la retroexcavadora:	90-180°
Consumo de combustible:	53,7 l/h

Volumen real del cubo de la retroexcavadora:

$$V_c = E \frac{K_{lle}}{K_e} \quad (8)$$

Dónde:

- E, es capacidad de cuchara de la retroexcavadora; m³
- K_{lle} , es el coeficiente de llenado del cubo de la retroexcavadora.
- K_e , es el coeficiente de esponjamiento del mineral.

$$V_c = 5.23 \text{ m}^3$$



Cantidad de cubos a cargar al camión:

$$C_c = \frac{V_n}{V_c} \quad (9)$$

Dónde:

- V_n : volumen nominal del volquete del camión: 23m³

$C_c = 4.4 \approx 4$ cucharas

II.3.2 Equipos de transporte

Para esta actividad se utilizarán camiones articulados VOLVO A40D. Este equipamiento presenta una serie de ventajas, algunas de las cuales se mencionan a continuación:

- Gran maniobrabilidad, facilitada por el sistema articulado.
- Posibilidad de vencer grandes pendientes.
- Excelente movilidad en el sector de descarga.
- Pocas exigencias de la vía.
- Posibilitan la elevación de la productividad de los equipos de carga.
- Potencia de frenado uniforme.
- Posibilidad de trabajar en condiciones climáticas adversas.

Características técnicas del VOLVO A40:

Capacidad volumétrica de carga:	23 m ³
Potencia del motor:	309 kW
Ancho:	3,43 m
Altura:	3,74 m
Longitud:	11,3 m
Ángulo de giro de la cabina:	45 °
Fórmula de las ruedas:	6x6
Consumo de combustible:	22.07 l/h

Parámetros del camión

Volumen real del mineral en la cama del camión

$$V_m = C_c * V_c \quad (10)$$

$$V_m = 20.92 \text{ m}^3$$



Factor de utilización de la capacidad volumétrica del camión:

$$K_{uv} = \frac{V_m}{V_n} \quad (11)$$

Tiempo de carga:

$$t_c = (C_c - 1) \frac{t_{ce}}{60} \quad (12)$$

Dónde:

- t_{ce} , es el tiempo de carga de la excavadora; s

$t_c = 1.7 \text{ min}$

Tiempo de descarga:

El tiempo de descarga se tomó 40 s (0,667 min). (Según los datos prácticos de la mina)

II.3.3 Equipos de mantenimiento

El mantenimiento se realiza primero en una vía, dejando la otra para el tránsito de los camiones para no interrumpir el flujo de transporte, por lo tanto no se determinó los parámetros de los equipos para este estudio. Los trabajos de mantenimiento se realizan con el Buldócer modelo KOMATSU D85E-21, el cual presenta las siguientes características técnicas:

Dimensiones:

Largo:	6550 mm
Ancho:	4530 mm
Potencia:	320 HP/2300 rpm
Datos de la hoja o cuchilla:	
Alto:	1500 mm
Largo:	4430 mm
Consumo de combustible:	28 l/h



II.4. Evaluación del estado de mantenimiento de los caminos

Mantenimiento de los caminos mineros:

Tan importante como la 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 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 se realizan los trabajos de mantenimiento en la zona del estudio.

Mantenimiento de los caminos recién construidos.

Como la presión específica de los medios de compactación y mantenimiento disponibles en la Unidad Básica Minas, es menor que los equipos de carga y transporte. Durante la primera etapa de su explotación, al paso de los equipos por las vías, se producen deformaciones por una serie de defectos que retardan la consolidación, incluso hasta dejarlas inaptas para el flujo de los equipos si no se corrigen a tiempo, por lo que en esta etapa se tomarán las siguientes medidas:



Influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones

- 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 gravilla o material 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
- 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,
- Pérdida de suelos en las cunetas y bordes de las vías.
- Almacenamiento de agua en las cunetas y paseo de los caminos después de cesar las lluvias.
- La ausencia de cunetas de desagüe.

Evaluación del estado de los caminos.



Influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones

Se realizó una evaluación general del estado de los caminos donde se identificaron afectaciones por falta de mantenimiento, pero también se reconoció que algunas de las deformaciones se provocan por el descuido en la parte de construcción de los caminos.

En la evaluación del estado de los caminos, se notó varias manifestaciones de deformaciones por falta de mantenimiento por insuficiencias de los equipos disponibles, inundación de las vías por el desbordamiento de las cunetas y por la ausencia de cunetas de desagüe en algunos sectores. El problema principal en los caminos que se provoca por el descuido en la parte de la construcción de los caminos es por la presencia de materiales orgánicos en el material de relleno que reduce la resistencia mecánica de los caminos y aumenta la necesidad de mantenimiento de los mismos.

En los anexos, se muestran los sectores más afectados por falta de mantenimiento y por la presencia de materiales orgánicos en el material de relleno.

Las fotos 1, 2 y 3 muestran las deformaciones en los caminos provisionales, la foto 4 muestra la falta de cunetas de desagüe, las fotos 5, 6 y 7 muestran las deformaciones provocados por el aumento de la humedad por falta de cunetas; y las fotos 8, 9, 10 y 11, muestran la presencia de material orgánico en material de relleno.





Foto 1.



Foto 2.



Foto 3.



Foto 4.

Foto 5.



Foto 6

Foto 7.



Foto 8.

Foto 9.



Foto 10.

