

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE MASTER EN ELECTROMECAÁNICA

Título: EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS TECNOLÓGICOS Y DE EXPLOTACIÓN DEL TRANSPORTE AUTOMOTOR MINERO EMPLEADO EN LA EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA.

Autor: Instructor. Ing. Yorlandis Oliveros Blanco

Tutor: Prof. Titular. Ing. Dr. C Roberto Johan. Sierra Pérez.

Moa - 2015

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza la evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, 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 esto dada la imprecisa valoración de los mismos. Una vez establecida la metodología que relaciona las principales expresiones para el cálculo de estos parámetros se muestra su comportamiento, así como la influencia en indicadores del camión tales como: la potencia, la fuerza de tracción desarrollada por el vehículo, velocidad y productividad del camión, entre otros. Finalmente se desarrolla la valoración económica de los resultados obtenidos, así como el impacto ambiental de los mismos.

TABLA DE CONTENIDOS

Introducción.....	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 Introducción.....	4
1.2. Principales tipos de transporte empleados en la minería del níquel.....	4
1.2.1. Transportes continuos.....	4
1.2.2. Transportes cíclicos.....	5
1.3. Peculiaridades de la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.....	7
1.3.1. Propiedades físico-mecánicas de las menas lateríticas mullidas	8
1.3.2 Características del equipamiento utilizado en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara	9
1.3.2.1. Características del camión Volvo A 40E.....	10
1.3.3. Identificación de los caminos mineros establecidos en la UBMECECG.....	11
1.3.3.1. Pasaporte técnico de los caminos mineros.....	12
1.3.3.2. Construcción y trazado de los caminos mineros.....	13
1.3.3.3. Perfil longitudinal de los caminos mineros.....	15
1.3.3.4. Principales parámetros de los caminos mineros.....	16
1.4. El fenómeno de la adherencia.....	16
1.4.1. Tipo y estado de la vía.....	17
1.4.2. Velocidad de movimiento.....	17
1.4.3. Características constructivas del neumático.....	18
1.5. Valores del coeficiente de resistencia a la rodadura establecidos por otros autores.....	18
1.6. Consideraciones teóricas acerca del transporte automotor.....	20
1.7. Conclusiones del capítulo.....	25

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
2.1 Introducción.....	26
2.2 Relaciones empleadas en el cálculo de tracción.....	26
2.2.1 Coeficiente de tara.....	26
2.2.2. Fuerza de tracción.....	26
2.2.3. Fuerzas de resistencia al movimiento.....	28
2.2.3.1. Fuerza de resistencia principal.....	28
2.2.3.2. Fuerza de resistencia al aire.....	28
2.2.3.3. Fuerza de resistencia debido a la pendiente.....	29
2.2.3.4. Fuerza de resistencia en las curvas.....	29
2.2.3.5. Fuerza de Resistencia a la inercia.....	30
2.2.4. Velocidad y tiempo del movimiento del automóvil.....	30
2.2.5. Consumo de combustible.....	30
2.3. Relaciones empleadas en el cálculo de explotación.....	31
2.3.1. Tiempo de ciclo del camión.....	31
2.3.1.1. Tiempo de recorrido cargado y vacío.....	32
2.3.2. Productividad horaria del camión.....	32
2.3.3. Índice de consumo del camión.....	33
2.3.4. Cantidad de camiones necesarios para la extracción.....	33
2.4. Diseño de experimentos.....	33
2.3.1 Selección de las variables y sus niveles.....	34
2.3.2 Caracterización de las variables de salida.....	35
2.3.3 Matriz de experimentación.....	36
2.3.4 Materiales empleados en los experimentos.....	37
2.5. Elementos del procesamiento estadístico.....	38
2.6. Conclusiones.....	44
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	45
3.1. Introducción.....	45
3.2 Análisis de los parámetros de tracción.....	45
3.2.1. Análisis del coeficiente de agarre del camión VOLVO A 40E.....	45

3.2.2. Fuerza de tracción	50
3.2.3. Fuerzas de resistencia al movimiento.....	51
3.2.3.1. Fuerza de resistencia principal.....	51
3.2.3.2. Fuerza de resistencia a la pendiente.....	51
3.2.3.3. Fuerza de resistencia al aire.....	52
3.2.3.4. Resistencia en las curvas.....	52
3.2.3.5. Resistencia de la inercia.....	53
3.2.4. Velocidad de movimiento del camión VOLVO A 40E.....	53
3.2.5. Potencia desarrollada por el camión VOLVO A 40E.....	54
3.2.6. Consumo de combustible del camión VOLVO A 40E.....	55
3.3. Análisis de los parámetros de explotación.....	56
3.3.1. Análisis de las menas adheridas a la caja de carga de los camiones VOLVO A 40E	56
3.3.2. Productividad del camión.....	59
3.3.3. Consumo de combustible del camión VOLVO A 40E con menas adheridas.....	59
3.3.4. Tiempo de recorrido del camión.....	60
3.3.5. Determinación de la cantidad de camiones necesarios.....	61
3.4. Valoración económica.....	62
3.4.1. Análisis de varianza para evaluar la posibilidad de incrementar la frecuencia de raspado de la caja del camión VOLVO A 40E.....	63
3.5 Impacto Ambiental.....	64
3.5.1. Gases de escape de los motores diesel.....	65
3.5.2. Factores medio ambientales afectados por la actividad minera.....	65
3.5.3. Medidas preventivas para minimizar los impactos medio ambientales	67
3.6. Conclusiones del capítulo.....	67
CONCLUSIONES GENERALES.....	69
RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS	

Introducción

El uso racional de los recursos energéticos es una tarea de vital importancia en los momentos actuales para cualquier sector de la economía, dado el agotamiento de las reservas de petróleo, principal fuente de suministro. El sector del transporte automotor minero aparece como uno de los principales consumidores de derivados del petróleo. En la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Moa esta situación es de tal magnitud, que los consumos vinculados al transporte automotor minero superan los 300 000 litros de combustible al mes. Con el objetivo de establecer una adecuada valoración de los equipos de transporte (camiones mineros VOLVO A 40E) en esta unidad se hace necesaria partir de una correcta evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) de estos equipos.

La ECECG actualmente cuenta con el siguiente parque de equipos: 24 camiones articulados VOLVO A40E, cinco vehículos TEREX, nueve DOOSAN MOXY, dos KOMATZU, ocho retroexcavadoras LIEBHERR, tres tractores de estera, un compactador de suelo AMMANN, dos moto niveladoras VOLVO, una dragalina LIEBHERR, y tres camiones cisterna VOLVO, (Larramendiz y Cordero 2002) para una longitud de transportación mayor a 8,0 km. Teniendo en cuenta todo lo anteriormente referido, se hace necesario contar con criterios técnicamente fundamentados para la evaluación del parque vehicular empleado en esta empresa.

Situación problemática

Durante la explotación del equipamiento de carga-transporte empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara (UBMECECG) se refleja baja productividad de los camiones VOLVO A40E empleados en el acarreo de las menas lateríticas mullidas provocado por la cantidad de menas lateríticas que se adhieren a la caja de carga (lo que implica sobre consumos de combustible por el retorno de cierta cantidad de mineral). Con frecuencia durante el traslado de los vehículos por los caminos mineros se manifiestan deslizamientos laterales, patinajes (coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones con la superficie de rodadura de los caminos mineros temporales y permanentes) en pendientes de caminos pocos firmes y muy húmedos, fenómenos

que afectan la inversión inicial y el establecimiento de los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) de estos equipos.

Problema científico

Inadecuada evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, 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, 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.

Objeto de la investigación

Camiones mineros VOLVO A40E

Campo de acción

El proceso de evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación de los camiones VOLVO A40E.

Objetivo general de la investigación

Evaluar los parámetros (capacidad de carga, productividad del camión, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) tecnológicos y de explotación de los camiones VOLVO A 40E empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, 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.

Hipótesis

Si se conocen los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara así como, la cantidad de menas lateríticas mullidas adheridas a la caja de carga de los camiones VOLVO A 40E entonces, se puede establecer una adecuada evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) de estos equipos.

Objetivos específicos de la investigación

1. Analizar el comportamiento de los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) de los camiones VOLVO A40E empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
2. Determinar los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A40E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
3. Comprobar la influencia de las menas lateríticas mullidas adheridas a la caja de carga de los camiones VOLVO A40E empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Sistema de tareas a realizar

1. Determinación de los volúmenes de menas lateríticas, que se adhieren a la caja de carga de los camiones VOLVO A40E empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
2. Obtención experimental de los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A40E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (caminos temporales y permanentes) establecidos en la UBMECECG.
3. Evaluación del comportamiento de los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) de los camiones VOLVO A40E empleados en la UBMECECG.
4. Identificación de los tipos de caminos mineros (así como sus parámetros) empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
5. Establecimiento de las propiedades físico-mecánicas de las menas lateríticas mullidas transportadas en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

El transporte minero constituye uno de los eslabones principales dentro del proceso tecnológico de extracción, carga y traslado de las masas mineras, combinando diferentes tipos de transporte (cíclico y continuo), como es el caso de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Ante la problemática que imponen hoy los equipos de transporte, se ha tratado de progresar en lo que se denomina transporte combinado y que consiste en el transporte de origen a destino sin ruptura de carga. A fines de los años 60 comenzaron en Cuba los estudios de las cadenas de transportación de carga con un enfoque más integral que el desarrollado hasta entonces y que se basaba, esencialmente, en el análisis de las cuestiones referentes a las empresas transportistas (Carmenate, 2003).

En el presente capítulo se refieren: las peculiaridades de la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, caracterización del flujo tecnológico de la empresa, identificación de las propiedades físico-mecánica de las menas lateríticas mullidas transportadas, características tecnológicas del parque de equipos utilizados, especificación de los caminos mineros establecidos, y finalmente se realiza una revisión teórica de varios trabajos acerca del transporte automotor minero, el mismo **tiene como objetivo:** exponer los fundamentos teóricos que caracterizan la explotación técnica del transporte automotor (camiones mineros VOLVO A40E) empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

1.2. Principales tipos de transporte empleados en la minería del níquel

En el proceso de laboreo a cielo abierto, el transporte tiene una importancia fundamental; de cuán efectivo, constante y productivo sea, depende el éxito de la explotación del yacimiento y la obtención de parámetros técnico-económicos más eficientes. De aquí se desprende la importancia que posee la correcta selección y explotación de los métodos de transporte. En términos generales el transporte puede ser continuo o cíclico (Vallejo, 2013).

1.2.1. Transportes continuos

Transporte hidráulico: el transporte de minerales y rocas con ayuda del agua, tiene una gran aplicación en la industria minera, tanto a cielo abierto como subterránea. El principio del transporte hidráulico se basa en la propiedad que tienen las

partículas de material (en dependencia de su tamaño y peso), de mantenerse en estado de suspensión, gracias a lo cual es arrastrada por el flujo de agua

Transporte de bandas: el uso de los transportadores de bandas ha tenido en los últimos años un gran auge en la industria minera, tanto subterránea como a cielo abierto. La aplicación del principio de acción continua se ha generalizado donde las condiciones lo permiten. El crecimiento del número de transportadores de bandas está justificado por un gran número de causas.

En las canteras modernas donde se exigen grandes potencias productivas, se emplean exitosamente este tipo de máquinas, aumentando la productividad del trabajo de tres a cuatro veces y más; no obstante estas ventajas, en las minas a cielo abierto influyen grandemente en la productividad los períodos de lluvias, esto es particularmente importante en los países tropicales, donde se encuentra este fenómeno como uno de los pocos factores influyentes. En los meses de lluvia la productividad de la instalación puede bajar ocasionalmente en más de un 25% (Vallejo, 2013).

1.2.2. Transportes cíclicos

Teleféricos o funiculares: los teleféricos se emplea para transportar cargas o pasajeros en las labores a cielo abierto, así como en otras ramas de la industria en calidad medio de transporte externo. Se usa frecuentemente en zonas accidentadas, donde exista una gran diferencia de nivel entre el punto inicial y final, por ejemplo, cuando se encuentra como eslabón entre una cantera o mina en una montaña, y una estación de ferrocarril o planta de beneficio situada en el valle.

Este tipo de transporte no es práctico aplicarlo en el yacimiento estudiado debido a las características propias del mineral laterítico (la alta adhesividad, lo que provoca que una gran parte del contenido de los cubos se quede adherido a la paredes y fondo del mismo, pasando a ser carga viajera). Dada la experiencia de yacimientos similares, como los de Nicaro, hasta un 25 % de la capacidad de los cubos pueden verse afectados de esta forma, disminuyendo considerablemente la eficiencia del proceso de transportación.

Transporte ferroviario: las condiciones específicas del trabajo en las canteras, plantean un conjunto de exigencias de las características de las locomotoras, entre las cuales una de las principales corresponde a su capacidad de superar los

ascensos de la vía sin tener que disminuir considerablemente la velocidad y pasar los tramos curvos con radios hasta de 80-100 m, posibilidad de mayor independencia de la fuente de energía, permanente disponibilidad para el trabajo en diferentes condiciones climáticas, alta economía, etc (Vallejo, 2013). Se desecha este tipo de transporte ya que este yacimiento tiene una topografía muy accidentada, y una de las condiciones de uso de este tipo de transporte es que debe aplicarse en terrenos llanos.

Transporte automotor: con los medios del transporte automotor se trasladan las rocas y el escombros a las escombreras interiores y exteriores, y el mineral al punto de procesamiento o de carga del transporte exterior. La particularidad del trabajo del transporte automotor está representada por la existencia de grandes ascensos y descensos, la temporalidad de las trazas, los cambios de los puntos de carga y descarga, alta intensidad y densidad del movimiento de los medios de transporte.

Vallejo (2013) plantea, que el transporte automotor como transporte individual o combinado con otros tipos de transportes ha recibido un amplio desarrollo en las canteras en las últimas décadas debido a su gran versatilidad y flexibilidad. Esto ha sido así sobre todo para la minería del níquel, ya que las características de los yacimientos lateríticos son exclusivas, lo que provoca la necesidad de la extracción selectiva o por pequeñas áreas dentro de un mismo yacimiento. Esta exigencia requiere una planificación suficientemente flexible para satisfacer adecuadamente la estabilidad de la calidad del mineral enviado a la planta.

Esta forma compleja y efectiva de minar, trae consigo, entre otras cosas, algunas limitaciones en el esquema de transportación, debido fundamentalmente al cambio frecuente de los frentes de arranque, ya que estos participan en mayor o menor porcentaje según la calidad del mineral.

Los camiones: como un punto especial dentro de este acápite sería importante hablar de los camiones, ya que son los equipos principales del transporte automotor en las canteras. La construcción de los camiones deberá hacerse teniendo en cuenta las particularidades del trabajo en las canteras o minas a cielo abierto, como son:

- condiciones de estrechez.
- distancias cortas de transportación.

- ascensos y descensos prolongados.

1.3. Peculiaridades de la Unidad Básica Minera en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara

El relieve donde están ubicados los yacimientos de la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara es típicamente montañoso y abrupto, constituidos por colinas elevadas, pequeñas y, medianas mesetas cuyas alturas oscilan entre 600 y 1 100 m sobre el nivel del mar, principalmente hacia el sur donde es más accidentado con dirección submeridional. Hacia el norte el relieve se hace más suave con cotas que oscilan entre 40 y 50 m como máximo. La región se caracteriza por la presencia de potentes cortezas de intemperismo lateríticas sobre las rocas ultra básicas y básicas de la asociación ofiolítica, con inclinación hacia el sur con rangos de pendientes variables y desmembrado en tres sectores por valles muy profundos, correspondientes a las áreas ínter fluviales Moa, los Lirios y Yagrumaje. Estas cortezas se identifican por las formas aplanadas con cañadas y valles con los desniveles relativos del relieve que oscilan entre 70 y 110 m; las cotas absolutas llegan a tomar valores desde 0÷185 m. El clima de la región es tropical. La temperatura media anual es aproximadamente 27°C. En el año hay dos períodos de lluvia, correspondientes a los meses Mayo-Junio y Octubre - Diciembre, y dos períodos de seca Febrero-Abril y Julio-Septiembre. La cantidad de precipitaciones oscila en amplios límites, 1 700-1 800 mm al año (Martínez., 2013).

La Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara procesadora de menas de níquel tiene una productividad de 30 000 toneladas/año. El proceso tecnológico desarrollado incluye la homogeneización de los minerales lateríticos mullido acarreado, lo cual varía sus propiedades físico-mecánicas y por tanto influye en los parámetros tecnológicos y de explotación del transporte automotor empleado en dicha unidad.

El yacimiento estudiado (Yagrumage Sur) está ubicado en la parte nordeste de de la porción oriental. El yacimiento se encuentra en las coordenadas geográficas: 20° 29' y 20° 38' de latitud Norte 75° 42' y 75° 54' de longitud Este. En coordenadas nacionales equivalen a los límites: este 603 000 a 621 000 norte 195 000 a 216 000. Las condiciones hidrogeológicas de este yacimiento están condicionadas a los períodos de seca y lluvia; las mayores complejidades tienen lugar en época de lluvia. Las mayores capacidades para almacenar agua vienen determinada por las

serpentinitas y peridotitas serpentinizadas por presentar un alto grado de agrietamiento originado por el intemperismo. Se destaca en este yacimiento un rápido incremento del derrame subterráneo en sentido vertical originado por la alta porosidad de las lateritas y agrietamiento de las serpentinitas señaladas (Martínez, 2013).

1.3.1. Propiedades físico-mecánicas de las menas lateríticas mullidas

El alto grado de intemperización que presenta la roca dificulta la determinación del agrietamiento. En el contacto de la corteza de intemperismo y el basamento se presenta una faja discontinua muy alterada con características friables y deleznales; a medida que se profundiza en la corteza aparece la roca fresca pero agrietada las que desde el punto de vista ingeniero - geológico presentan una buena estabilidad por su dureza y solidez. En los horizontes limoníticos se producen fenómenos físico - geológicos muy diferentes a los ocurridos en el basamento desfavorables al proceso de explotación. Entre estos fenómenos se encuentran deslizamientos, derrumbes, entre otros que ocurren en las lateritas (Barrios, 2006).

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

Tabla 1.1. Algunas propiedades del mineral y estéril referidas en Barrios (2006).

Material	Densidad (t/m³)	Coeficiente de esponjamiento	Humedad (%)
Mineral	1,05	1,35	36
Estéril	1,05	1,37	36

Tabla 1.2. Características físico–mecánicas de las menas lateríticas a mover, Barrios (2006).

Propiedades	Valor
Peso volumétrico seco (t / m^3)	1,08
Peso volumétrico húmedo (t / m^3)	1,69
Cohesión	0,26
Humedad natural (%)	36
Ángulo de fricción interna	27,5
Coeficiente de porosidad	2,29
Ángulo de reposo natural	400
Talud dinámico	160
Resistencia al cortante (kg/cm^2)	0,29

Las litologías a partir de las cuales se formaron las cortezas de intemperismo que hoy constituyen los yacimientos lateríticos de hierro, níquel y cobalto de la región de Moa están constituidas fundamentalmente por peridotitas serpentinizadas, dunitas, y piroxenitas. Macroscópicamente estas son rocas densas y masivas de granos finos y generalmente agrietados en diferentes grados. El color de la roca fresca es de gris verdoso a gris oscuro, en ocasiones hasta negro. La masa volumétrica de estas rocas oscila entre 2,41 y 2,58 g/cm^3 . Bajo el microscopio es común observar una textura de enrejado con finas vetillas de serpentina en los centros de cuyas mallas se encuentran núcleos de olivino y piroxenos. En la composición mineral de estas rocas aparecen variedades del grupo de la serpentina (crisotilo, lizardita, antigorita) cuyo contenido comúnmente alcanza el 60 %. Los minerales primarios contenidos en estas rocas en ocasiones representan el 5 - 30 %, en casos raros pueden alcanzar hasta 50 %; en pequeñas cantidades aparecen en su composición como espinelas y magnetita en forma de granos independientes y pequeños agregados (Barrios, 2006).

1.3.2. Características del equipamiento utilizado en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara

Regalado (2013) plantea, que la extracción y transporte del mineral es una actividad fundamental dentro del proceso que desarrolla toda planta procesadora de menas, por lo cual todos los trabajos mineros están encaminados a que esta se realice exitosamente, pero a la vez, la extracción y el transporte de mineral están

subordinados a las exigencias del proceso industrial y a las condiciones naturales del yacimiento. Para los trabajos de extracción y transporte de mineral la empresa Comandante Ernesto Che Guevara cuenta con el siguiente parque de equipos:

Tabla 1.3. Parque de equipos empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Regalado (2013).

Equipo	Cantidad	Modelo
Moto niveladoras	2	VOLVO
Dragalina	1	LIEBHERR
Tractores de Estera	13	AMMANN
Compactadores	2	AMMANN
Retroexcavadoras	9	LIEBHERR
Cargador	-	DL450-DL500
Camiones Articulado	24	VOLVO A40E
Camiones Rígidos	5	TEREX
Camiones Articulado	9	DOOSAN MOXY
Camiones Articulado	2	KOMATZU

1.3.2.1. Características del camión Volvo A 40E

El Volvo A40E es un camión articulado de tres ejes, con suspensión y capacidad de carga de 40 t. Tiene tracción natural en las cuatro ruedas, y acoplable a las seis ruedas (6 x 6). Este tipo de camión presenta buena visibilidad y bajo nivel de ruidos en la cabina, suspensión libre de mantenimiento y baja tensión en el bastidor, eje delantero con suspensión en tres puntos de gran duración y largos intervalos de servicio.

A los camiones adquiridos (VOLVO A 40E) se le introducen mejoras en su diseño como:

- Mayor capacidad de carga en toneladas.
- Mayor confort para el operador (climatización de la cabina y la radio casetera, esto en combinación con el uso de motores y cajas de cambios nuevas que le permite conducir a velocidades medias más elevadas).
- Cojinetes de articulación de dirección y el cilindro de dirección y los cojinetes de la articulación del bastidor están engrasados de por vida.

- Alto nivel de automatización lo cual facilita una mayor información al operador y al personal de mantenimiento.
- Sistema de comunicación inteligente (avisa si se levanta el volteo, si el cinturón de seguridad está sin abrochar o si la puerta está abierta).

Tabla 1.4. Especificaciones técnicas del VOLVO A40E establecidas por Regalado (2013).

PARÁMETROS	U/M	VALOR
Motor	-	D12DABE2
Número máximo de revoluciones	rev/min	1800 2100
Potencia máxima	kW	346
Velocidad Máxima	km/h	57
Capacidad de carga	t	40
SAE raso	m ³	16,69
SAE2:1 Colmado	m ³	22,5
Peso Neto	t	32,3

1.3.3. Identificación de los caminos mineros establecidos en la UBMECECG

Los suelos de Moa se caracterizan por su color rojo púrpura; situados dentro de la región más extensa de la isla sobre macizos de rocas ultra básicas serpentinizadas representan en Cuba los perfiles que han sufrido un intemperismo más intenso y un mayor grado de evolución en las distintas etapas de su desarrollo (Barallobre, 2006). Estos tipos de suelos se puede clasificar como: suelos profundos, de baja fertilidad, de buen drenaje interno y gran parcelación del agua y muy friables.

Los suelos de la mina en la empresa de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara se dividen en lateríticos (se encuentran cerca de la superficie, parte superior del perfil) y serpentiniticos (se encuentra en la parte baja del perfil. Estos suelos tienen PH ligeramente ácido; la mayor acidez se manifiesta en la superficie. La aparición de surcos erosivos y cárcavas propicia el proceso de erosión que se manifiesta en estos suelos, ello constituye una de las causas principales en la ruptura del equilibrio ecológico en esta región.

Gabay, y Zemp (1979) refieren, que para los trabajos de excavación bastar la clasificación de los suelos en cinco grandes grupos:

- Tierra
- Marmita dura: suelo que ofrece gran resistencia a la penetración del útil. En general, es marga o arcilla compacta.
- Roca disgregada
- Arcilla solidificada
- Roca

1.3.3.1. Pasaporte técnico de los caminos mineros

Durante la construcción de los caminos mineros pueden presentarse tres tipos de secciones típicas: trinchera, terraplén, y de corte a media ladera.

El ancho de los caminos principales y secundarios es de:

- En terreno llano: 16 m sin berma.
- En media ladera: 18 m (incluye 2 m de berma).
- En relleno: 20 m incluido 4 m de berma.

El ancho y profundidad de las cunetas estará en función del área colectora que desagüe hacia el camino. El bombeo de los caminos principales es de un 2 %, el peralte. En los caminos secundarios el bombeo es 0 %.

Las capas que componen la superficie de los caminos mineros son:

Capa I. Material de espesor variable.

Capa II. Material escarificado, secado durante 1 ó 2 días y compactado, espesor 15 - 20 cm.

Capa III Mineral depositado en capa de 15 a 20 cm de espesor, seco y fundamentalmente compactado.

Capa IV Capa de estéril (grava) compactada de espesor 15 a 20 cm.

La pendiente longitudinal promedio es del 6 % y máxima admisible para los caminos mineros es de 10 %, en casos especiales hasta el 12 % y un radio mínimo para caminos principales de 50 m y para caminos secundarios de 20 m. La pendiente transversal en sentido opuesto a partir del centro de la vía debe de ser de (2 a 3 %); la pendiente transversal en los paseos debe llegar hasta 45 %.

Barallobre (2006) establece, que los caminos mineros no deben producir efecto de “montaña rusa” en curvas verticales ni efecto de lomo roto, evitándose las curvas de espirales. Se construirán barrera de seguridad o muros de contención de mineral de un metro de altura en los bordes de los caminos junto a precipicios, zonas profundas de minado antiguo y otros lugares peligrosos; se deben dejar ventanas para evacuar las aguas de lluvias en tramos de 20÷50 m para el caso específico. La franja de seguridad entre el borde del camino y el tendido eléctrico u otro obstáculo no debe ser menor de cinco metros. Se prohíbe la circulación de los camiones en lugares en que la visibilidad sea escasa o cuando las lluvias sean muy intensas. La plataforma de carga para camiones debe construirse horizontal o con pendiente de hasta 3 % para facilitar la salida del camión cargado.

El radio en las curvas horizontales mínimo es de 20 m y la pendiente en este caso es de 6 %. Ver tablas 1.5 y 1.6.

Tabla 1.5. Pendientes transversales referidas por Barallobre (2006).

Peralte (%)	6%	5%	4%	2-3%
Radio de la Curva, m	20 -125	125 -150	150 -200	200 – 400

Tabla 1.6 Sobre ancho de las curvas, Barallobre (2006).

Radio de la curva (m)	20	30	50	60	80	100	150-200	250-350	350- 450
Sobre ancho, m	2,6	2,0	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

Tabla 1.7. Radio de las curvas verticales establecidas por Barallobre (2006).

Velocidad de diseño (km/h)	80	60	40	30	20-10
Curva cóncava, m	500	300	200	100	100
Curva convexa, m	1 500	1 000	700	400	250

1.3.3.2. Construcción y trazado de los caminos mineros

El principal índice que caracteriza las dimensiones y construcción de los caminos es la tensión de carga, es decir, la cantidad de carga transportada en toneladas a través del sector en la unidad de tiempo. El proyecto y construcción del camino debe normarse para el tipo y categoría del camino que se establece la velocidad máxima, el ancho de la zona de rodamiento o calzada, la pendiente máxima, radio mínimo de la curva, y el tipo de recubrimiento (Pereda y Polanco, 1999). El camino consta del terraplén, el recubrimiento que forma la parte de rodamiento (calzada),

paseos y cunetas de desagüe. Las dimensiones de los diferentes elementos de la sección transversal de los caminos se establecen en función del equipo de transporte.

Montes de Oca (2003) considera, que el terraplén debe ser estático independientemente del régimen de las aguas lo cual se logra al elegir los terrenos firmes capaces de evacuar las aguas superficiales y subterráneas. El relleno de los caminos es preferible llevarlo a cabo con un material homogéneo. Para el desagüe a todo lo largo del terraplén se construyen las cunetas con una inclinación longitudinal de 2 a 4 %. El ancho del terraplén consta de la calzada (zona de rodamiento) y de los paseos. La calzada soporta la carga principal y en los caminos estacionarios suelen recubrirse. El ancho de la calzada se determina en función de la máquina, la velocidad del movimiento, y el número de sendas. El ancho de la calzada con el movimiento en ambas direcciones por una sola senda, se determina al considerar, que al pasar dos máquinas en dirección contraria la vacía se desvía por el paseo que debe tener un ancho de 2 a 2,5 m (Gabay y Zemp 1979); cuando hay dos sendas el ancho se determina por:

$$H = 2a \cdot k_v + \Delta B_d \quad 1.1$$

Donde: k : coeficiente que toma en consideración la velocidad resultante de dos máquinas; $k_v = 1,6 \div 1,9$, a : ancho de la máquina; m, ΔB_d : magnitud que se escoge en consideración de las dimensiones de la máquina: ancho, alto y largo, m. Para máquinas con capacidad de carga de 27; 40; 75 toneladas $\Delta B_d = 1,0; 1,3; 2,3$ (Shubin y Pedre, 1986).

Vasiliev y Nikolaiev (2006) plantean, que el ancho de la calzada de caminos temporales en el frente y en las escombreras se determina por las dimensiones de las máquinas. Para camiones de 25 a 75 toneladas se utilizan ancho de 10,5÷13,5 m. La superficie de la calzada se realiza con una inclinación para el desagüe doble o simple, el primer caso se ejecuta en los caminos principales, y el segundo en las curvas, escombreras y caminos en frente de trabajo. Para facilitar el paso a los caminos estacionarios en las curvas con radio de 200 m y menor se lleva a cabo el paso gradual del perfil de inclinación doble al simple mediante el aumento gradual del borde externo del camino.

1.3.3.3. Perfil longitudinal de los caminos mineros

Reyes (1987) esboza, que el perfil de la calzada se proyecta en forma de una línea gradual, y consta de plataforma, pendiente, y curvas verticales que unen sectores con diferentes pendientes. En la elección de la pendiente de cálculo se toma en consideración las características topográficas o de profundidad de las canteras, intensidad del movimiento, cualidad de tracción de la máquina, y clima de la región. Las grandes pendientes permiten disminuir considerablemente el volumen de movimiento de tierra sin embargo, disminuyen la velocidad y la capacidad de flujo del camino (transporte). La elección de la pendiente racional se lleva a cabo sobre la base de la evaluación de los índices técnico - económicos aplicables a las condiciones técnico-mineras existentes; además de que se ha considerar las propiedades de tracción de la máquina y la seguridad de la circulación. Para los tipos actuales de caminos con fórmula de rodamiento 4X2 las pendientes prácticamente se limitan al 70-90 %. Los sectores de gran longitud con recubrimiento de hormigón armado deben tener pendiente no mayor de 70 % cuando se transportan rocas fragmentadas firmes, y no más de 60 % cuando se transportan materiales arcillosos.

Spivakovski y Potapov (1983) consideran, que no se debe permitir pendientes mayores de 10 % ya que con esto aumenta considerablemente el desgaste de los neumáticos, y diferentes elementos de marcha de la máquina. Estos autores refieren además que cuando se utilizan semi remolques con fórmula 6X2 es racional hacer caminos de pendientes suaves 4÷6 % ya que este caso aumenta la velocidad de movimiento de la máquina, y la productividad del transporte en general. Cuando las máquinas transitan vacías la pendiente se limita generalmente solo por las condiciones de seguridad de la circulación, en este caso pueden alcanzar 120÷150 %. Cuando coincide el ascenso con una curva se debe suavizar el perfil longitudinal en la magnitud.

Estos autores plantean además, que en los puntos de transición (cambio rasante) y lugares donde la diferencia de pendiente alcanza valores por encima de los establecidos se ejecutan curvas para suavizar el movimiento de la máquina. Para velocidades de 20-40 km/h el radio mínimo de la curva convexa es de 200 - 500 m, y en la cóncava 150 - 200 m. La pendiente transversal varía entre 20 - 60 %. En las curvas como regla para seguridad de la circulación se amplía la calzada. La

dimensión del ensanchamiento depende del radio de curvatura y para calzada de doble senda se determina por:

$$b = \frac{l^2}{R} + \frac{0,1 \cdot v}{\sqrt{R}}; \text{ m} \quad 1.2$$

Donde, l: distancia de la defensa delantera al eje trasero de la máquina; m, R: radio de curva; m, v: velocidad de cálculo; km/h

Con radio de la curva de 20-30 m el ensanchamiento alcanza 1,5 a 2 m. En el movimiento por una sola senda esta magnitud disminuye a la mitad. El ensanchamiento se ejecuta en una longitud no menor de 20 m, mediante la disminución gradual del ancho de los pasos que en ningún caso debe ser menor de un metro.

1.3.3.4. Principales parámetros de los caminos mineros

Los caminos mineros se emplean para el traslado del mineral durante un plazo relativamente largo, en cuyo caso se denominan permanentes o principales. Más tarde en el proceso de extracción en el frente de trabajo los caminos se denominan provisionales o secundarios, y generalmente duran mientras existe el frente de trabajo determinado. Los caminos permanentes se utilizan en la superficie de la cantera, en las trincheras principales, en los escalones laboreados de la cantera o en los sectores de escombrera (Constain, 1982). El parámetro fundamental que caracteriza las dimensiones y la construcción de la vía, es la cantidad de carga que se traslada por un sector determinado de la misma en la unidad de tiempo.

La vía para camiones consta de la capa de tierra, la cubierta, y las obras de drenaje. La capa de tierra debe tener resistencia independientemente de los cambios de temperatura y los regímenes lluviosos, esto se consigue al hacer las capas del terreno más estables. La construcción de los caminos provisionales se diferencia bastante de las vías permanentes.