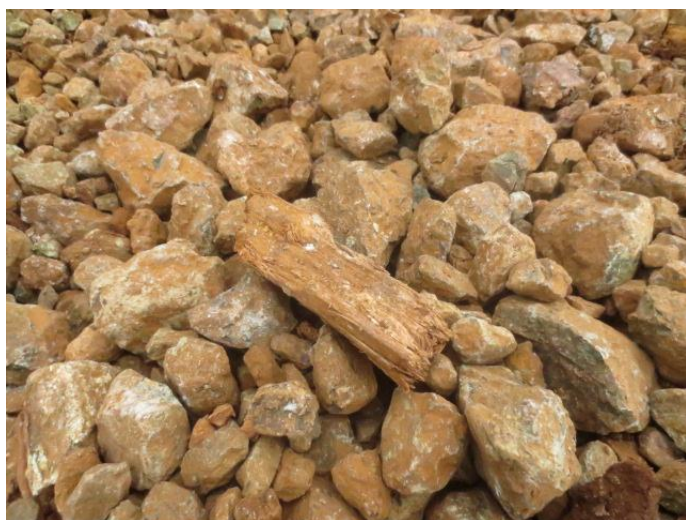


Foto 11.





II.5. Conclusiones

- Se logró a dividir los caminos en sectores según sus parámetros geométricos
- Se establecieron los parámetros de los equipos de carga y transporte que influyen directamente en la productividad de los camiones.
- Se identificaron las afectaciones que se manifiestan en los caminos por el estado de mantenimiento y se concluyó que las principales afectaciones se producen por falta de equipos de mantenimiento, por las lluvias y por el descuido en la etapa de construcción de los caminos.



CAPÍTULO III. Determinación de las productividades de los camiones y análisis de los resultados.

III.1. Introducción

Este capítulo tiene los siguientes objetivos: confeccionar un mapa de velocidades según los diferentes criterios en cada uno de los sectores caracterizados en el capítulo anterior, determinar los tiempos de ciclo y las productividades según cada criterio, y realizar el análisis de los resultados de manera tal que se demuestre la influencia que tienen los viales en la productividad de la mina.

III.2. Confección del mapa de velocidades

III.2.1 Velocidades limitadas por el reglamento de la mina

La velocidad de los camiones se limita a 30km/h en la gran parte de los caminos principales, con la excepción de un solo tramo limitado a 40 km/h para ramal vacío, y hasta 10 km/h en los tramos estrechos en los caminos provisionales. Véase los límites en cada sector en el mapa de velocidades.

III.2.2 Velocidad limitada por los parámetros de los caminos

Limitaciones por las curvas.

La velocidad de los camiones en las curvas depende de la aceleración lateral no compensada, la adhesión máxima que permite la cubierta del camino, el radio de giro de la curva la pendiente y el peralte.

Formas simples de cálculo.

Por la adherencia lateral de los neumáticos, el radio de la curva y el peralte

$$v = \sqrt{g * R * \frac{\mu_{y \max} + t_{g\zeta}}{1 - \mu_{y \max} * t_{g\zeta}}} \quad (13)$$

Dónde:

- $\mu_{y \max}$, el coeficiente adimensional que caracteriza la adhesión lateral máxima
- $t_{g\zeta}$, el peralte.
- R , radio de curvatura; m.
- g , coeficiente de gravedad, m/s^2



$$\mu_{y\max} = \frac{B}{h} \quad (14)$$

Dónde:

- B, el ancho de la vía; m.
- h, altura del centro de masa del camión; m.

Por radio de curvatura.

$$v_m = \frac{86}{1 + \frac{314}{R^{1.5}}}; km/h \quad (15)$$

$$v_a = \frac{102}{1 + \frac{346}{R^{1.5}}}; km/h \quad (16)$$

Dónde:

- v_m , es la velocidad media en la curva.
- v_a , es la velocidad de acercamiento a la curva.

Aunque el uso de este criterio está muy extendido, se ponen de manifiesto ciertas carencias del modelo si se desea una estimación precisa de la velocidad segura. En concreto, apunta los siguientes aspectos:

- No es suficiente trabajar con la curvatura para definir con precisión la velocidad crítica de una curva
- No se tiene en cuenta la pendiente de la carretera
- El efecto de curvas concatenadas tampoco es considerado

Por un modelo con 5 grados de libertad: desplazamientos longitudinal, transversal y vertical del vehículo y giros alrededor de los ejes transversal y vertical (θ y φ)

$$v^2 = g * R * \left(\left(1 - \frac{H}{l_2} * \theta \right) \lambda_{lat} * \mu_{\max} * \sqrt{1 - \left(\frac{\theta}{\lambda_{lat} * \mu_{\max}} \right)^2} + \varphi \right) \quad (17)$$

$$v^2 = g * R * \left(\left(1 + \frac{H}{l_1} * \theta \right) \lambda_{lat} * \mu_{\max} * \sqrt{1 - \left(\frac{\theta}{\lambda_{lon} * \mu_{\max}} \right)^2} + \varphi \right) \quad (18)$$

Ecuación (5) es para $\theta \geq 0$, y la ecuación (6) es para $\theta < 0$

Dónde:



- l_1 y l_2 , son las distancias horizontales entre el eje delantero y el centro de gravedad, y el trasero, y el centro de gravedad, respectivamente.
- λ_{lon} y λ_{lat} son coeficientes adimensionales que matizan la adherencia máxima que se utiliza
- ϕ , es el peralte de la carretera.

Después de valora las carecías del método de los radios y por la falta de los coeficientes λ_{lon} y λ_{lat} , se va a calcular la velocidad según el primero criterio.

Tabla 6: Las velocidades en cada curva.

Sector	R12	R23	R34	R45	R5c	Rc	R67	R78	R'	R''	R'''
velocidad (km/h)	18.7	16.4	19.6	13.81	13.81	40.75	17.36	20.896	35.25	24.92	32.14

Limitaciones por la pendiente y por distancia de visión.

Las figuras 1 y 2 señalan las distancias necesarias para parar los camiones en el caso de que aparezca un obstáculo tanto en curvas horizontales como en curvas verticales. En base de tales distancias, se establece las velocidades máximas de transito de los camiones para que sea posible parar el camión antes de llegar al obstáculo.

$$v = 1.097 * \sqrt{2 * g * S * (\text{sen } \theta - b)}; km / h \quad (19)$$

Dónde:

- g , es el coeficiente de la gravedad; 32 ft/s².
- S , es la distancia de visión del operador el camión; ft.
- θ , es la pendiente; °
- b , es un coeficiente adimensional que considera la resistencia al rodamiento, 0.05 para la mayoría de los caminos mineros.

La distancia de visión depende la distancia necesaria para parar el camión antes de chocar un obstáculo, y se determina por las curvas horizontales y verticales. Distancia de visión tiene que ser mayor o igual a la distancia requerida para para el camión en tránsito con una determinada velocidad, véase figura 1 en anexos.



Tabla 7: Las velocidades en cada tramo según (7)

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ct
Distancia segura (ft.)	40	40	40	40	60	40	60	123	40	35
velocidad (km/h)	38.14	38.14	38.14	21.59	20.8	17	15.23	12.6	38.14	20.2

III.2.3 Velocidades limitadas por el estado de mantenimiento de los caminos

Estos valores fueron sacados del campo registrando las velocidades del tránsito de los camiones en cada sector durante varios viajes antes y después del mantenimiento, y después se calculó el valor promedio de la velocidad en cada sector para cada caso.

Las tablas muestran los valores promedios de la velocidad en cada sector para ramal vacío y ramal cargado antes y después del mantenimiento durante un periodo de lluvias.

Tabla 8: Velocidad en cada sector recto para ramal vacío.

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ct
velocidad (km/h)	20	33	28	28	30	27	22	26	24	6.7
velocidad' km/h)	28	37	28	30	30	30	30	30	28	9

Tabla 9: Velocidad en cada sector con curvas para ramal vacío.

Sector	R12	R23	R34	R45	R5c	Rc	R67	R78	R'	R''	R'''
velocidad (km/h)	20	22	20	20	22	25	20	20	28	22	24
velocidad'(km/h)	25	28	28	26	28	30	26	28	35	26	32

Tabla 10: Velocidad en cada sector recto para ramal cargado.

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ct
velocidad (km/h)	20	33	28	28	30	27	22	26	24	6.7
velocidad' km/h)	28	37	28	30	30	30	30	30	28	9

Tabla 11: Velocidad en cada sector con curvas para ramal cargado.

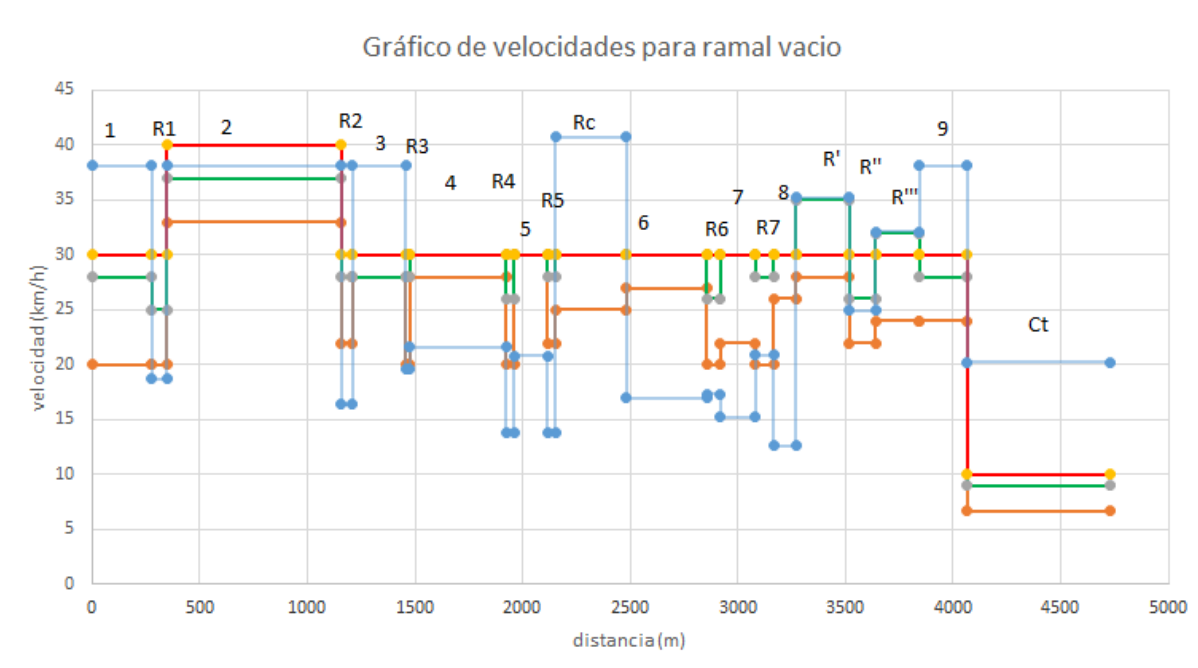
Sector	R12	R23	R34	R45	R5c	Rc	R67	R78	R'	R''	R'''
velocidad (km/h)	20	22	20	20	22	25	20	20	28	22	24
velocidad'(km/h)	25	28	28	26	28	30	26	28	35	26	32