1.4. El fenómeno de la adherencia

La adherencia se puede considerar como la manifestación de dos tipos de fuerzas: las de fricción, que actúan en la superficie de apoyo del neumático y las de agarre, que se originan al apoyarse los elementos del neumático en el terreno. En las vías pavimentadas predominan las fuerzas de fricción y en los suelos deformables predominan las de agarre. En la práctica, en mayor o menor medida, siempre está

presente el patinaje en movimiento de la rueda. Para unas condiciones dadas de la vía, el valor del patinaje depende de las medidas y forma de la huella originada en el contacto rueda-suelo, del valor de la fuerza resultante en la superficie de contacto, del tipo de neumático, y de la reacción del peso en el puente. Con el fin de mostrar la influencia de la reacción del peso en el puente y la fuerza tractiva o de frenado, se representa la adherencia como la máxima fuerza que puede aplicarse al mismo sin que surja el patinaje total, la cual se denomina fuerza de adherencia (Fuentes *et al.*, 2010).

1.4.1. Tipo y estado de la vía

El tipo y estado de la vía tienen una influencia notable en el coeficiente de adherencia. Sus máximos valores en pavimentos rígidos se alcanzan para deslizamientos que oscilan alrededor del 10 al 20 %. En vías con pavimento deformable, en dependencia de sus cualidades, el valor máximo del coeficiente de adherencia puede alcanzarse para grandes valores de deslizamientos (hasta el 50 %). En suelos mullidos o arenosos la fuerza de adherencia cae bruscamente debido a la poca cohesión entre las partículas del suelo, que reducen tanto el componente de adherencia como el de fricción. En carreteras mojadas, aún para espesores de la película de 0,2 mm, se reduce el valor de este coeficiente. Para un determinado espesor se genera una fuerza hidrodinámica, que tiende a suspender la rueda y reduce el área de contacto directo (Fuentes *et al.*, 2010).

1.4.2. Velocidad de movimiento

Fuentes *et al.* (2010) plantea, que en vías secas y debilmente húmedas con el incremento de la velocidad, el coeficiente de adherencia decrece correspondientemente en alguna medida o aumenta debilmente (a causa de la evaporación de la humedad). En vías húmedas la influencia de la velocidad en el coeficiente de adherencia se debe al surgimiento de la fuerza hidrodinámica la cual es proporcional a la velocidad (v^2). En la medida en que esta fuerza es mayor, se imposibilita en mayor medida la salida de agua del área de contacto a través de los dibujos del protector. Por ello el desgaste del neumático influye tanto en el coeficiente de adherencia, para estas condiciones.

1.4.3. Características constructivas del neumático

La característica constructiva del neumático es otro de los parámetros que ejercen gran influencia en: las dimensiones de la rueda, y el dibujo del protector. El incremento del diámetro de la rueda incrementa significativamente el coeficiente de adherencia solo en terrenos mullidos. El dibujo del neumático influye en el parámetro antes mencionado, y en vías húmedas posibilita la salida del agua de la zona de contacto (Fuentes *et al.*, 2010).

1.5. Valores del coeficiente de resistencia a la rodadura establecidos por otros autores

Los equipos mineros actuales en explotación están diseñados con un alto nivel tecnológico que los hace más eficientes en el cumplimiento de la función para la cual son adquiridos.

Un colectivo de autores del Tecnológico “José Ramón Rodríguez” (1984) establece los valores del coeficiente de rodamiento (w_0), en los rangos que se refieren a continuación. Ver tabla 1.8

Tabla 1.8. Valores medios del coeficiente al rodamiento. Colectivo de autores del Tecnológico “José Ramón Rodríguez” (1984).

Naturaleza del camino	Valor medio w_0 (‰)
Pavimento	-
Hormigón	0,008+0,010
Asfalto	0,010+0,012
Adoquines	0,012+0,017
Grava apisonada	0,016+0,020
Tierra Apisonada	0,022+0,030
Arena Seca	0,110+0,15

Szczepaniak y Aragón (1974) coinciden en que la fuerza de resistencia a la rodadura se puede calcular a partir de 1,9 sin embargo refieren el coeficiente de resistencia a la rodadura del automóvil (w_0) en el rango de los valores siguientes. Ver tabla 1.9

Tabla 1.9. Coeficiente de resistencia a la rodadura del automóvil, Szczepaniak y Aragón (1974).

Tipo de camino	w₀ (‰)
Hormigón	0,010-0,020
Asfalto	0,012-0,022
Adoquines	0,015-0,025
Empedrado	0,025-0,060

Fernández y Denchev (1985) proponen los valores del coeficiente de rodadura para diversas condiciones del camino como refleja la tabla 1.10.

Tabla 1.10 Coeficiente que depende de la naturaleza de la pista establecidos por Fernández y Denchev (1985).

Naturaleza del camino de rodadura	Neumático alta Presión k; (kgf/t)	Neumático Baja Presión k; (kgf/t)
Hormigón liso	17,5	23
Macadan bien conservado	33,5	27,5
Carretera seca de tierra polvorienta	55	35
Tierra no trabajada	75	40
Tierra trabajada seca	95,5	45
Carretera de tierra con desigualdades del terreno	106	90

Por otro lado Potapov (1980) instituye los valores del coeficiente de rodadura según los valores establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 1.11. Valores del coeficiente de rodadura, Potapov (1985).

Tipo de camino	w₀
Asfalto	15-20
Hormigón liso	25-30
Macadan bien conservado	25-40
Carretera seca de tierra polvorienta	40-60
Tierra no trabajada	60-100
Tierra trabajada seca	90-150
Carretera de tierra con desigualdades del terreno o con una superficie llena de barro	120-200

Por su parte Barallobre (2006) establece los valores del coeficiente de resistencia a la rodadura en los siguientes rangos. Ver tablas 1.12 y 1.13

Tabla 1.12. Coeficiente de resistencia a la rodadura, Barallobre (2006).

Caminos	Estado del camino		
	Seco	Húmedo	Muy húmedo
Principales	--	--	--
Asfalto	0,7	0,4	0,25
Hormigón asfaltado	0,7	0,45	0,3
Piedra tratada superficialmente	0,75	0,5	0,4
En los frente de trabajo	0,6	0,4-0,5	--
Escombreras	0,4-0,5	0,2-0,3	--

Tabla 1.13. Coeficiente de resistencia al movimiento, Barallobre (2006).

Tipo de camino	w₀ (N/kN)
Recubrimiento de asfalto	150-200
Recubrimiento de cascajo	300-350
Temporales en los frentes	500-1000

Nótese que en ningunos de los trabajos antes referidos los autores consideran los caminos temporales y permanentes diseñados para el traslado de menas lateríticas mullidas, y por ende el valor del coeficiente de rodadura establecido en los mismos.

1.6. Consideraciones teóricas acerca del transporte automotor

Walker (2003) da a conocer un software creado en Visual Basic en el cual es posible graficar la vida económica de la maquinaria base sobre la cual se hace una comparación con maquinaria nueva, y se toma la decisión de reemplazo; el parámetro antes referido se grafica en función del tiempo y los costos de mantenimiento del equipo. Este autor incluye además el análisis de sensibilidad en la toma de la decisión de reemplazo.

Ramón (2010) presenta la reformulación de un ciclo teórico que consta de los elementos básicos de un ciclo de viaje real con condiciones prefijadas de movimiento y operación. Este autor analiza elementos tales como: frecuencia de

rotación mínima en movimiento estable; eficiencia de la transmisión variable con la velocidad, la carga y la marcha conectada; se establece un nuevo criterio de frecuencia de rotación del motor para el cambio de marchas obteniéndose nuevos modelos matemáticos para la determinación de los indicadores del consumo de combustible de vehículos pesados de transmisión mecánica sin embargo se aprecia, que a la hora de definir el consumo de combustible del vehículo este autor no considera la influencia del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) parámetro de vital importancia a la hora de definir este indicador.

Andronic *et al.* (2013) analiza la operación de rodadura de un vehículo con sistema de suspensión pasiva y dos grados de libertad. Estos autores plantea las ecuaciones que caracterizan el sistema, y les da solución a través del empleo del Software Matlab sin embargo en el trabajo, no se refiere el análisis de perfiles en caminos (temporales y permanentes) mineros altamente empleados en la actividad minera mundial.

Mitra *et al.* (2014) desarrolla un modelo en Matlab/Simulink para un vehículo completo que se desplaza por diferentes perfiles del camino. Este autor centra su atención en el análisis del confort del vehículo durante la rodadura del mismo. Los modelos establecidos son analizados y validados a partir de la solución analítica de un sistema de ecuaciones matriciales. Considérese, que en el estudio antes descrito no se evalúan la influencia que ejercen los caminos temporales y permanentes sobre los parámetros del camión.

Patel (2010) modela la vibración generada durante el traslado de un vehículo por un perfil de camino determinado. El autor antes referido establece un algoritmo que convierte las señales de entrada en medidas del perfil del camino. El algoritmo propuesto se verifica para una parte del vehículo y cuatro grados de libertad del mismo. El autor antes referido da un paso superior al introducir propiedades de un acelerómetro y sensores láser, sin embargo en la investigación no se analiza el movimiento del vehículo por los caminos temporales y permanentes ampliamente empleados en la actividad minera.

Agostinacchio *et al.* (2013) analiza el incremento de las fuerzas y tensiones dinámicas producto de las vibraciones generadas por las irregularidades del camino durante el movimiento del vehículo por una vía pavimentada. En el trabajo se

examina la interacción de fuerzas entre el pavimento y la tipología del vehículo (se analizan ligeros, ómnibus y rastras). El autor antes mencionado muestra como la sobrecarga dinámica provocada por la tensión de vibración puede ser predeterminada en función de la degradación de la superficie pavimentada. Como se puede apreciar este autor desarrolla su investigación para vías/caminos pavimentadas superficies de rodadura que presentan características totalmente diferentes a las de los caminos mineros (temporales y permanentes).

Johannesson (2014) realiza un estudio de la fuerza vertical que actúa sobre el vehículo dado su papel determinante en la durabilidad del mismo. Este autor emplea modelos estocásticos del perfil del camino (dado que el perfil del camino puede ser reconstruido a partir de indicadores de asperezas) para determinar un modelo matemático. El autor antes mencionado utiliza modelos de Laplace para estimar las asperezas del perfil analizado. Se ha de destacar, que este autor no generaliza su estudio a todo tipo de vehículos sino, que centra su estudio en automóviles ligeros equipos con características constructivas y de funcionamiento totalmente diferentes a los camiones mineros VOLVO A 40E

Samy y Omar (2012) modelan teóricamente las irregularidades del perfil del camino a partir de modelos no lineales del vehículo. En la investigación se generan tres clases de calidades de superficies (en todos los casos la simulación de la superficie del camino es generada en forma de desplazamientos verticales). Véase, que en el estudio no se tienen en cuenta los caminos mineros (temporales y permanentes) empleados en el transporte de mineral lateríticos.

Smorodinov (1989) analiza equipos tales como: las excavadoras y los camiones Beláz-540. Este autor entre otros parámetros determina la productividad real de cada excavadora, y el coeficiente de uso; sin embargo para las condiciones actuales de explotación que impone la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara estos indicadores no pueden dar una valoración objetiva del equipamiento de carga y transporte en general, pues los equipos que actualmente emplea esta unidad (camiones VOLVO A 40E) presentan características técnicas totalmente diferentes a los vehículos antes referidos.

Vasiliev y Polanco (1989) proponen un método, que permite determinar con rapidez y sin cálculos complejos la cantidad necesaria de camiones. En este caso los autores consideran camiones del tipo BELAZ-540 en las condiciones de explotación

de la minas de la empresa Pedro Soto Alba y la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara; sin embargo es necesario señalar que este procedimiento no es efectivo pues no considera el empleo de excavadoras de diferentes capacidades de la cuchara y camiones con diferente capacidad de su caja de carga (si se tiene en cuenta que actualmente los camiones usados son de la marca VOLVO); además no tiene en cuenta que en un mismo turno los camiones se cargan con diferentes excavadoras y por consiguiente el tiempo varía considerablemente.

Estévez (2010) analiza y calcula el proceso de transportación de mineral desde el frente de extracción hasta el proceso industrial; sin embargo este autor en su estudio no considera la influencia que tiene la precisión del cálculo de tracción a través del establecimiento del valor real del coeficiente de agarre de las ruedas del camión con los caminos mineros en las condiciones de explotación que impone la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, así como las afectaciones que provoca el mineral pegado a la caja de carga del camión VOLVO A40E.

Matos (2008) analiza y calcula los indicadores técnicos de varios vehículos que laboran en diferentes áreas (Yacimiento Moa Oriental); particular atención se le otorga al cálculo del índice de consumo de diesel (L/t de mineral transportado) del parque analizado sin embargo se aprecia, que este autor no considera la influencia de factores tales como: tipo de superficie de rodadura (valores reales del coeficiente de agarre de las ruedas de los vehículos con la superficie de rodadura de los caminos), pendiente de los caminos mineros, entre otros factores de vital importancia a la hora de definir este indicador (consumo de combustible).

Martínez (2013) realizó un estudio de la productividad, consumo de combustible, y masa transportada por los camiones mineros. El autor antes referido analiza también los planes de operaciones y registros del control a la producción de la empresa, así como las variables registradas por el sistema de posicionamiento global; sin embargo durante el análisis realizado no se aprecia, que este autor considera el cálculo del consumo real de combustible en función del nivel de adherencia del material a la caja de carga del camión, así como el considerar las condiciones reales de rodadura de los camiones por los caminos mineros (temporales y permanentes).

Durán (2003) desarrolla una investigación donde emplea las técnicas de análisis estadístico para evaluar el comportamiento de estos vehículos y sus agregados (switch de arranque, motor, caja de velocidad, radiador). En el informe se determinan los tiempos de trabajo medio sin fallo, tiempo de averías, y de revisiones. Se analiza además el coeficiente de utilización técnica, coeficiente de disponibilidad, coeficiente de roturas, y los indicadores de fiabilidad de estos equipos; sin embargo no se realiza un estudio de los parámetros técnicos (coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones con la superficie de los caminos mineros, la influencia del mineral adherido a la caja de carga del camión, el consumo de combustible y, los coeficientes de llenado) y su influencia el funcionamiento de estos equipos.

Sánchez y Romero (1981) evalúan el aprovechamiento de las capacidades de transporte a partir del estudio de todos los factores que influyen en la correcta explotación de los camiones BERLIET. En el informe se determina la fuerza de tracción en las ruedas del camión; se calculan además las fuerzas de resistencia al movimiento, resistencia al rodamiento, y resistencia a la elevación; finalmente se grafican las características dinámicas del equipo. Nótese que el trabajo antes referido aborda el estudio de camiones mineros del tipo BERLIET, vehículos con características distintas a las que exponen vehículos tales como los VOLVO A 40E; añádase a esto que se analizan las condiciones de explotación que refiere la mina Martí en Nicaro unidad donde las propiedades de las menas lateríticas transportadas varían considerablemente respecto de la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Rojas (2007) establece una metodología para el cálculo de tracción de los camiones mineros, sin embargo en el trabajo no se determina el coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones con la superficie de los caminos mineros, tampoco así la influencia de las menas lateríticas adheridas a la caja de carga del camión.

Barallobre (2006) analiza la problemática de los caminos y camiones mineros. Este autor establece la metodología de cálculo empleada para la determinación de los principales parámetros del transporte empleado en esta entidad, sin embargo en la investigación desarrollada no se considera la influencia del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) más aún, siquiera refiere la problemática asociada al

fenómeno de la carga viajera que tanto afecta los parámetros de explotación de estos equipos.

Toirac (2010) valora la incidencia que tiene el buen funcionamiento de los equipos de carga y transporte (camiones) en la estabilidad del cumplimiento del objeto social que refiere la actividad minera. El autor antes referido centra su atención en determinar la vida útil del transporte automotor minero sin embargo este no considera la influencia que ejercen sobre el trabajo del equipo fenómenos tales como: los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones con la superficie de rodadura de los caminos (temporales y permanentes), así como las menas adheridas a la caja de carga de estos equipos.

1.7. Conclusiones del capítulo 1

1. La investigación realizada muestra, que la temática del transporte automotor minero ha sido ampliamente abordada por diversos autores, sin embargo aún persisten deficiencias a la hora de establecer el comportamiento de los parámetros tecnológicos y de explotación de los camiones mineros VOLVO A 40E considerando fenómenos tales como las menas lateríticas mullidas adheridas a la caja de carga de estos equipos.
2. Los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara aún no se han determinado por ninguno de los autores referidos en el cuerpo del trabajo.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción

El estudio de la dinámica de las máquinas automotrices, reviste especial importancia porque constituye el basamento de un sin número de análisis tales como: la selección y evaluación del parque vehicular, su composición, los análisis de consumo de combustible, la estabilidad de movimiento, capacidad de paso y maniobrabilidad, entre otros.

En el capítulo los objetivos propuestos son:

- Establecer la metodología de cálculo que posibilite evaluar los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) de los camiones mineros VOLVO A40E empleados en el acarreo de menas lateríticas de la unidad básica minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
- Describir las técnicas experimentales empleadas en la investigación.

2.2. Relaciones empleadas en el cálculo de tracción

2.2.1. Coeficiente de tara

El coeficiente de tara es el parámetro que caracteriza la economía del camión, este parámetro está caracterizado por la siguiente expresión.

$$K_t = \frac{P_0}{q_0} \quad 2.1$$

Donde, P_0 : peso propio del camión; t , q_0 : capacidad de carga del camión; t

2.2.2. Fuerza de tracción

Diakov (1996) refiere, que la fuerza de tracción depende de la potencia de los motores, del tipo de transmisión, y del peso de la máquina. Se distinguen tres tipos de fuerzas de tracción en la máquina: fuerza indicada (F_i), fuerza tangencial (F_t), y la fuerza útil (F_u). La fuerza útil es la que se tiene en el gancho del camión y es igual a la fuerza de tracción tangencial menos las fuerzas de resistencias al movimiento del camión $\sum W$. La fuerza de tracción tangencial que regula el cambio de la cantidad de combustible en el cilindro, el cambio de la relación de transmisión en la caja de

velocidades o en la excitatriz del generador puede determinarse por la siguiente expresión:

$$F_t = \frac{3600 \cdot N_m}{v} \cdot \eta_r \cdot \eta_{tr} \quad 2.2$$

Donde, N_m : potencia del motor; kW, v : velocidad del movimiento del camión; km/h, η_{tr} : es el rendimiento desde el eje del motor hasta el de la rueda en movimiento; $\eta_{tr}=0,85 \div 0,98$ para transmisiones mecánicas y $\eta_{tr}=0,8 \div 0,85$ para transmisiones hidromecánicas, $\eta_r=0,8 \div 0,90$ para transmisiones electromecánicas, η_r : es el rendimiento de la rueda motriz; $\eta_r=0,7 \div 0,9$.

$$v = \frac{60 \cdot \pi \cdot d \cdot n_m}{1000 \cdot i_p \cdot i_{cv}} ; \text{ km/h} \quad 2.3$$

Se recomienda: $v=10 \div 20$ km/h, para $i=7 \div 8$ %

Donde, d : diámetro de las ruedas motrices del automóvil; m, n_m : revoluciones por minutos del cigüeñal; rev/min, i_p : relación de transmisión del engranaje principal, i_{cv} : relación de transmisión de la caja de velocidades para cada régimen de movimiento.

Constain (1982) establece que el valor máximo de la fuerza de tracción está limitado por las condiciones de adherencia de las ruedas en movimiento y la cubierta de la vía:

$$F_{t.máx} \leq 1000 \cdot P_{ad} \cdot \psi \cdot g ; \text{ N} \quad 2.4$$

Donde; P_{ad} : peso de cohesión de la máquina; t, g : aceleración de la gravedad; m/s^2 , ψ : coeficiente de adherencia. Ver tabla 2.1

Tabla 2.1. Peso de cohesión establecidos por Constain (1982).

Característica de tracción	4x2	4x4	6x2	6x4	6x6
Peso de cohesión de la máquina	0,65*P	P	0,4*P	0,7*P	P
Coefficiente de peso de cohesión	1,0	0,5	0,4	0,7	0,9

2.2.3. Fuerzas de resistencia al movimiento

2.2.3.1. Fuerza de resistencia principal

La resistencia principal al movimiento se determina a través de la siguiente relación (Polanco, 1996)

$$W_p = w_0 \cdot P ; \text{ N} \quad 2.5$$

$$P = P_0 + P_c \quad 2.6$$

Donde: P: peso total del camión; t, P_c : peso de la carga; t, w_0 : coeficiente de resistencia al movimiento; N/t.

2.2.3.2. Fuerza de resistencia al aire

Polanco (1996) reseña, que a través de la aerodinámica se han demostrado principios y leyes que rigen el movimiento de los cuerpos a través del aire. Cuando un flujo no se adapta perfectamente al contorno de un objeto, se crea una turbulencia que da lugar a la denominada resistencia de forma. La fuerza de resistencia al aire se define a partir de la siguiente relación.

$$W_a = \lambda_{II} \cdot A \cdot (v_a \pm v_b)^2 ; \text{ N} \quad 2.7$$

Donde, λ_{II} : coeficiente que toma en cuenta el modelo aerodinámico de la máquina. (para camiones de cantera se toma $\lambda = 5,5 \div 7$), v_a : velocidad del automóvil; km/h, v_b : velocidad del viento; km/h y A : área frontal de la máquina; m^2 . Este valor se calcula aproximadamente como el producto del carril del automóvil por su altura. Ver Figura 2.1.

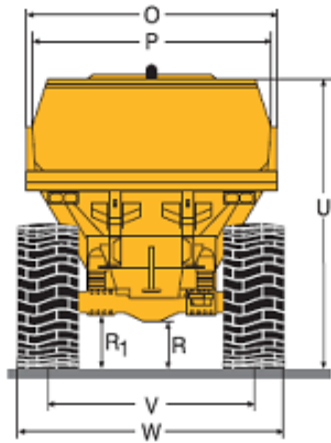


Fig. 2.1 Vista del camión.

$$A = U \cdot Z \quad 2.8$$

Donde; U: altura; mm, Z: espacio entre ruedas; mm

2.2.3.3. Fuerza de resistencia debido a la pendiente

Según Spivakovski y Potapov (1983) no se deben permitir pendientes mayores de 100 % ya que con esto aumenta considerablemente el desgaste de los neumáticos, y diferentes elementos de marcha de la máquina. Los valores de la fuerza de resistencia a la pendiente se establecen a partir de la siguiente ecuación.

$$W_i = w_i \cdot P ; N \quad 2.9$$

$$w_i = g \cdot i \quad 2.10$$

Donde, w_i ; coeficiente que considera la pendiente; N/t, i : pendiente del tramo del camino.

2.2.3.4. Fuerza de resistencia en las curvas

En los puntos de transición (cambio rasante) y lugares donde la diferencia de pendiente alcanza valores por encima de los establecidos se ejecutan curvas para suavizar el movimiento de la máquina (Spivakovski y Potapov, 1983). Cuando coincide el ascenso con una curva se debe suavizar el perfil longitudinal en la magnitud que refiere la siguiente expresión.

$$W_c = 300 \frac{200 - R}{200} R ; N \quad 2.11$$

R : radio de la curva; m

2.2.3.5. Fuerza de resistencia a la inercia

Fuentes *et al.* (2010) refiere, que la fuerza de inercia actúa sobre la máquina automotriz cuando el vehículo se mueve con una aceleración ($dv/dt \neq 0$) y se trata como uno de los componentes de todas las resistencias que intervienen sobre el vehículo automotriz durante su movimiento. La fuerza de inercia relacionada con la masa, durante el movimiento a una velocidad $v=f(t)$, se representa por la siguiente expresión.

$$W_j = 1000 \cdot P \cdot (1 + \Omega) \cdot \frac{dv}{dt}; \text{ N} \quad 2.12$$

Donde, Ω : coeficiente de inercia de las masas que giran (depende del tipo de transmisión), $\Omega=0,03 \div 0,001$ para transmisiones hidromecánicas y el carro vacío, $\Omega=0,085 \div 0,07$ para transmisiones hidromecánicas y el carro cargado, $\Omega=0,1 \div 0,15$ para transmisiones electromecánicas, $\frac{dv}{dt}$: aceleración; m/s^2 .

2.2.4. Velocidad y tiempo del movimiento del automóvil

En los cálculos de tracción se utiliza la velocidad técnica; su valor está caracterizado por las condiciones del camino en cada uno de los tramos por los que se desplaza el camión (Spivakovski y Potapov, 1983), la misma se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$v_{est} = \frac{2 \cdot v_{tc} \cdot v_{tv}}{v_{tc} + v_{tv}} \quad 2.13$$

Donde, v_{est} : velocidad media para vías estacionarias; m/s , v_{tc} : velocidad técnica, camión cargado; m/s , v_{tv} : velocidad técnica, camión vacío; m/s

2.2.5. Consumo de combustible

Spivakovski y Diackov (1968) definen el cálculo del consumo de combustible para un viaje completo a partir de la siguiente ecuación:

$$C_{comb} = 0,78 \cdot \left[(1 + 2K_t) \cdot L \cdot \frac{\omega_0}{1000} + H \cdot \frac{(1 + K_t)}{1000} \right] \cdot q_0; \text{ kg} \quad 2.14$$

Donde, L : distancia de transportación; km , H : profundidad del ascenso; m .

Para el gasto real ($C_{comb,real}$) se tiene que:

$$C_{comb.real} = C_{comb} \cdot k_c \cdot k_i \cdot k_m \quad 2.15$$

Donde, k_c : coeficiente que toma en consideración el incremento en el consumo de combustible en periodo de lluvia en 1,1-1,2, k_i : coeficiente que toma en cuenta el gasto complementario de combustible por necesidades internas del taller (regulación, pruebas etc.); se considera el 6 % aproximadamente del gasto de combustible en 100 km de recorrido, k_m : coeficiente que toma en consideración el gasto de combustible en las maniobras, se toma de $k_m = 1,05 \div 1,10$.

2.3. Relaciones empleadas en el cálculo de explotación

2.3.1. Tiempo de ciclo del camión

El ciclo de trabajo de los camiones incluye las operaciones de carga, recorrido cargado, muestreo, descarga, limpieza de la cama del camión, regreso al punto de carga y las maniobras entre operaciones. La duración de cada una de éstas operaciones se establecen para el régimen de trabajo y las condiciones de explotación de la cantera.

$$T_{ciclo} = t_c + t_{rc} + t_{rv} + t_d + t_m \quad 2.16$$

Donde, t_c : tiempo de carga del camión; min, t_d : tiempo de descarga del camión; min, t_m : tiempo de maniobra entre operaciones; min, t_{rc} : tiempo de recorrido cargado; min, t_{rv} : tiempo de recorrido vacío; min.

El tiempo de carga del camión se determina en igualdad de condiciones, con un peso de la carga desbrozada (γ_D):

$$\gamma_D = \frac{\gamma}{K_e} \quad 2.17$$

Cuando $\gamma_D \succ \frac{\delta_s}{K_e}$ el tiempo de carga se determina a partir de la capacidad de

carga del camión q_0 , cuando $\gamma_D \prec \frac{q_0}{P_{excav}}$ el tiempo de carga se determina a partir

de la capacidad de la caja del camión:

En el primer caso:

$$t_{II} = \frac{q_0}{Q_{excav}} = \frac{q_0 \cdot t_{cic}}{0,9 \cdot V_{excav} \cdot K_{II} \cdot \gamma} ; \text{min} \quad 2.18$$

En el segundo caso se tiene que:

$$t_{II} = \frac{V_0}{Q_{excav.vol}} = \frac{V_0}{0,9 \cdot V_{excav} \cdot K_{II}} ; \text{min} \quad 2.19$$

Donde, Q_{excav} : productividad técnica de la excavadora; t/h, $Q_{excav.vol}$: productividad técnica de la excavadora (volumétrica para la masa desbrozada); m^3/h , V_0 : capacidad de la caja del camión, que se toma para los cálculos de 15 a 25 % mayor que la capacidad geométrica; m^3 , t_{cic} : tiempo del ciclo de la excavadora; min, V_{excav} : capacidad volumétrica del cubo de la excavadora; m^3 .

2.3.1.1. Tiempo de recorrido cargado y vacío

El tiempo necesario para los recorridos cargado y de regreso al punto de carga depende de la velocidad que pueda desarrollar el camión que a su vez depende de varios factores: del estado técnico del equipo, condiciones de las vías de comunicación y condiciones climáticas.

$$t_{rc} + t_{rv} = \frac{60 \cdot L}{V_{rc}} + \frac{60 \cdot L}{V_{rv}} \quad 2.20$$

Donde, L : distancia de transportación; V_{rc} : velocidad promedio establecida (camión cargado), V_{rv} : velocidad promedio establecida (camión vacío).

2.3.2. Productividad horaria del camión

En la literatura (Pereda y Polanco, 1999) los parámetros de explotación del transporte automotor minero están interrelacionados a través de:

$$Q = \frac{60 \cdot T_j \cdot q_0 \cdot K_d \cdot K_{up}}{T_{ciclo}} \quad 2.21$$

Donde, Q : productividad del camión, t/jornada; K_{up} : coeficiente de utilización del parque, $K_{up}=0,75 \div 0,8$; K_d : coeficiente de disponibilidad; T_j : tiempo de duración de una jornada de trabajo; h/jornada.

2.3.3. Índice de consumo del camión

El gasto de combustible en la unidad de trabajo de transportación se determina como la relación entre el consumo horario de combustible (C), entre la productividad horaria (Q_{hora}) del vehículo (Spivakovski, (1968).

$$I_c = \frac{C}{Q_{hora}} \quad 2.22$$

Donde, I_c : índice de consumo del camión; I , C : consumo por hora del camión, Q_{hora} : productividad horaria del camión; t.

2.3.4. Cantidad de camiones necesarios para la extracción

Para la determinación de la cantidad de camiones necesarios para la extracción se emplea un método gráfico (nomograma). La cantidad de camiones requerida para la transportación del volumen total de masa minera en una mina a cielo abierto aumenta significativamente la operatividad económica de la misma. En este caso los equipos mineros tendrán un coeficiente de utilización elevado, mejorará el estado técnico de los camiones y el costo de producción del mineral útil disminuirá (Vasiliev y Polanco, 1896).

2.4. Diseño de experimentos

Es importante que el diseño sea lo más simple pero además, existe el problema de que la investigación se debe conducir de forma tal que sea económica y eficiente, así como hacer todo el esfuerzo posible por lograr ahorro de tiempo, de dinero, de personal y de material experimental.

Para la confirmación de la hipótesis del experimento que refiere la determinación del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, se escogió un diseño de experimento de bloques aleatorio con una variable de entrada (i) y siete niveles (tratamiento), y se estratificó con arreglo al parámetro carga (camión cargado y camión vacío), y sentido del movimiento del camión (movimiento del camión en pendiente hacia arriba y hacia abajo).

Por otro lado, para la validación de la hipótesis del experimento que refiere la cantidad de menas lateríticas adheridas a la caja de carga del camión VOLVO A40E

se escogió un diseño de experimento completamente aleatorio con una variable de entrada (N_{viajes}) y siete niveles.

2.4.1. Selección de las variables de entrada y sus niveles

En la determinación del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) la variable de entrada (i) se consideró en el orden de dos a nueve % (Barallobre, 2006). Se escogió esta variable debido a su marcada influencia en los valores del coeficiente de agarre, además de la facilidad a la hora de cuantificar.

En lo que refiere la cantidad de menas lateríticas adheridas a la caja de carga de los camiones VOLVO A 40E la variable de entrada (N_{viajes}) se consideró en el orden de uno a siete viajes con el propósito de analizar la variabilidad de dicho parámetro con vista a una posible racionalización de la frecuencia de raspado.

Es necesario destacar, que tanto en las menas lateríticas adheridas a la caja de carga del camión VOLVO A40E así como, en los valores del coeficiente de agarre de las ruedas con la superficie de los caminos mineros influyen aunque en menor cuantía parámetros tales como: la masa volumétrica del material, el ángulo de reposo del mineral, la humedad de las menas lateríticas, el coeficiente de llenado del camión y la excavadora, entre otros. A continuación se refieren las particularidades en la medición de algunos de ellos.

Medición de la humedad del mineral y del camino

El proceso de medición de la humedad de los minerales lateríticos se realizó por el método tradicional de diferencia de pesadas, se eligió este por su sencillez y fácil aplicación. Para determinar la humedad del mineral se tomaron muestras (al menos seis muestras) de las pilas de mineral escogidas. Las muestras escogidas tenían un peso de alrededor 150 g; luego de pesadas estas fueron sometidas al secado en una estufa por un tiempo de cuatro horas a una temperatura de 115 °C, y posteriormente sometidas a un enfriamiento y pesado. Obtenido el peso de las muestras se procede a determinar el contenido de humedad en el mineral mediante la siguiente expresión (Mediaceja, 2007). Ver anexo XI.

$$H = \frac{W_I - W_F}{W_I} \cdot 100 \quad 2.23$$

Donde, H: contenido de humedad; (%), W_i : peso inicial de la muestra; g, W_f : peso final de la muestra; g.

Medición del coeficiente de esponjamiento

Para determinar este parámetro se midió el volumen del mineral mullido, una vez descargado este se determinó el volumen de la cavidad que se produce al extraer el mineral adherido a caja de carga del camión, y finalmente se relacionan estos. Ver Anexo XII.

$$Ke = \frac{Vm}{Vh} \quad 2.24$$

Donde, V_m - volumen del mineral mullido; m^3 , V_h - volumen del hueco al extraer el mineral; (m^3).