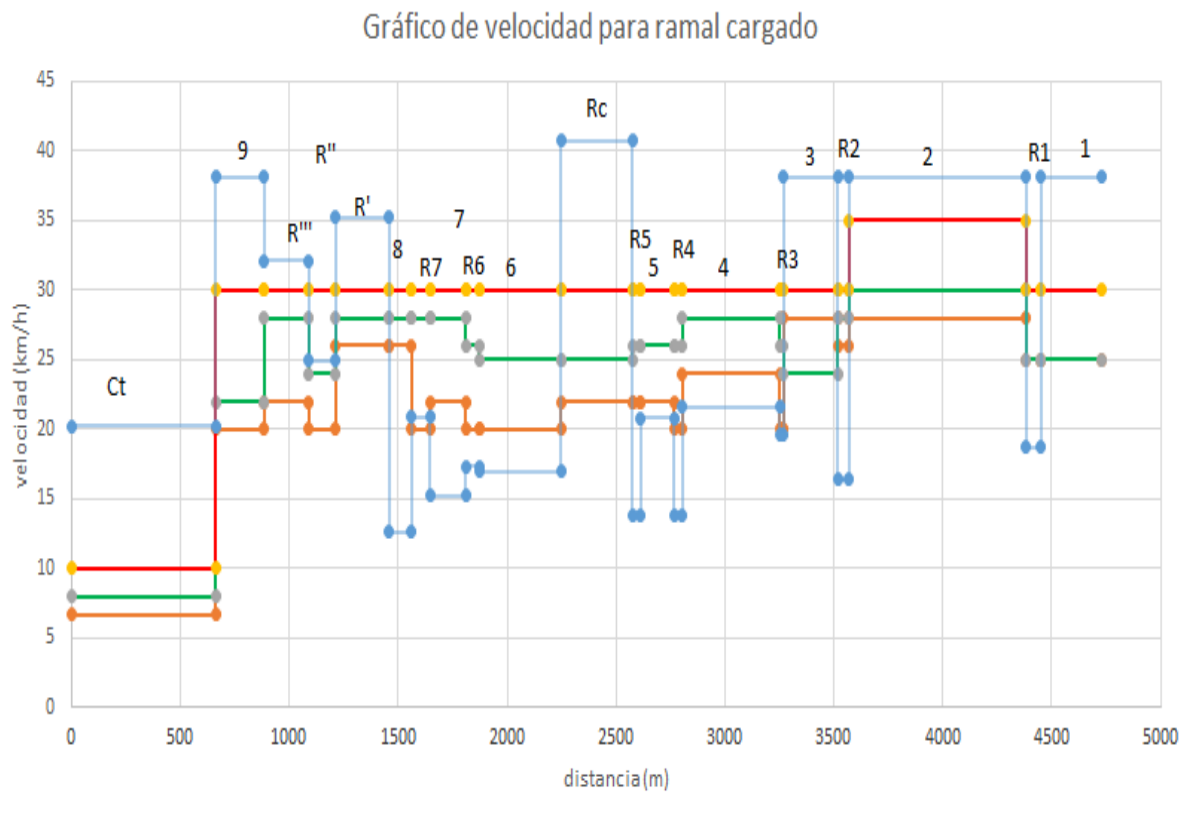


III.2.4 Mapa de velocidades

En los gráficos, se muestran las velocidades de los camiones en cada sector según los diferentes criterios planteados, es decir; según las limitaciones por el reglamento de la mina, según limitaciones por los parámetros geométricos de los caminos y según limitaciones por el estado de mantenimiento de los mismos (antes y después del mismo) para el ramal vacío y cargado. Se puede ver que en los sectores 1, 3, Rc, R', R'', 9 y Ct; las velocidades según los límites por el reglamento de la mina y por el estado de mantenimiento de los caminos (antes y después del mantenimiento), para el ramal vacío son inferiores a la velocidad según los límites por los parámetros geométricos de los caminos, y para el ramal cargado, los sectores R34, R45, 5, R5c, 6, R67, 7, R78, 8, R'' y 9 tienen velocidades según los límites por los parámetros geométricos de los caminos son inferiores a las velocidades según los límites por el reglamento de la mina y por el estado de mantenimiento de los caminos (antes y después del mantenimiento), y eso aumenta la posibilidad de la ocurrencia de accidentes por el deslizamiento de los camiones o el choque con obstáculos.

Gráfico de velocidades para ramal vacío





Leyenda:

- _____ Velocidad según las limitaciones geométricas de los caminos.
- _____ Velocidad según el reglamento de la mina.
- _____ Velocidad de los camiones después del mantenimiento.
- _____ Velocidad de los camiones antes del mantenimiento.