Medición del coeficiente de llenado del camión

Para determinar este coeficiente se implementaron los siguientes pasos:

- Cargar el camión con la excavadora al máximo de su capacidad.
- Medición del volumen del mineral en la cama del camión (topógrafos)
- Descargar el camión, medir el volumen descargado, y compararlo con el volumen del mineral en la cama del camión, luego determinar el volumen real.
- Cálculo del coeficiente de llenado del camión.

Medición del coeficiente de llenado de excavadora

Para determinar el coeficiente de llenado de la excavadora se empleó la siguiente relación.

$$X_a = \frac{V_m}{V_{geom}} \quad 2.25$$

Donde, V_m : volumen del mineral extraído por la excavadora a su máximo de capacidad; m^3 , V_{geom} : volumen geométrico de la retroexcavadora; m^3

2.4.2. Caracterización de las variables de salida

Luego de haber medido experimentalmente los valores de la fuerza de tracción (medidas por el dinamómetro), así como el peso del camión (P_0) y el peso de la carga (P_c), ver tabla 10 del anexo X; se procedió al cálculo de los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Los valores experimentales del parámetro antes mencionado se obtuvieron a partir de la siguiente expresión.

$$w_{ag} = \frac{F_t}{P} \quad 2.26$$

Donde, F_t : fuerza de tracción medida en el dinamómetro; N , w_{ag} : coeficiente generalizado de resistencia a la rodadura (coeficiente de agarre); N/kN

Para el experimento que refiera la cantidad de menas adheridas a la caja de carga del camión VOLVO A 40E se analiza como parámetro de salida los porcentos de menas adheridas (q_{adh}), este parámetro se expresa en %, y la misma puede depender de factores tales como: la masa volumétrica del material, el ángulo de reposo, la humedad inicial y final de las menas lateríticas, coeficiente de llenado del camión y la excavadora, entre otros.

2.4.3. Matriz de experimentación

El diseño estadístico de experimentos contempla una amplia variedad de estrategias experimentales que son adecuadas para generar la información que se busca. Estos experimentos están planeados de forma que se varían simultáneamente varios factores, pero se evita que se cambien siempre en la misma dirección. Al no haber factores correlacionados se evitan experimentos redundantes. Además, los experimentos se complementan de tal modo que la información buscada se obtiene al combinar las respuestas de todos ellos. Se realizará el tratamiento matemático de las variables involucradas en el proceso, que después de un estudio preliminar, se consideran que las más importantes son las que aparecen reflejadas en la tabla. 2.2

Tabla 2.2. Matriz de planificación del experimento. Coeficiente de agarre. Camión cargado

	Bloques	
	Hacia arriba	Hacia abajo
Pendiente	Réplicas	Réplicas
i=2	w_{ag}	w_{ag}
i=3	.	.
i=4	.	.
i=5	.	.
i=6	.	.
i=7	.	.
i=9	.	.

Tabla 2.3. Matriz de planificación del experimento. Coeficiente de agarre. Camión vacío

	Bloques	
	Hacia arriba	Hacia abajo
Pendiente	Réplicas	Réplicas
i=2	W_{ag}	W_{ag}
i=3	.	.
i=4	.	.
i=5	.	.
i=6	.	.
i=7	.	.
i=9	.	.

Tabla 2.4. Matriz de planificación del experimento. Menas lateríticas adheridas.

	Cantidad de viajes del camión						
	$N_{viaje.1}$	$N_{viaje.2}$	$N_{viaje.3}$	$N_{viaje.4}$	$N_{viaje.5}$	$N_{viaje.6}$	$N_{viaje.7}$
1	Rep.$q_{adh.1}$	Rep.$q_{adh.2}$	Rep.$q_{adh.3}$	Rep.$q_{adh.4}$	Rep.$q_{adh.5}$	Rep.$q_{adh.6}$	Rep.$q_{adh.7}$
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
10							

2.4.4. Materiales empleados en los experimentos

1. Para medir la humedad del mineral se utilizaron:

Bandeja: empleada para depositar el mineral.

Balanza digital: utilizada para pesar las muestras escogidas.

Estufa: para el secado del mineral.

Reloj: empleado para medir el tiempo de secado del mineral.

Para determinar el coeficiente de resistencia a la rodadura se emplearon los siguientes equipos:

Dinamómetro: aparato utilizado para medir la fuerza de arrastre entre los camiones.

Rango de medición hasta 150 kN

Barra de tiro: elemento empleado para acoplar el dinamómetro entre los camiones.

Pesa: dispositivo empleado para pesar los camiones ya sean cargados de mineral o vacíos.

Modelo de la pesa

YUK – 1 – 500/10000 – 10 – 20.0

N 8126.....Año: 1986

3. Para determinar el coeficiente de esponjamiento, el coeficiente de llenado del camión, y el coeficiente llenado de la retroexcavadora se utilizaron:

Tatímetro electrónico: instrumento topográfico que permite determinar el volumen de la pila y el del hueco formado por la cuchara de la retroexcavadora.

Cinta métrica de cinco metros: unidad empleada para medir las dimensiones del hueco formado por la cuchara de la retroexcavadora y tamaño de la pila formada por el mineral mullido.

Jalón o bastón topográfico con reflector incorporado: elemento individual del teodolito.

Trípode o base: dispositivo para sostener el teodolito.

Datos técnicos del Tatímetro electrónico;

Modelo: TCR803 Power

Nivel de precisión: $\pm 5\text{mm}$

2.5. Elementos del procesamiento estadístico

Muestreo aleatorio simple

Se utilizó el muestreo aleatorio simple a partir de las expresiones de cálculos recomendadas por Miller *et al.* (2005). Este muestreo se seleccionó teniendo en cuenta las características propias que refiere la experimentación de las menas lateríticas adheridas, y con el propósito de asegurar la objetividad en los resultados. La cantidad de mediciones a realizar se determinó en función del siguiente modelo:

$$n_{\text{muestra}} = \left(Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{E} \right)^2 \quad 2.27$$

Dónde: $Z_{\alpha/2}$ – Es el estadístico de la distribución normal, que se determina en tablas estadísticas.

α – Es el nivel de significancia.

σ – Es la desviación típica poblacional, se expresa en la misma unidad de medida del parámetro.

E - Es el error máximo de estimación, y se expresa también en la misma unidad de medida del parámetro.

$n_{muestra}$ - Es el tamaño mínimo de la muestra.

La expresión anterior permitió hallar el tamaño mínimo que debe tener la muestra (al menos tres muestras para los casos de estudio), para que los resultados sean representativos del proceso objeto de estudio. Ahora bien, de acuerdo con Calero (1986) se procuró lograr un compromiso adecuado entre representatividad, costo, y productividad para que el muestreo sea eficiente.

La cantidad de mediciones a realizar se determinó al considerar las siguientes aproximaciones para el cálculo: estadístico de la distribución normal igual a 1,96, nivel de significancia igual a 0,1, error máximo de estimación igual a la desviación típica y un nivel de confianza del 95 %.

Aseguramiento de la normalidad

El análisis estadístico de la medida de la tendencia central se efectuó a partir del empleo de las expresiones matemáticas que se refieren a continuación de acuerdo con Miller *et al.* (2005).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n} \quad 2.28$$

$$LT_{Xmáx} = \bar{X} + t_{\alpha/2} \cdot S \quad 2.29$$

$$LT_{Xmín} = \bar{X} - t_{\alpha/2} \cdot S \quad 2.30$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad 2.31$$

Dónde:

$\bar{X}$ - Es la media aritmética de las mediciones realizadas del correspondiente parámetro, se expresa en la misma unidad de medida del parámetro.

$LT_{Xmáx}$ - Es el límite superior de tolerancia para el correspondiente parámetro, se expresa en la misma unidad de medida del parámetro.

$LT_{Xmín}$ - Es el límite inferior de tolerancia para el correspondiente parámetro, se expresa en la misma unidad de medida del parámetro.

t - Es el estadístico de la distribución probabilística de Student.

S - Es la desviación típica de la muestra, se expresa en la misma unidad de medida del parámetro.

n - Es el total de observaciones.

Se tuvo en cuenta que las expresiones anteriores son válidas si la muestra es pequeña, esto es menor que 30. En caso de muestra grande se cambia el estadístico t por el estadístico Z de la distribución de Gauss.

En caso que existieron valores anormales, los mismos se eliminaron como se indica a continuación, de acuerdo con Hernández (1986).

1. Para el conjunto de valores obtenidos en la medición se calcularon $\bar{X}$ y S (se tienen en cuenta en estos cálculos incluso aquellos valores considerados sospechosos).
2. Se estableció el intervalo dado por la ecuación 2.28 y 2.29, y se eliminaron por considerarse como anormales todos los valores que quedaron fuera del intervalo establecido.
3. Se realizaron nuevamente los cálculos necesarios para expresar el resultado elaborado o final, sin considerar como es lógico, los valores anormales.

Análisis de variancia

Este análisis se efectuó con el objetivo de determinar si las variaciones mostradas entre los valores del coeficiente de agarre de las ruedas del camión VOLVO A 40E para distintas pendientes del camino son significativas y en consecuencia contribuir a la racionalización de la tarea de ajuste de curvas; de manera similar para el caso de las menas lateríticas adheridas a la caja de carga del camión en función del número de viajes del mismo.

El criterio empleado en la determinación es la prueba de Fischer. Esta prueba se basa en la comparación entre el valor del estadístico de Fischer calculado ($F_{\text{calc.}}$) y el de Fischer crítico o tabulado ($F_{\text{crit.}}$).

El análisis de variancia implicó el considerar los supuestos de aleatoriedad, normalidad, y homogeneidad de la variancia. Se consultaron los criterios estadísticos para verificar el cumplimiento de los supuestos para el análisis de variancia determinándose lo siguiente: la aleatoriedad se verifica al analizar las cantidades de corridas que se definen entorno a la mediana Miller *et al.* (2005), para poder aplicar dicho criterio se requiere del conocimiento del orden cronológico en el

que se tomaron las observaciones, la normalidad se verifica a partir del criterio de Gauss en muestra grande (Hernández,1986), también se puede considerar el criterio de Chi- cuadrada o el de Kolmogorof (Miller *et al.*, 2005) y por último, la homogeneidad de la variancia se verifica con el empleo de la prueba de Bartlett, la cual se sustenta en el criterio de Chi cuadrada (Montgomery, 2005).

Procedimiento de la prueba de Fischer para el análisis de variancia

El procedimiento que se llevó a cabo para la realización de la prueba de Fischer, consiste en el desarrollo de los pasos que se definen a continuación, de acuerdo con Miller *et al.* (2005).

1. Definición de las hipótesis.

Hipótesis nula (H_0): no existe diferencias significativas entre las medias.

Hipótesis alterna (H_1): existe diferencias significativas entre las medias.

2. Nivel de significancia (α)

3. Criterio de rechazo de la hipótesis nula: se rechaza la hipótesis nula si Fisher calculado es mayor que Fisher critico ($F_{\text{cál.}} > F_{\text{crít.}}$). El valor de Fisher critico se determinó en la tabla de la distribución de Fischer (tabla 6 de Miller *et al.*, 2005), en función del nivel de significancia y del grado de libertad. El grado de libertad para este estadístico se determina como se indica a continuación: para el numerador (k-1) y para el denominador k (n-1), donde k es la cantidad de tratamientos y n es la cantidad de observaciones en cada tratamiento. El valor del estadístico Fischer de cálculo se determina por medio de la tabla de análisis de variancia, la cual se muestra a continuación en el paso 4 del procedimiento.

4. Cálculo: la tabla 2.5 muestra las expresiones para el cálculo del estadístico que sustenta la prueba.

Tabla 2.5. Resumen para el cálculo de F.

Análisis de variancia				
Origen de las Variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F
Tratamientos	(k-1)	SS(Tr)	SS(Tr)/k-1	(SS(Tr)/k-1)/ SSE/k(n-1)
Error	k(n-1)	SSE	SSE/k(n-1)	
Total	(kn-1)	SST		

En la tabla anterior los parámetros referidos se definen de la siguiente manera:

$$SS(Tr) = \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - C \quad 2.32$$

$SS(T_i)$ - Es la suma de cuadrados para tratamientos.

T_i^2 - Es el número total de n observaciones en la i-ésima muestra.

C- Es un término de corrosión.

$$C = \frac{T^2}{k \cdot n} \quad 2.33$$

T^2 - Es el gran total de las k_n observaciones.

$$SST = \sum_{I=1}^K \sum_{J=1}^N Y_{ij}^2 \quad 2.34$$

SST- Es la suma de cuadrado total.

Y_{ij}^2 - Es la variable que adquiere el valor de cada observación.

$$SSE = SST - SS(Tr) \quad 2.35$$

SSE- Es la suma de cuadrado del error.

5. Decisión:

La decisión se toma sobre la base del criterio del rechazo de la hipótesis nula, definido en el paso 3.

Ajuste de curva por regresión

El ajuste de curva por regresión se basó en el método de mínimo cuadrado. El método de mínimo cuadrado, para una variable independiente, se expresa por el siguiente sistema de ecuaciones normales (Miller *et al.*, 2005).

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n Y_i &= a \cdot n + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i \\ \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i &= a \cdot \sum_{i=1}^n X_i + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 \end{aligned} \quad 2.36$$

Dónde, X_i : Es la variable que adquiere los valores de la accisa, Y_i : Variable que obtiene los valores de ordenada.

Este sistema de ecuaciones tiene como solución las siguientes expresiones para el cálculo de a y b.

$$a = \bar{Y} - b \cdot \bar{X} \quad 2.37$$

Dónde:

$\bar{Y}$ – Es el promedio aritmético de las observaciones referidas a la ordenada.

$$b = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} \quad 2.38$$

Notaciones especiales

$$S_{XX} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n} \quad 2.39$$

$$S_{XY} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y}) = \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right) \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad 2.40$$

Determinación del coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación maestro se determinó por medio de las ecuaciones referidas a continuación, de acuerdo con Miller *et al.* (2005). El cuadrado del coeficiente de correlación se utilizó para expresar que porcentaje de la variación de la ordenada se explica a partir de las variaciones de la accisa con el modelo propuesto.

$$r = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_{XX} \cdot S_{YY}}} \quad 2.41$$

$$S_{YY} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2}{n} \quad 2.42$$

La bondad del ajuste realizado con el método de mínimo cuadrado se verificó a partir de tres criterios: el del coeficiente de correlación, de Student, y el de Fischer. Se consideró que el ajuste es significativo: para el criterio de Student, cuando se cumplió que j-Valor es inferior al nivel de significancia adoptado en la prueba; al considerar el criterio de Fischer, cuando el Fischer de cálculo es mayor que el Fisher crítico o tabulado, y según el criterio del coeficiente de correlación, cuando el valor de este está próximo a 1 ó -1.

En el Software Excel se utilizó la herramienta para análisis de datos que contiene programado la opción regresión. La instrucción regresión permitió realizar el ajuste de curva con el método de mínimo cuadrado y chequear los tres criterios de bondad del ajuste.

2.6. Conclusiones del capítulo 2

1. Se estableció la metodología que relaciona los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) de los camiones mineros VOLVO A40E acorde a las condiciones reales de explotación de la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
2. Se logró establecer el procedimiento e instalación experimental, que permite obtener los valores del coeficiente de agarre de la rueda del camión VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, así como los volúmenes de menas lateríticas adheridas a la caja de carga de estos equipos.
3. No existe una expresión teórica fundamentada matemáticamente para el cálculo de la cantidad de menas lateríticas que se adhieren a la caja de carga del camión A40E de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

En el presente capítulo se realiza el análisis de los parámetros del cálculo de tracción y explotación de los caminos VOLVO A 40E empleados en el acarreo de las menas lateríticas mullidas de la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Además se realiza una valoración económica de los resultados obtenidos, así como el impacto ambiental de los mismos.

El objetivo del capítulo radica en:

Evaluar el comportamiento de los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) de los camiones VOLVO A 40E empleados en la UBMECECG, y su interrelación con los valores del coeficiente de agarre de las ruedas del camión VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos (temporales y permanentes) establecidos en esta unidad, así como la cantidad de menas lateríticas adheridas a la caja de carga de estos equipos.

3.2. Análisis de los parámetros de tracción

3.2.1. Análisis del coeficiente de agarre del camión VOLVO A 40E

El gráfico que aparece a continuación (Figura 3.1) se obtuvo a partir del empleo de las relaciones 2.28 hasta ecuación 2.31 el mismo, representa los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E cuando el mismo transita cargado y por un tramo horizontal.

En los cálculos se estableció el nivel de significancia, $\alpha=0,05$ (muestra grande, lo cual implicó el empleo del estadístico Z con valor, $Z=1,96$). Al evaluar, que todas las observaciones están dentro de los límites de control se puede asumir (criterio de Gauss) que la media con valor de 54,8 N/kN es representativa de la tendencia del coeficiente de agarre de las ruedas del camión VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos (temporales y permanentes) esto significa, que existe una probabilidad de un 95 % de que si se realizan las mediciones de esta variable en condiciones similares sus valores estén en el rango de $q_{adh}=12,05\div97,55$.