III.3. Determinación de los tiempos de ciclo

$$t_{ciclo} = t_{rv} + t_{rc} + t_c + t_d + t_{mc} + t_{md} + t_{espc}; \min \quad (20)$$

Dónde:

- t_{rv} y t_{rc} , son los tiempos para ramales vacío y cargado, respectivamente; min.
- t_c y t_d , son los tiempos de carga y descarga, respectivamente; min.
- t_{mc} y t_{md} , son los tiempos de maniobra para la carga y descarga respectivamente; min.
- t_{espc} , es el tiempo de espera para la carga; min.



Los únicos tiempos que varían de dependencia del estado de los caminos y por los trabajos de mantenimiento tanto de los caminos, como el mantenimiento de los frentes de trabajo son el tiempo del ramal vacío, ramal cargado y el tiempo de espera para cargar.

Tiempo de espera para la carga.

Este varía de dependencia de los trabajos de mantenimiento en los frentes de trabajo y por la sincronización de los trabajos de carga y transporte. Desde datos prácticos de la mina se sabe que valores promedios están entre 1-3 minutos, para este trabajo se tomó el tiempo de espera como 1 minuto para tiempo seco, y para el tiempo de lluvia se mantiene el mismo valor, pero se considera el aumento del mismo por el aumento de la necesidad de mantenimiento tanto en los caminos como en los frentes cuando se determina el coeficiente de utilización del turno de trabajo.

Tiempo de ramal vacío y cargado.

$$t_{rv} = 60 * \sum_{i=1}^{R'''} \frac{D_i}{v_{iv}}; \text{min} \quad (21)$$

$$t_{rc} = 60 * \sum_{i=1}^{R'''} \frac{D_i}{v_{ic}}; \text{min} \quad (22)$$

Dónde:

- D_i es la distancia de cada sector
- v_{ic} y v_{iv} son las velocidades para ramal cargado y vacío, respectivamente.

Tiempo de carga.

$$t_c = 0.25 \text{min.}$$

Tiempo de descarga.

$$t_d = 0.25 \text{ min.}$$

Tiempo de maniobra de carga.

$$t_{mc} = 0.25 \text{min.}$$

Tiempo de maniobra de descarga.



$t_{md} = 0.25$ min.

III.3.1 Tiempo de ciclo según limitaciones por el reglamento de la mina.

III.3.1.1 Tiempo del ramal vacío

Tabla 12: El tiempo de tránsito para cada tramo según (9).

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ct
Tiempo (min)	0.436	1.274	0.389	1.239	0.442	1.33	0.646	0.491	0.348	1.97

Tabla 13: El tiempo de tránsito para cada curva según (9).

Sector	R12	R23	R34	R45	R5c	Rc	R67	R78	R'	R''	R'''
Tiempo (min)	0.2	0.2	0.11	0.16	0.16	0.48	0.20	0.246	0.41	0.29	0.383

$t_{rv} = 11.47$ min

III.3.1.2 Tiempo del ramal cargado.

Tabla 14: El tiempo de tránsito para cada tramo según (10).

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ct
Tiempo (min)	0.436	1.274	0.389	1.239	0.442	1.33	0.646	0.491	0.348	1.97

Tabla 15: El tiempo de tránsito para cada curva según (10).

Sector	R12	R23	R34	R45	R5c	Rc	R67	R78	R'	R''	R'''
Tiempo (min)	0.2	0.2	0.11	0.16	0.16	0.48	0.20	0.246	0.41	0.29	0.383

$t_{rc} = 11.47$ min

III.3.1.3 Tiempo del ciclo

El tiempo de ciclo según (8) es:

$t_c = 26.81$ min



III.3.2 Tiempo de ciclo según limitaciones por los parámetros de los caminos

III.3.2.1 Tiempo del ramal vacío

Tabla 16: El tiempo de tránsito para cada tramo según (9).

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ct
Tiempo (min)	0.436	1.274	0.389	1.239	0.442	1.33	0.646	0.491	0.348	1.97

Tabla 17: El tiempo de tránsito para cada curva según (9).

Sector	R12	R23	R34	R45	R5c	Rc	R67	R78	R'	R''	R'''
Tiempo (min)	0.2	0.2	0.11	0.16	0.16	0.48	0.20	0.246	0.41	0.29	0.383

$$t_{rv} = 14.7 \text{ min}$$

III.3.2.2 Tiempo del ramal cargado

Tabla 18: El tiempo de tránsito para cada tramo según (10).

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ct
Tiempo (min)	0.88	2.95	0.76	3.04	0.67	0.55	0.57	0.3	0.38	1.6

Tabla 19: El tiempo de tránsito para cada curva según (10).

Sector	R12	R23	R34	R45	R5c	Rc	R67	R78	R'	R''	R'''
Tiempo (min)	0.22	0.197	0.06	0.26	0.165	0.49	0.21	0.25	0.42	0.296	0.45

$$t_{rc} = 14.699 \text{ min}$$

III.3.2.3 Tiempo del ciclo

El tiempo de ciclo según (8) es:

$$t_{ciclo} = 29.98 \text{ min}$$



III.3.3 Tiempo de ciclo según limitaciones por el estado de mantenimiento de los caminos

En esta parte se determinan los tiempos para ramales vacío y cargado por las velocidades promedias tomadas de los trabajos del campo y la distancia de los sectores según las expresiones (10) y (11)

III.3.3.1 Tiempo de ramal vacío

Tabla 20: Tiempo de ramal vacío de la tolva hasta el sector Rc.

Sector	1	R12	2	R23	3	R34	4	R45	5	R5c	Rc
distancia (m)	277	70	810	54	247	19	446	38	153	38	330
v (km/h)	20	20	33	22	28	20	28	20	30	22	25
v' (km/h)	28	25	37	28	28	28	30	26	30	28	30
tiempo(min)	0.83	0.21	1.47	0.15	0.53	0.06	0.96	0.11	0.31	0.1	0.79
tiempo'(min)	0.59	0.17	1.31	0.12	0.53	0.04	0.89	0.09	0.31	0.08	0.66

Tabla 21: Tiempo de ramal vacío del sector 6 hasta el frente de arranque.

6	R67	7	R78	8	R'	R''	R'''	9	Ct
375	60	164	86	103	246	123	205	221	663
27	20	22	20	26	28	22	24	24	6.7
30	26	30	28	30	35	26	32	28	9
0.83	0.18	0.45	0.26	0.24	0.53	0.34	0.51	0.55	5.94
0.75	0.14	0.33	0.18	0.21	0.42	0.28	0.38	0.47	4.42

Tiempo de ramal vacío:

a. Antes del mantenimiento.

$$t_{rv} = 15.34 \text{ min}$$

b. Después del mantenimiento.

$$t_{rv} = 12.38 \text{ min}$$



III.3.3.2 Tiempo de ramal cargado

Tabla 22: Tiempo de ramal cargado del frente de arranque hasta el sector 6

Sector	Ct	9	R'''	R''	R'	8	R78	7	R67	6
distancia (m)	663	221	205	123	246	103	86	164	60	375
v (km/h)	6.7	20	22	20	26	26	20	22	20	20
v' (km/h)	8	22	28	24	28	28	28	28	26	25
tiempo(min)	5.94	0.66	0.56	0.37	0.57	0.24	0.26	0.45	0.18	1.12
tiempo'(min)	4.97	0.6	0.44	0.31	0.53	0.22	0.18	0.35	0.14	0.9

Tabla 23: Tiempo de ramal cargado del sector Rc hasta la tolva.

Rc	R5-c	5	R45	4	R34	3	R23	2	R12	1
330	38	153	38	446	19	247	54	810	70	277
22	22	22	20	24	20	28	26	28	25	25
25	26	26	26	28	26	24	28	30	25	25
0.9	0.1	0.42	0.11	1.11	0.06	0.53	0.12	1.74	0.17	0.66
0.79	0.09	0.35	0.09	0.96	0.04	0.62	0.12	1.62	0.17	0.66

Tiempo de ramal cargado:

a. Antes del mantenimiento.

$$t_{rc} = 16.27 \text{ min}$$

b. Después del mantenimiento.

$$t_{rc} = 14.15 \text{ min}$$

III.3.3.3Tiempo del ciclo

Los tiempos de ciclo según **(8)** son:

a. Antes del mantenimiento.

$$t_{ciclo} = 35.48 \text{ min}$$

b. Después del mantenimiento.

$$t_{ciclo} = 30.40 \text{ min}$$



III.4. Determinación de las productividades y análisis de los resultados

Número de viajes por turno.

$$N_{turno} = \frac{60 * T_t * K_u}{t_{ciclo}}; \text{viajes / turno} \quad (23)$$

$$Q_{ciclo} = V_m * \gamma_v * N_{turno}; t / \text{turno} \quad (24)$$

Dónde:

- T_t , es el tiempo de turno; 12 horas.
- V_m , es el volumen del mineral en la cama del camión; m^3
- γ_v , es la masa volumétrica del mineral a cargar; t/m^3
- K_u , es el coeficiente de utilización del ciclo de trabajo

$$Q_{ciclo} = V_m * N_{turno}; m^3 / \text{turno} \quad (25)$$

III.4.1 Productividad según tiempo de ciclo según las limitaciones por el reglamento de la mina

$$K_u = \frac{T_t - \sum T_p}{T_t} \quad (26)$$

Dónde:

- $\sum T_p$, la suma de los tiempos en que los camiones no están cargando mineral.

Utilización aproximada del turno:

- | | |
|---|-------------|
| • Almuerzo: | 60 minutos. |
| • Meriendas | 20 minutos. |
| • Cambio de turno | 10 minutos. |
| • Traslado al frente de trabajo | 5 minutos. |
| • Repostado con combustible de la retro | 30 minutos. |
| • Repostado con combustible de los camiones | 30 minutos. |
| • Revisión técnica de la retroexcavadora | 10 minutos. |
| • Necesidades personales | 15 minutos. |

$$\sum T_p = 180 \text{ min} = 3 \text{ horas}$$

$$K_u = 0.75$$



Según las expresiones (12) y (13):

$$N = 20 \text{ viajes/turno}$$

$$Q_{\text{turno}} = 523 \text{ m}^3/\text{turno}$$

III.4.2 Productividad según tiempo de ciclo según las limitaciones por parámetros de los caminos

Por el hecho de que $\sum T_p$ se mantiene como 3 horas:

$$K_u = 0.75$$

Según las expresiones (12) y (13):

$$N = 18 \text{ viajes/turno}$$

$$Q_{\text{turno}} = 470.7 \text{ m}^3/\text{turno}$$

III.4.3 Productividad según tiempo de ciclo según las limitaciones por el estado de mantenimiento de los caminos