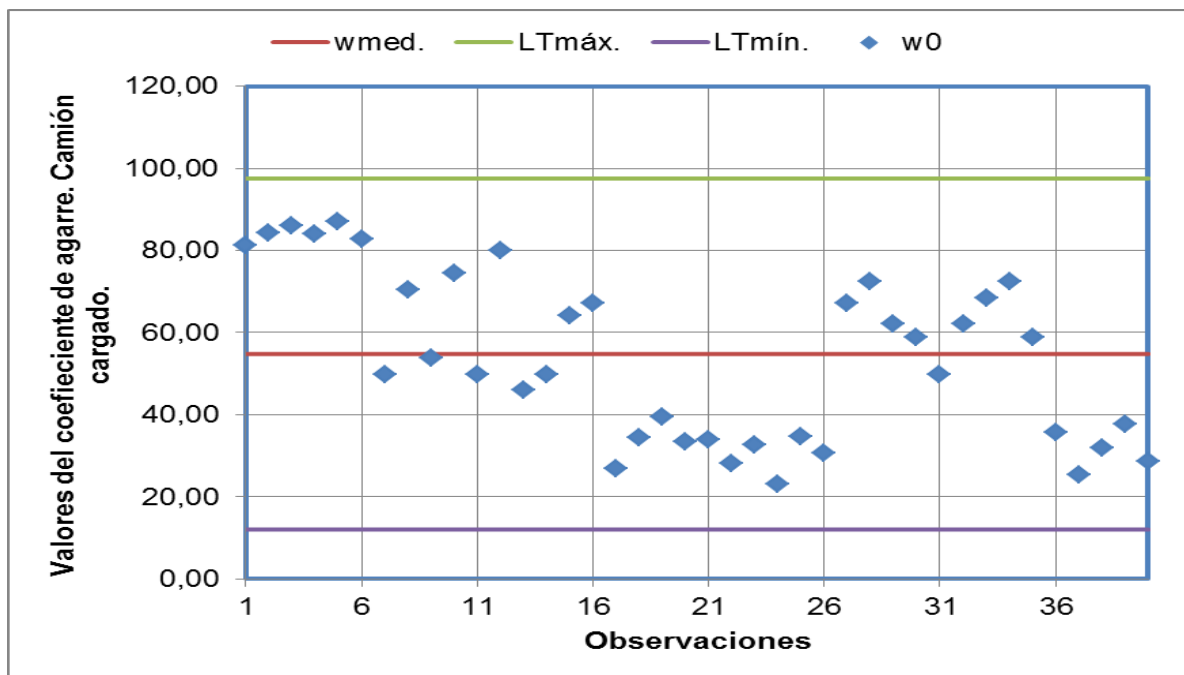


Figura 3.1. Valores del coeficiente de agarre. Tramo horizontal y camión cargado

De manera similar a lo planteado en el punto anterior se establece, que la media con valor de 36,53 N/kN es representativa de la tendencia del coeficiente de agarre de las ruedas del camión VOLVO A 40E cuando el mismo transita vacío y por un tramo horizontal ello significa, que existe una probabilidad de un 95 % de que si se realizan las mediciones de esta variable en condiciones similares sus valores estén en el rango de $q_{adh}=11,95\div61,11$.

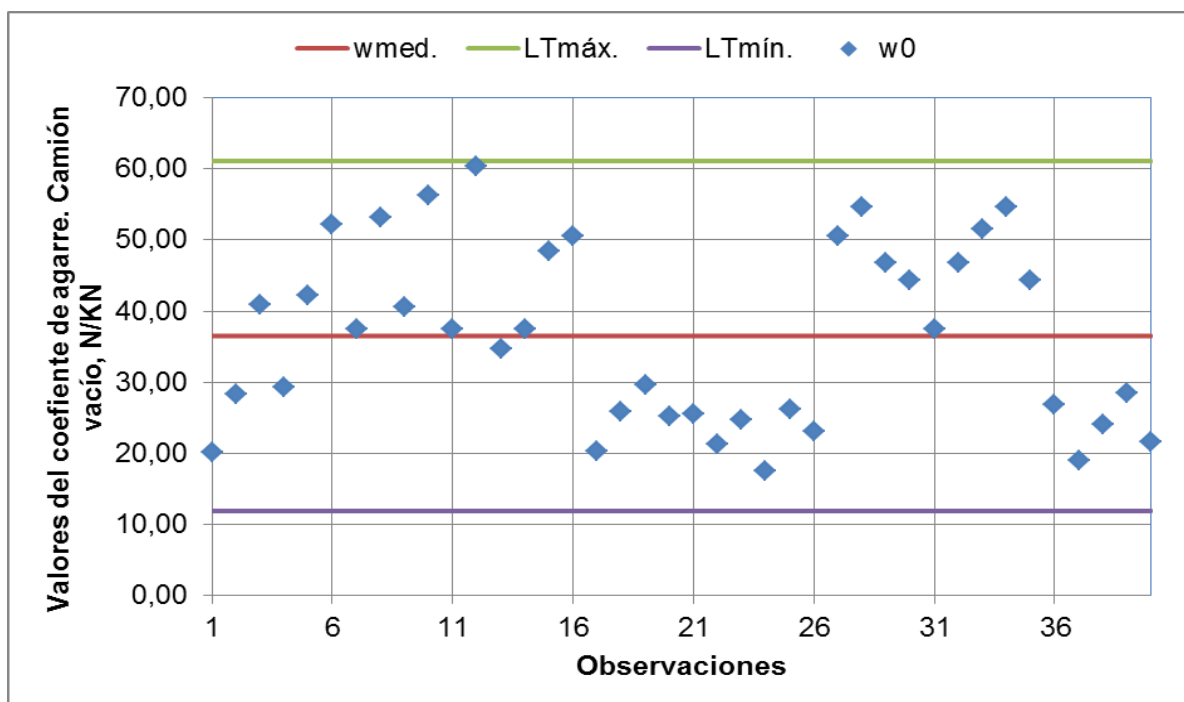


Figura 3.2. Valores del coeficiente de agarre. Tramo horizontal y camión vacío.

Análisis de varianza

Para comprobar si eran significativas las pendientes del camino minero por el cual se desplaza el camión VOLVO A 40E (movimiento del camión en pendiente hacia arriba y hacia abajo) se desarrolló el análisis de varianza a partir del empleo de las ecuaciones 2.32 hasta 2.35, y el software Microsoft Excel.

Para el camión cargado se obtuvo $F_{\text{calc}}=7,69$ mayor que $F_{\text{crítico}}=3,96$

Para el camión vacío, $F_{\text{calc}}=142,44$ mayor que $F_{\text{crítico}}=3,96$

Donde: $F_{\text{crítico}}=3,96$ es el valor de $F_{0,05}$ con uno y 78 grados de libertad.

Como se puede apreciar las pendientes del camino minero por el cual se desplaza el camión VOLVO A 40E influyen significativamente en los valores del coeficiente de agarre de las ruedas con la superficie de rodadura de los caminos (temporales y permanentes).

Análisis de regresión

Los modelos matemáticos que se refieren a continuación (expresiones 3.1÷3.4) fueron empleados para pronosticar los valores del coeficiente de agarre de las ruedas del camión VOLVO A E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la UBMECEG cuando el vehículo se desplaza por un camino con tramos inclinados (pendiente hacia arriba y hacia abajo), ver anexo XVII. Estas relaciones fueron determinadas a partir del análisis de regresión (ecuaciones desde 2.36 hasta 2.40) y el Software Microsoft Excel.

Se aprecia, que el coeficiente de determinación estuvo próximo a la unidad; el valor de F_{calc} fue mayor que F_{crit} , y la probabilidad (J_{valor}) para el coeficiente de agarre de las ruedas del camión VOLVO A 40E fue menor que el nivel de significancia por lo que los modelos son significativos, ello evidencia que los mismos pueden emplearse para pronosticar los valores del coeficiente w_0 cuando se conocen las pendientes de los caminos mineros (temporales y permanentes).

Los valores de la humedad (condición de validez fijada en la tabla 3.1) del camino fueron establecidos a partir de considerar el criterio de Gauss. Al evaluar, que todas las observaciones están dentro de los límites de control establecidos a partir de las expresiones 2.29 y 2.30 se puede asumir que las medias con valores de 15,63 %, 14,00 %, y 27,7 % son representativas de la tendencia de la humedad de los

caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Tabla 3.1. Modelos matemáticos obtenidos para el cálculo del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E.

Sentido del mov.	Modelo	Criterios de idoneidad	Condición de validez	Ec.
Camión cargado y pendiente hacia arriba	$w_{ag} = 13,61 \cdot i$	$R^2=0,94$ $F_{calc}=547,71$ $F_{crit}=8,95 \cdot 10^{-24}$ $J_{valor}=3,57 \cdot 10^{-24}$	$i=2 \div 9 \%$ $H_{centro}=15,63$ $H_{periferia}=14,00$ $H_{via.temporal}=27,7$	3.1
Camión cargado y pendiente hacia abajo	$w_{ag} = 9,44 \cdot i$	$R^2=0,94$ $F_{calc}=491,13$ $F_{crit}=5,9 \cdot 10^{-23}$ $J_{valor}=2,47 \cdot 10^{-23}$	$i=2 \div 9 \%$ $H_{centro}=15,63$ $H_{periferia}=14,00$ $H_{via.temporal}=27,7$	3.2
Camión vacío y pendiente hacia arriba	$w_{ag} = 9,86 \cdot i$	$R^2=0,93$ $F_{calc}=483,25$ $F_{crit}=7,8 \cdot 10^{-23}$ $J_{valor}=3,29 \cdot 10^{-23}$	$i=3 \div 9 \%$ $H_{centro}=15,63$ $H_{periferia}=14,00$ $H_{via.temporal}=27,7$	3.3
Camión vacío y pendiente hacia abajo	$w_{ag} = 4,83 \cdot i$	$R^2=0,88$ $F_{calc}=286,05$ $F_{crit}=2,81 \cdot 10^{-19}$ $J_{valor}=1,48 \cdot 10^{-19}$	$i=3 \div 9 \%$ $H_{centro}=15,63$ $H_{periferia}=14,00$ $H_{via.temporal}=27,7$	3.4

Las figuras 3.3 y 3.4 se obtienen a partir de evaluar los modelos 3.1÷3.4 referidos en la tabla anterior en las mismas se puede apreciar, que durante el movimiento del camión VOVO A 40E por los caminos mineros (temporales y permanentes) los valores del coeficiente de agarre se incrementan hasta $w_{ag,max}=122,49$ N/kN (camión cargado) y $w_{ag,max}=88,74$ N/kN (camión vacío) ello provoca un aumento de la fuerza de tracción desarrollada (ecuación 2.26) por el vehículo, así como un incremento de la potencia (expresión 2.2) demandada por el mismo, y en consecuencia un incremento del consumo de combustible del mismo (ecuación 2.14).

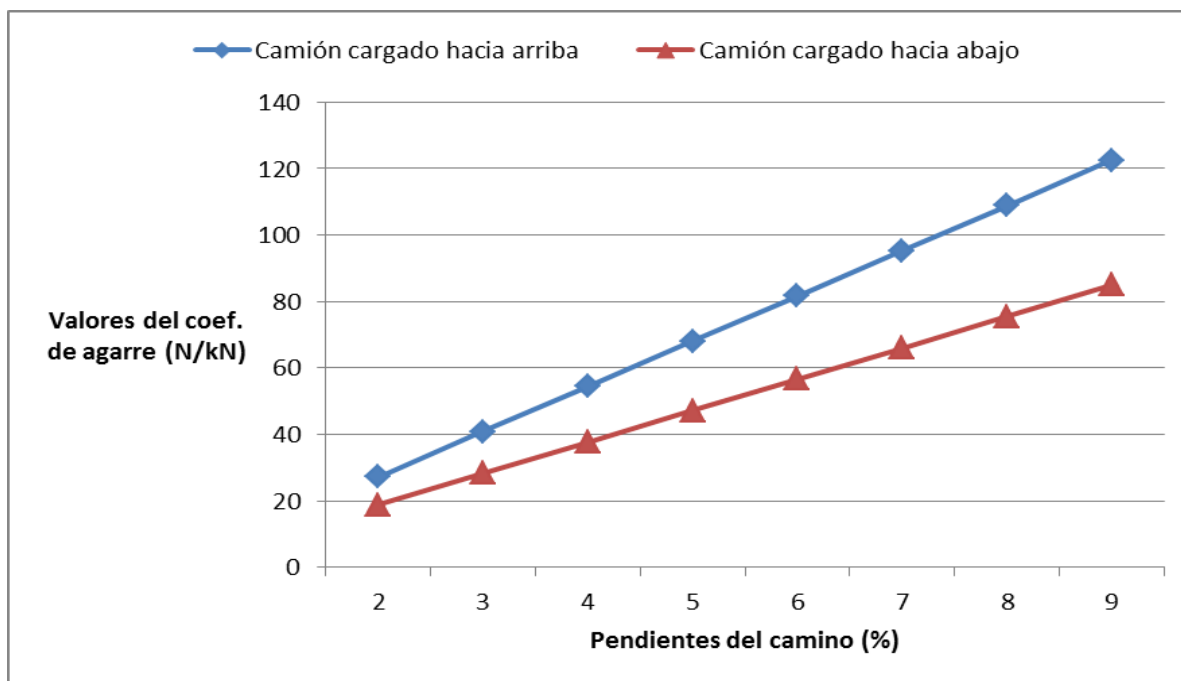


Figura 3.3. Valores del coeficiente de agarre para las condiciones de explotación de la UBMECECG. Tramos inclinados. Camión cargado

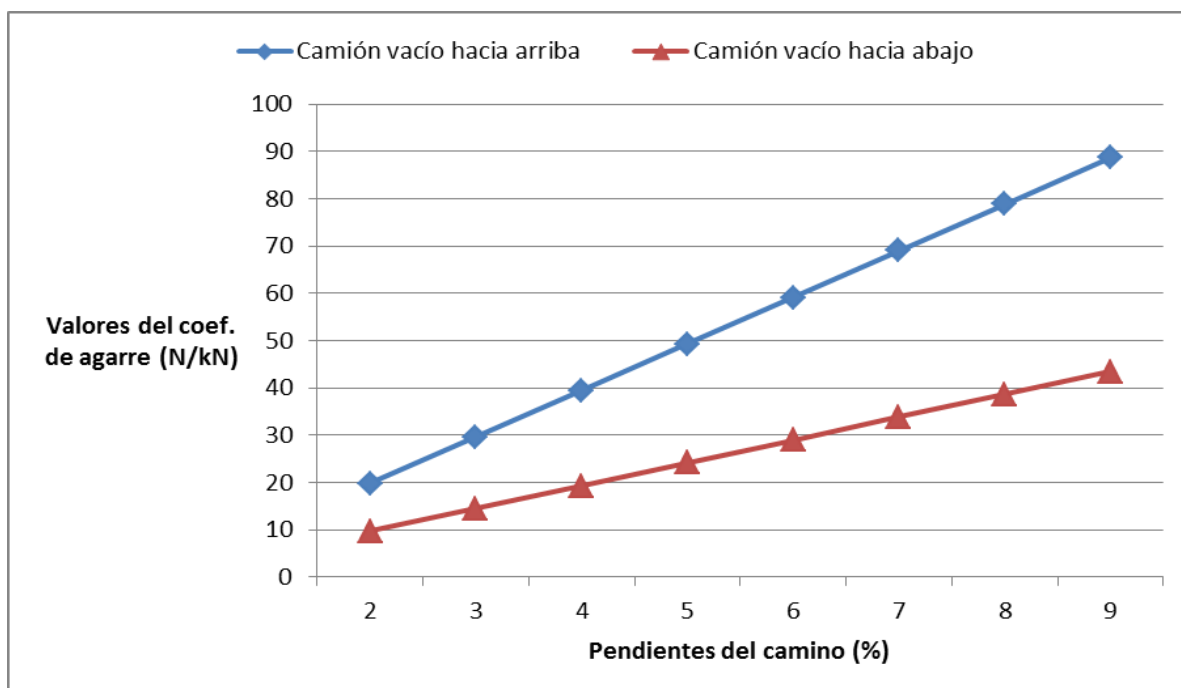


Figura 3.4. Valores del coeficiente de agarre para las condiciones de explotación UBMECECG. Tramos inclinados Camión vacío

Al considerar las condiciones reales de explotación que impone la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara (Oliveros, 2015) establece como valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A40E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) los siguientes. Ver tabla 3.2

Tabla 3.2. Valores del coeficiente de agarre según las condiciones de explotación de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Oliveros (2015).