Utilización aproximada del turno en el régimen lluvioso:

- | | |
|---|-------------|
| • Almuerzo: | 60 minutos. |
| • Meriendas: | 20 minutos. |
| • Cambio de turno: | 10 minutos. |
| • Traslado al frente de trabajo: | 5 minutos. |
| • Repostado con combustible de la retro: | 30 minutos. |
| • Repostado con combustible de los camiones: | 30 minutos. |
| • Revisión técnica de la retroexcavadora: | 10 minutos. |
| • Necesidades personales: | 15 minutos. |
| • Aumento del tiempo de espera por trabajos de mantenimiento: | 45 minutos. |

$$\sum T_p = 225 \text{ min} = 3.75 \text{ horas}$$

Según expresiones (12), (13) y (14):

$$K_u = 0.69$$

a. Sin mantenimiento.

$$N = 14 \text{ viajes/turno}$$

$$Q_{\text{turno}} = 366.1 \text{ m}^3/\text{turno}$$

b. Después de mantenimiento.



N = 16.3 $\approx$ 16 viajes/turno

Q turno = 418.4 t/turno

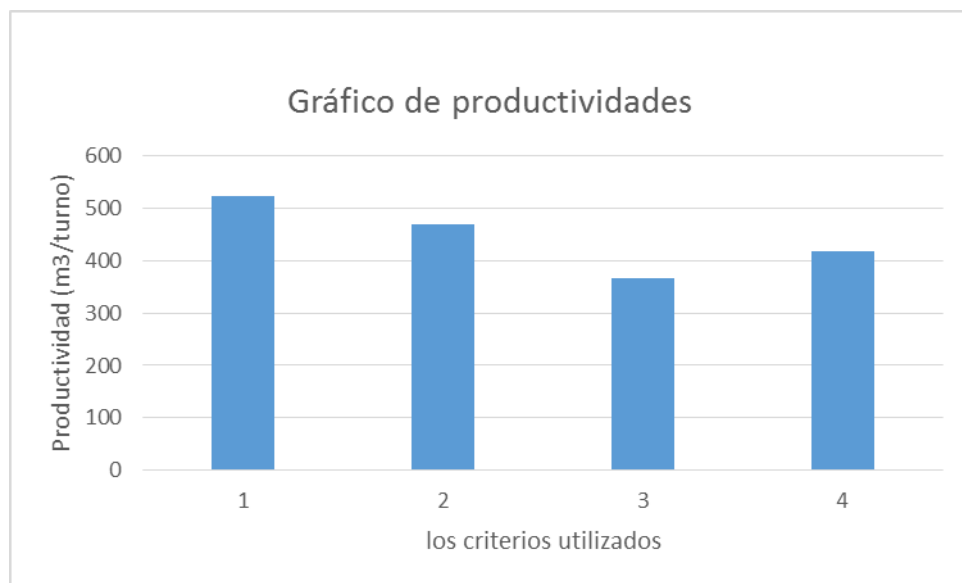


Gráfico 3: Gráfico de las productividades.

Dónde:

- 1, es la productividad según limitaciones por reglamento de la mina.
- 2, es la productividad según limitaciones por los parámetros de los caminos.
- 3, es la productividad según limitaciones por el estado de los caminos antes del mantenimiento.
- 4, es la productividad según limitaciones por el estado de los caminos después del mantenimiento.

III.4.4 Análisis de los resultados

Las productividades según limitaciones por el estado de los caminos antes y después del mantenimiento son inferiores a las productividades según limitaciones por el reglamento de la mina y por limitaciones de los parámetros geométricos de los caminos, la productividad de los camiones según limitaciones por el estado de los caminos antes del mantenimiento es inferior a la productividad después del mantenimiento. La productividad según limitaciones por el reglamento de la mina es superior a la productividad según limitaciones por los parámetros geométricos de los caminos.

La diferencia entre la productividad según el reglamento y la productividad según las limitaciones geométricas de los caminos nos demuestra que las velocidades



Influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones

establecidas proyectan un tiempo de ciclo inferior al tiempo de ciclo que permitan los parámetros, con un valor de 3.17 min. Esto trae proyecciones de la productividad por turno de la mina que son imposible a alcanzar, por esta razón la productividad según las limitaciones por el reglamento es superior a la productividad de los camiones con un 10 %.

Se puede notar en los gráficos 1 y 2, que esta diferencia se provoca por los siguientes sectores en el ramal vacío: 2, R3, R4, Rc, R6, 7 Y R7; y por los siguientes sectores en el ramal cargado: R", 8, R7, 7, R6, 6, 5, R4 y 4; porque las velocidades que limitan sus parámetros son inferiores a las velocidades que limita el reglamento de la mina.

Los parámetros principales limitando las velocidades son: la pendiente y el radio de curvatura.

La productividad antes del mantenimiento de los caminos es inferior a la productividad según limitaciones geométricas de los mismos con un 22.2 %, es decir, el mal estado de los caminos disminuye la productividad con un 22.2 %.

Después de mantenimiento, la productividad de los camiones aumento con un 12.5 %, pero no llegó a alcanzar el valor máximo que limita los parámetros geométricas de los caminos, es decir que con un mantenimiento adecuada, es posible aumentar la productividad de los camiones, hasta un 11.1 % más que lo se logró con el método existente.



III.5. Conclusiones

- Se determinó la influencia del estado de los viales en la productividad de los camiones de la mina Comandante Ernesto Che Guevara.
- Con el mantenimiento de los caminos mineros desde el frente H hasta la tolva se aumenta la productividad de los camiones, aunque no se alcanza el valor máximo.
- Las propiedades de adhesión de la cubierta de los caminos no permiten a los camiones alcanzar la velocidad máxima y provoca un aumento en el tiempo de ciclo de los equipos de transporte, a consecuencia de lo cual se reduce la productividad de los mismos.
- Las velocidades establecidas por el reglamento de la mina no concuerdan con las velocidades que limitan los parámetros geométricos de los caminos.
- Las velocidades de los camiones en los sectores 1, 3, Rc, R', R'', 9 y Ct; tanto antes, como después del mantenimiento de los caminos, no son adecuadas teniendo en cuenta las limitaciones por razones de seguridad según los parámetros de los caminos.



Recomendaciones

- Restablecer los límites de velocidad de los camiones para todos los sectores de los caminos mineros desde la tolva hasta el frente de trabajo H tomando en cuenta los parámetros de cada sector.
- Realizar un estudio más detallado de las propiedades que se utilizan para la cubierta de los caminos mineros por donde se transportan minerales desde la tolva hasta el frente de trabajo H.
- Mejorar el mantenimiento de los caminos y las cunetas de desagüe.
- Implementar medidas para eliminación de material orgánico en el material de relleno.



Bibliografía

1. Blazquez L, Beviá García. Manual de Carreteras, 2003
2. BORISOV, S. Klovov, M. Gornovói. B. Labores mineras, 1era edición, 1986.
3. Carrillo N, Mecánica de suelos, Tomo 1, 1963.
4. Carrillo N, Mecánica de suelos, Tomo 2, 1963.
5. Delgado, Gravimetría, 1990.
6. Deslandes J.V, Marshal.GA, Factors Affecting Structural Fatigue Damage of
Mine Haul Roads, 1986.
7. Kaufman, Ault, The Design of Surface Mine Haul Roads-A Manual, 1977.
8. Kaufman, Ault, The Design of Surface Mine Haul Roads-A Manual, 2001.
9. Jiménez Alonso, Aparicio Izquierdo, Calculo de la Velocidad Segura de
Circulación de los Vehículos Automóviles en Función de la Geometría de
la
Carretera. Comprobación de modelos, 2006.
10. Legeet R, Hatheway A, Geology and Engineering, 1988.
11. Marsal R, Mecánica de suelos, 1969.
12. Mayor Tito Oscar Graf, Reseña de los Trabajos de Mejoramiento de
la
Adherencia Neumático-Pavimento en la Pista del Aeropuerto Jorge Newbery
(Buenos Aires- República de Argentina), 2002.
13. Otaño N.J., Torrens Blanco Robert. Nociones de minería. Ministerio
de
educación superior. La Habana. 1988.
14. Pereda Hernandez, Ramon Polanco Almanza, Transporte Minero, 2009.
15. Rodríguez R, Sotolongo G Gias de Estudio; Mecánica de suelos 1; 1987.
16. Sánchez L. E. Drenaje de minas a cielo abierto. Sao Paolo, 2000.
17. Sowers B, Sowers F. Mecanica de los suelos, 1976.
18. Tompson R.J, The design and Maintenance of Surface Mine Haul
Roads,
1996.
19. Tompson R, Visser A, The Journal of The South African Institute of Mining



and

Metallurgy, 2000.

20. United States Bureau of Mines (USBM), Study of Mine Haulage Roadway

Surface Safety Hazards, 1981.

21. Villalonga C, Suelos de la provincia de Camaguey, 1985.



Anexos.

Sector	1	2	3	4	5	6
1	20	20	21	20	21	20
2	33	35	30	33	30	35
3	28	28	30	28	30	25
4	28	30	32	28	30	28
5	30	28	30	30	30	28
6	27	32	28	27	28	28
7	22	25	30	22	28	25
8	26	30	30	26	30	30
9	24	30	28	24	28	30
Ct	5	8	7	6	7	6
R1	20	22	20	22	20	18
R2	22	24	22	24	22	20
R3	22	24	22	24	22	20
R4	20	22	20	22	20	18
R5	20	22	20	22	20	18
Rc	22	24	22	24	22	20
R6	25	27	25	27	25	23
R7	20	22	20	22	20	18
R'	20	22	20	22	20	18
R''	22	24	22	24	22	20
R'''	24	26	24	26	24	22

Anexo 1: Datos del campo antes del mantenimiento.



Sector	1	2	3	4	5	6
1	28	20	21	20	21	20
2	37	35	38	34	36	35
3	28	28	30	28	30	25
4	30	30	32	28	30	28
5	30	28	34	30	30	28
6	30	32	28	27	28	32
7	30	28	30	34	30	28
8	30	30	30	26	30	30
9	28	30	28	24	28	30
Ct	9	8	10	8	10	9
R1	25	26	25	24	25	25
R2	28	29	28	27	28	28
R3	28	29	28	27	28	28
R4	26	27	26	25	26	26
R5	28	29	28	27	28	28
Rc	30	31	30	29	30	30
R6	26	27	26	25	26	26
R7	28	29	28	27	28	28
R'	35	36	35	34	35	35
R''	26	27	26	25	26	26
R'''	32	33	32	31	32	32

Anexo 2: Datos del campo para ramal vacío, después del mantenimiento.