Tipo de camino	w_{ag} (N/kN)
Caminos mineros empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara	88÷122

Como refiere la tabla anterior los valores establecidos para el coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara están en el rango de lo establecido por otros autores (Potapov, (1985); Fernández y Denchev (1985), Spivakovski, (1968)) para condiciones similares (superficie de rodadura).

3.2.2. Fuerza de tracción

A partir de los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos se pudo proceder a determinar la fuerza de tracción (ecuación 2.26) desarrollada por el vehículo. La figura que se establece a continuación (ver Figura 3.5) muestra el comportamiento de este parámetro. El incremento de los valores del coeficiente de agarre de las ruedas del camión VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos provoca un aumento de la fuerza de tracción desarrollada por el camión $F_{t.carg.max}=52\ 864\ N$, $F_{t.vació.max}=25\ 242\ N$ ello implica un incremento de la potencia demandada por el vehículo, y en consecuencia un incremento del consumo de combustible del mismo.

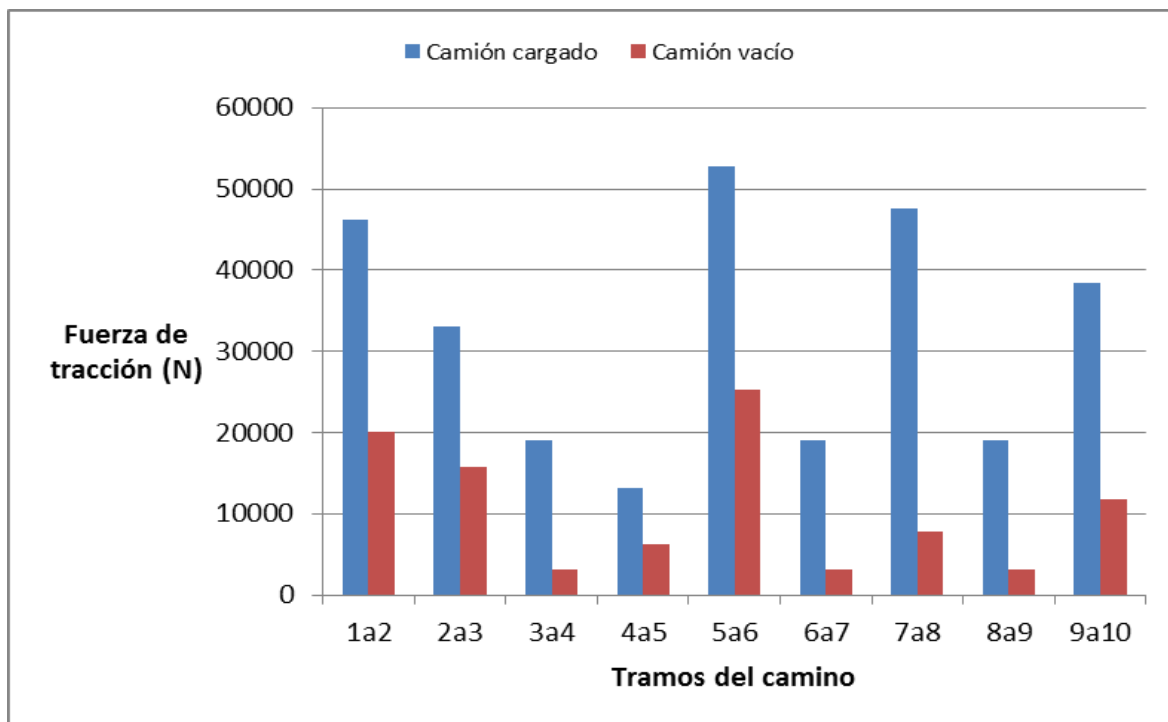


Figura 3.5. Valores de la fuerza de tracción desarrollada por el camión VOLVO A 40E.

3.2.3. Fuerzas de resistencia al movimiento

3.2.3.1. Fuerza de resistencia principal

La fuerza de resistencia principal (W_p) así como la fuerza de resistencia a la pendiente (W_i) se determinaron en función de las expresiones 2.5 y 2.9 respectivamente.

Durante el traslado del camión VOLVO A 40E por los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara se aprecia, que los valores de la resistencia principal fluctúan. Los mayores valores ($W_{p.c.cargado}=52\ 691\ \text{N}$, $W_{p.c.vacío}=25\ 159\ \text{N}$ de este parámetro se alcanzan en los tramos donde el perfil presenta mayor inclinación (tramo 6-5). Ver tablas 3.3 y 3.4.

3.2.3.2. Fuerza de resistencia a la pendiente

De manera similar se destaca, que los mayores valores ($W_{i.c.cargado}=56\ 505\ \text{N}$, $W_{i.c.vacío}=25\ 831\ \text{N}$) de la resistencia a la pendiente que vence el vehículo corresponden al tramo del camino con mayor pendiente ($i=8,3\ \%$). Los valores negativos corresponden a los tramos con pendiente hacia abajo. Ver tablas 3.3 y 3.4.

Tabla 3.3. Valores de la resistencia principal (W_0), a la pendiente (W_i), y la fuerza de tracción del camión. Camión cargado

Tramos	Pendiente (%)	Peso (t)	w_{ag} (N/kN)	W_p (N)	W_i (N)
1-2	7,47	70	66,08	46126	-52485
2-3	4,76	70	47,20	33002	-33707
3-4	2,16	70	27,20	19035	15515
4-5	2,05	70	18,88	13213	-14415
5-6	8,30	70	75,52	52691	-56505
6-7	2,00	70	27,10	18967	13438
7-8	5,18	70	68,05	47570	36513
8-9	2,18	70	27,22	19050	14660
9-10	0	70	54,80	38360	0

Tabla 3.4. Valores de la resistencia principal (W_0), a la pendiente (W_i), y la fuerza de tracción del camión. Camión vacío.

Tramos	Pendiente (%)	Peso (t)	w_{ag} (N/kN)	W_p (N)	W_i (N)
10-9	0	32	36,53	11689	0
9-8	2,18	32	9,66	3091	-6702
8-7	5,18	32	24,15	7717	-16692
7-6	2,00	32	9,50	3039	-6143
6-5	8,30	32	78,88	25159	25831
5-4	2,05	32	19,72	6309	6590
4-3	2,16	32	9,60	3071	-7092
3-2	4,76	32	49,30	15758	15409
2-1	7,47	32	69,02	22024	23993

3.2.3.3. Fuerza de resistencia al aire

La fuerza de resistencia al aire (W_a), que actúa durante el movimiento del camión por los caminos mineros establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara se determinó a partir de la ecuación 2.7. El valor del coeficiente que toma en cuenta el modelo aerodinámico de la máquina se escogió $\lambda_{II}=7$, no se consideró influencia del viento por tanto $v_b = 0$, la velocidad de movimiento del camión se tomó de $v_a = 26,5$ km/h. El área frontal de la máquina se determinó a partir de la relación 2.7 considerando una altura, $U=374,6$ mm, y un espacio entre ruedas de $B=263,6$ mm obteniéndose, $W_a=5626$ N.

3.2.3.4. Resistencia en las curvas

La fuerza de resistencias a las curvas (W_c) se determinó a partir de la expresión 2.11 y a partir del perfil del camino minero analizado, ver anexo XVIII. En el camino minero estudiado aparecen cuatro curvas de radios $R_1=20$ m, $R_2=60$ m, $R_3=70$ m, y $R_4=72$ m respectivamente.

Como refleja la figura 3.6 a medida que los radios de curvatura aumentan el C_{comb} los valores de la resistencia a las curvas se incrementan $W_{c.max}=138\ 24\ N$ (para $R=72\ m$).

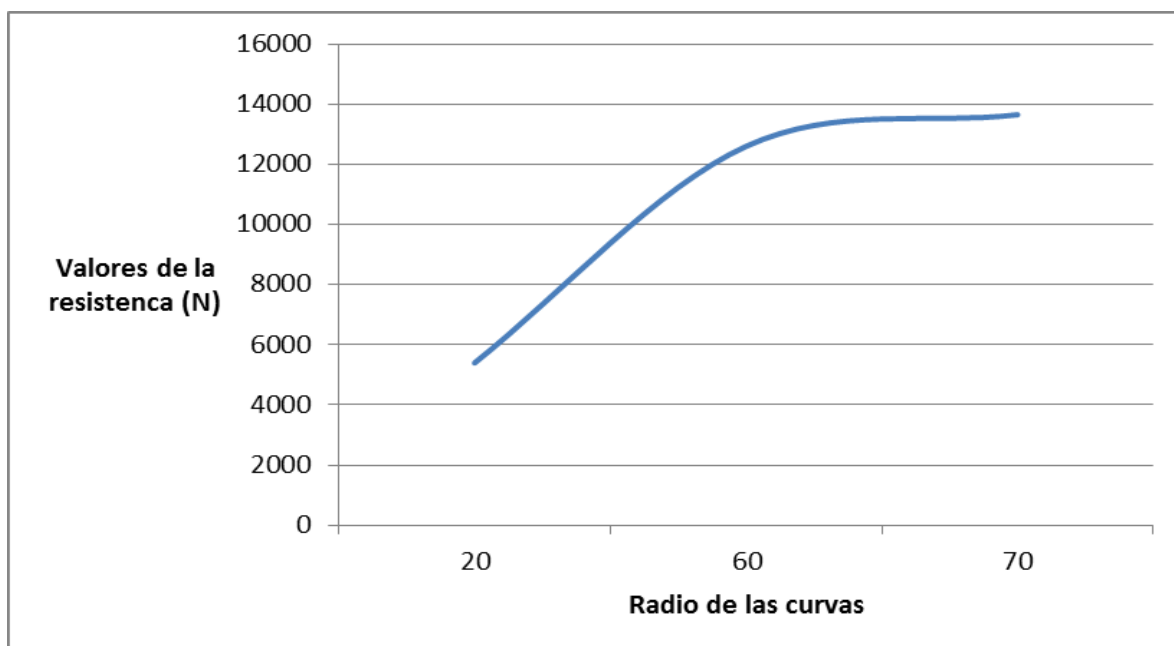


Figura 3.6. Valores de la resistencia a las curvas para el perfil de camino analizado.

3.2.3.5. Resistencia de la inercia

La resistencia a la inercia (W_i), que actúa durante el traslado del camión VOLVO A 40E por los caminos mineros se estableció a partir de la ecuación 2.12. Los valores del coeficiente de las masas que giran (Ω , transmisión hidromecánica), peso del camión cargado y vacío (P), y la aceleración del mismo (dv/dt) se establecieron de acuerdo a lo referido en las siguientes tablas.

Tabla 3.5. Valores de la resistencia a la inercia. Camión cargado

$dv/dt\ (m/s^2)$	Ω	$P\ (tn)$	$W_i\ (N)$
1,0	0,02	70	107 100

Tabla 3.6. Valores de la resistencia a la inercia. Camión vacío

$dv/dt\ (m/s^2)$	Ω	$P\ (tn)$	$W_i\ (N)$
1,5	0,02	32	48 960

3.2.4. Velocidad de movimiento del camión VOLVO A 40E

Los valores de velocidad (Figura 3.7) de los camiones VOLVO A40E por los caminos mineros (temporales y permanentes) fueron establecidos gráficamente (anexo XIV) y procediendo de acuerdo a las instrucciones que se refieren a continuación:

Las líneas diagonales representan la resistencia total (% de inclinación más % del coeficiente de agarre).

- Encontrar la línea diagonal indicadora de la resistencia total apropiada en el lado derecho del gráfico.
- Seguir la línea diagonal hacia abajo, hasta que corta la línea correspondiente al peso del vehículo. GMW (peso total). NMW (tara).
- Trazar una nueva línea horizontal hacia la izquierda desde el punto de corte obtenido hasta que la nueva línea corte la curva de fuerza de tracción.
- Leer la velocidad actual

Luego de conocer los valores de la fuerza de tracción (ver Figura 3.5) demandada por el camión, se pudieron establecer los límites de velocidad (Figura 3.7) de los camiones VOLVO A 40E que se desplazan por los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara; ello constituye un resultado importante si se considera que este parámetro regula en gran manera el consumo de combustible del vehículo.

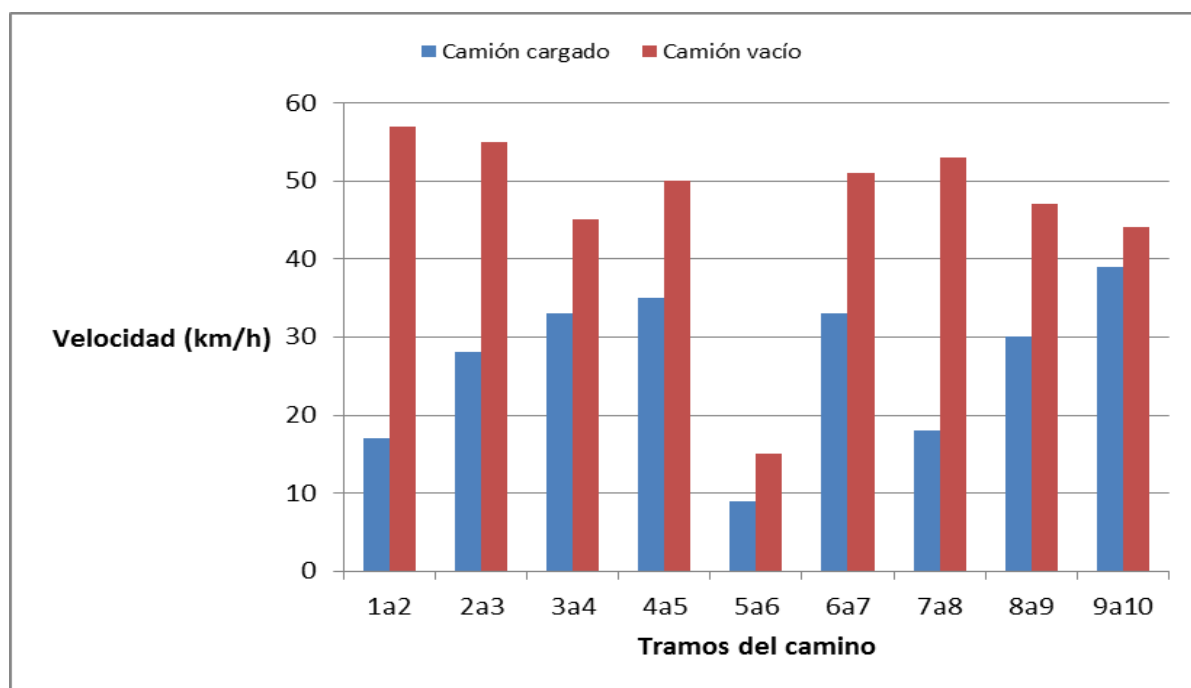


Figura 3.7. Valores de la velocidad del camión VOLVO A 40E.

3.2.5. Potencia desarrollada por el camión VOLVO A 40E

Los valores de la potencia desarrollada por el camión fueron establecidos a partir de lo planteado en la expresión 2.2, y conocidos los valores de la velocidad (Figura 3.7), así como de la fuerza de tracción (Figura 3.5). Los valores del rendimiento

desde el eje del motor de la rueda en movimiento (η_{tr}) fue de $\eta_{tr}=0,8$ y el rendimiento de la rueda motriz (η_r) fue tomado en $\eta_r=0,7$.

Como se muestra en la figura 3.8 debido el incremento ($w_{ag,max,carg}= 122,49$ N/kN y $w_{ag,max,vacio}= 88,74$ N/kN) del coeficiente de agarre, de las ruedas del camión con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, la fuerza de tracción desarrollada por el vehículo se incrementa ($F_{t,carg,max}=52\ 864$ N, $F_{t,vacio,max}=25\ 242$ N) lo que implica un aumento de la potencia demandada por el camión ($N_{max,v,carg}=298$ kW, y $N_{max,v,vacio}=198$ kW respectivamente). Al contrastar los valores anteriormente establecidos se puede apreciar, que los mismos están de acuerdo a los rangos ($N_{max}=346$ kW) establecidos por el fabricante para este tipo de equipamiento. Ver tabla 1.4.

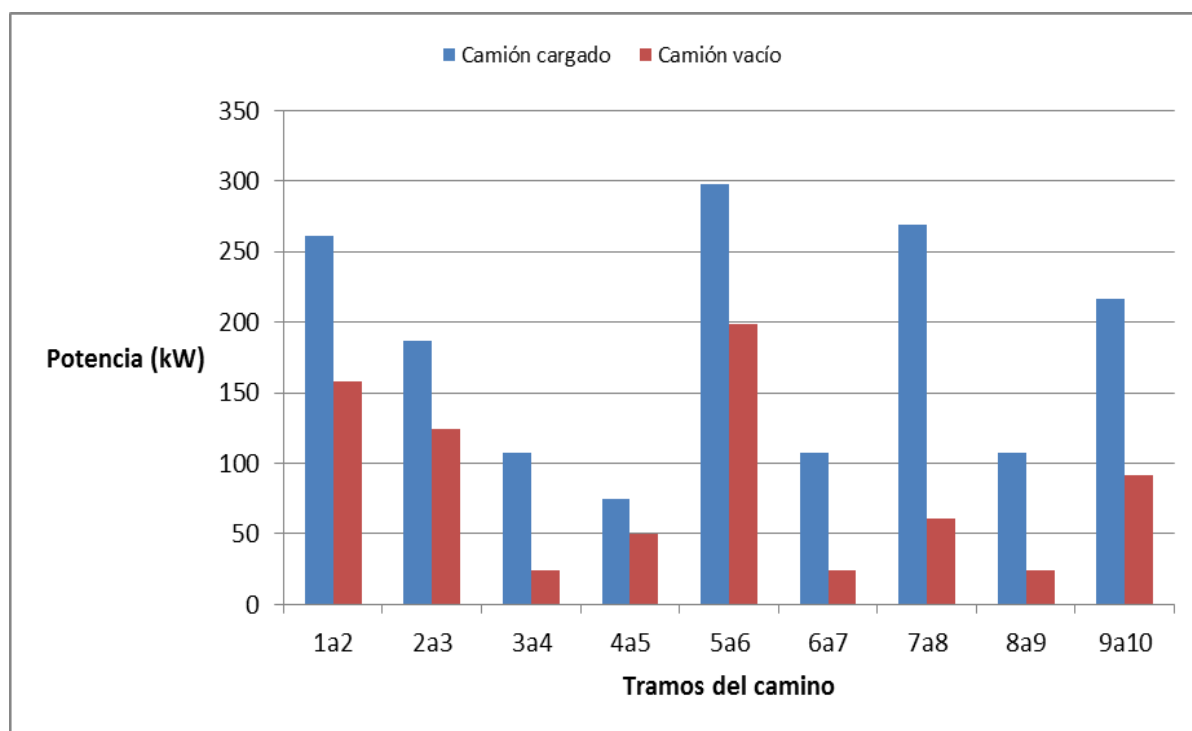


Figura 3.8. Potencia desarrollada por el camión VOLVO A 40E.

3.2.6. Consumo de combustible del camión VOLVO A 40E

El cálculo del consumo de combustible se desarrolló a partir de lo planteado en la expresión 2.14 en función de la distancia de transportación (L), las diferencias de altura (H), y los valores del coeficiente de agarre (w_{ag}) que se exponen en el anexo VIII; por su parte el coeficiente de tara fue establecido en $K_t=0,8$.

Tal como refiere la figura que se muestra a continuación (Figura 3.9) como consecuencia del incremento del coeficiente de agarre de las ruedas del camión con

la superficie de rodadura de los caminos mineros, $w_{ag}=122$ N/kN (camión cargado) y $w_{ag}=88$ N/kN (camión vacío) el consumo de combustible del vehículo se incrementa hasta 38 % por encima del consumo normado para estos equipos, representando ello un gasto adicional de 4 560 l/mes o lo que es lo mismo 54 720 l/año. Los mayores valores de gasto de combustible ($C_{m\acute{a}x.carg}=3,36$ kg y $C_{m\acute{a}x.vac\acute{o}}=2,03$ kg) tienen lugar en el tramo tramo 5-6, tramo del camino con mayor pendiente de inclinaci3n ($i=8,3$ %).

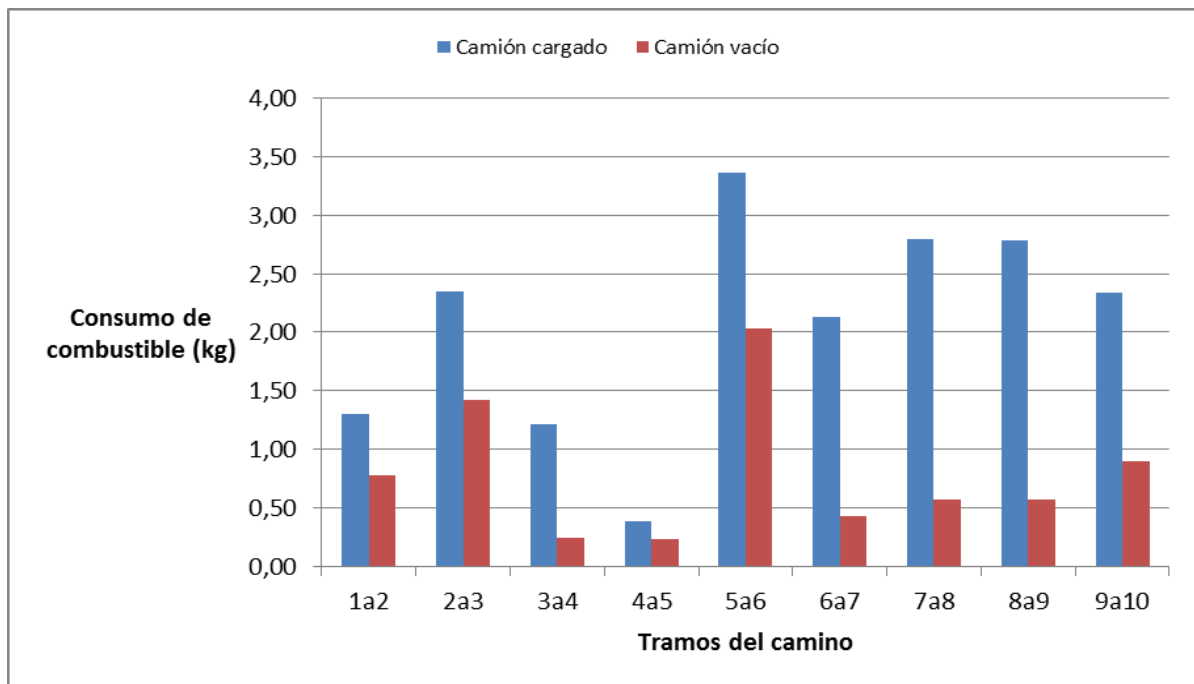


Figura 3.9. Consumo de combustible del camión VOLVO A 40E.

3.3. Análisis de los parámetros de explotación

3.3.1. Análisis de las menas adheridas a la caja de carga de los camiones VOLVO A 40E

El gráfico que aparece a continuación (ver Figura 3.10) se obtuvo a partir del empleo de las relaciones 2.28 hasta ecuación 2.31 para ello, se escogió un nivel de significancia, $\alpha=0,05$ con muestra grande lo cual implicó el empleo del estadístico Z con valor, $Z=1,96$. Al considerar, que todas las observaciones están dentro de los límites de control, se puede asumir (de acuerdo al criterio de Gauss) que la media con valor de 26,4 % es representativa de la tendencia de las menas adheridas a la caja de carga del camión VOLVO A 40E es decir, que existe una probabilidad de un 95 % de que si se realizan las mediciones de esta variable en condiciones similares sus valores estén en el rango de $q_{adh}=9,56\div43,24$.

Análisis de varianza

Para comprobar si era significativa la cantidad de viajes del camión VOLVO A 40E se desarrolló el análisis de varianza (ecuaciones desde 2.32 hasta 2.35) y el software Microsoft Excel obteniéndose, $F_{\text{calc}}=76,9$ mayor que $F_{\text{crítico}}=1,87$.

Donde $F_{\text{crítico}}=1,87$ es el valor de $F_{0,05}$ con 11 y 108 grados de libertad. Como se puede apreciar el número de viajes del camión influye significativamente la cantidad de menas lateríticas adheridas a la caja de carga del mismo.

Análisis de regresión

El modelo que refiere la ecuación 3.5 se obtuvo para pronosticar los valores de las menas lateríticas adheridas a la caja de carga del camión VOLVO A 40E en función del número de viajes del mismo, $N=1\div 7$; el mismo fue determinado a partir del análisis de regresión (ecuaciones 2.36÷2.40), y mediante el uso del software Microsoft Excel.

El modelo obtenido presenta un coeficiente de determinación, $R^2=0,91$ estuvo próximo a la unidad, el $F_{\text{calc}}=305,58$ fue mayor que $F_{\text{crítico}}=7,41\cdot 10^{-27}$, además de que la probabilidad (J_{valor}) para el coeficiente fue menor $J_{\text{valor}}=7,41\cdot 10^{-27}$ que el nivel de significancia por lo que el modelo es significativo esto representa, que el mismo puede emplearse para predecir los valores de la cantidad de menas lateríticas adheridas a la caja de carga de los camiones VOLVO A 40E empleados en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara cuando se conoce el número de viajes del vehículo.

$$q = ((9,344 \cdot \ln N_{\text{viajes}} + 14,83) / 100) \cdot q_0 \quad 3.5$$

Donde, N_{viajes} : número de viajes sin limpiar la caja de carga del camión.

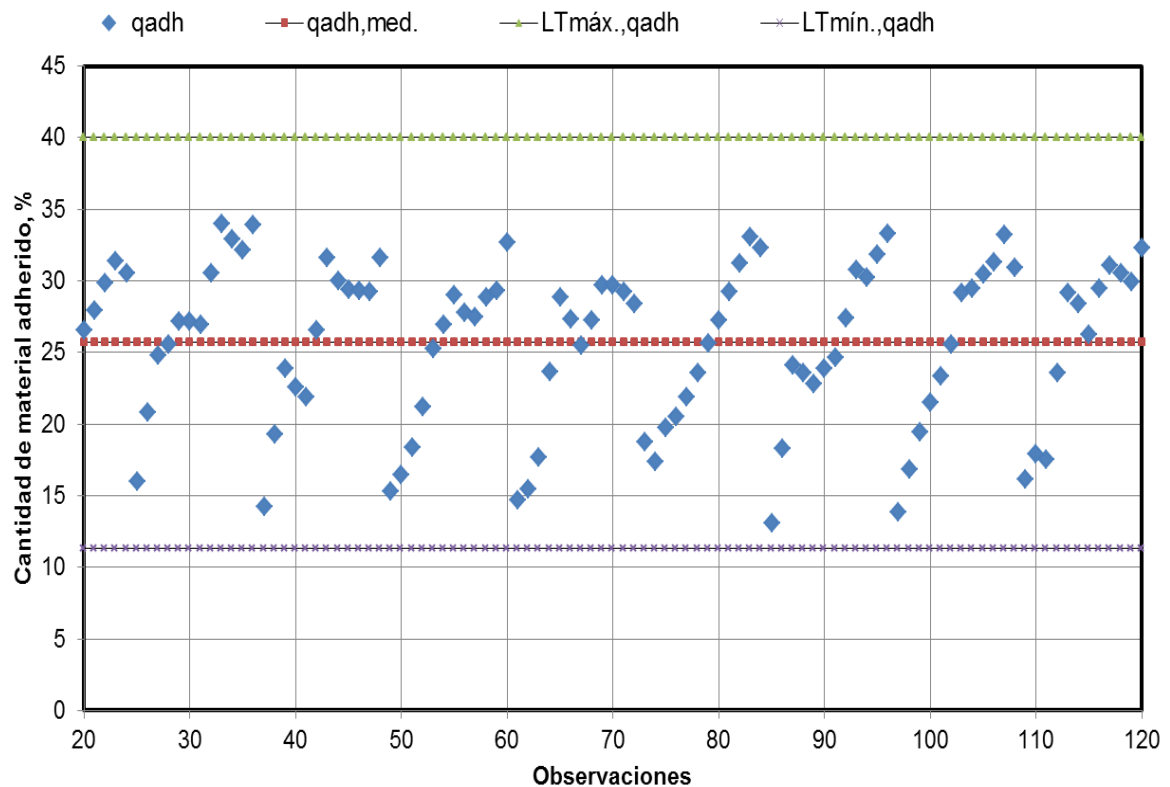


Figura 3.10. Menas adheridas a la caja de carga del camión VOVLO A 40E.

El gráfico que se muestra a continuación (Figura 3.11) se obtuvo a partir del empleo del modelo 3.5 evaluado para, $N=1\div 7$ y $q_0=40$ t. Como se aprecia a medida que aumenta el número de viajes del camión la cantidad de menas lateríticas adheridas a su caja de carga se incrementan significativamente, lo que implica una considerable disminución ($q_{0,max}=33\%$) de la capacidad de carga del vehículo por concepto de carga viajera.

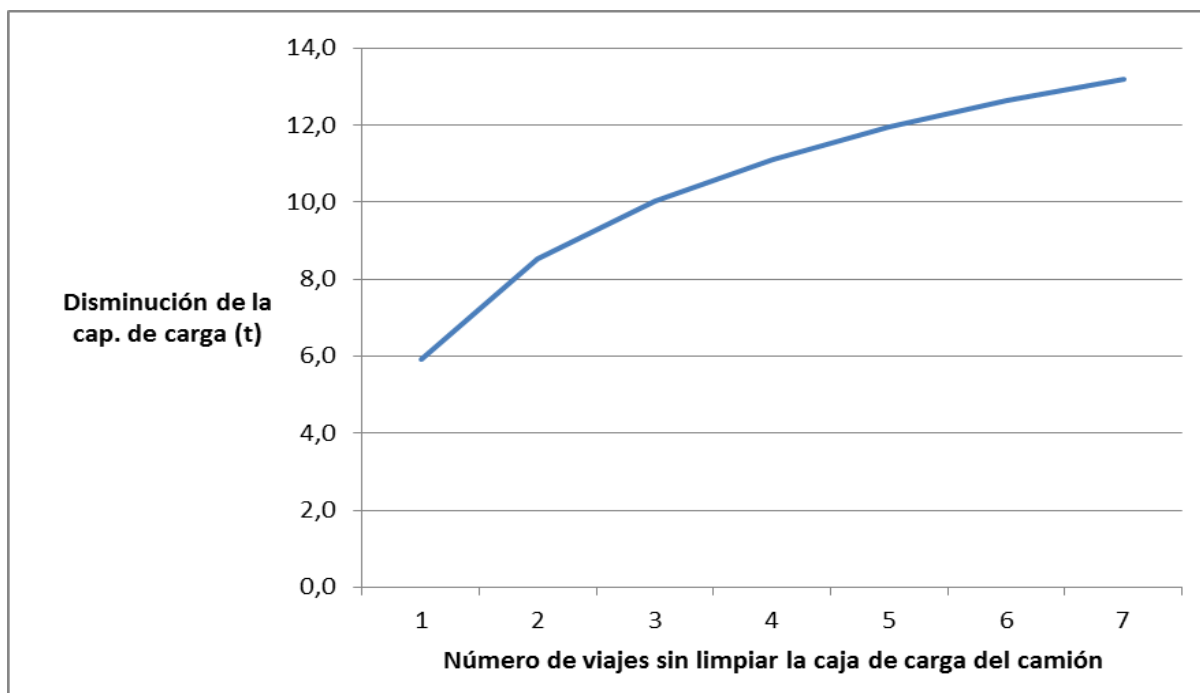


Figura 3.11. Cantidad de menas lateríticas adheridas a la caja de carga del camión VOVLO A 40E.

3.3.2. Productividad del camión

Los valores de la productividad de los camiones VOLVO A 40E se determinaron a partir de lo expresado en la ecuación 2.21 en función del tiempo del ciclo $T_c=25$ min, capacidad de carga del camión, $q_0=40$ t, K_d : coeficiente de disponibilidad, $K_d=0,9$ y coeficiente de utilización del parque, $K_{up}=0,8$.

Como consecuencia de cantidad las menas adheridas a la caja de carga del camión VOLVO A 40E la productividad del camión disminuye considerablemente esto significa, que el camión VOLVO A 40E por efecto de carga viajera deja de transportar alrededor de 132 512,92 t/año de menas lateríticas. Ver tabla 3.7.

Tabla 3.7. Valores de la productividades del camion VOLVO A 40E

Parámetro	Caja limpia	Menas adheridas
Productividad (t/jornada)	822,86	555,43
Productividad (t/año)	501 942,86	338 811,43

3.3.3. Consumo de combustible del camión VOLVO A 40E con menas adheridas

El consumo de combustible del camión que transita con menas lateríticas adheridas se determinó a partir de la expresión 2.14, y $K_t=0,8$ t (camión con la caja de carga limpia), $K_t=1,72$ t (camión con 26,4 % de menas lateríticas adheridas a la caja de

carga). Los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de con la superficie de rodadura de los caminos fueron tomados de acuerdo a lo señalado anteriormente (ver tablas 3.3 y 3.4); los demás parámetros fueron establecidos en el anexo VIII. De acuerdo a lo mostrado en la figura 3.12 se evidencia, que cuando el camión transita con menas adheridas existe un incremento en el consumo de combustible del vehículo de hasta un 34,1 % por encima del consumo establecido para estos equipos, esto equivale a un sobreconsumo de 4 092 l/mes, o lo que es lo mismo 49 104 l/año. Los mayores valores de consumo ($C_{\text{máx.adh}}=3,03 \text{ kg}$ y $C_{\text{máx.limpio}}=2,03 \text{ kg}$) tienen lugar en el tramo tramo 5-6 (tramo del camino con mayor pendiente de inclinación, $i=8,3 \%$).

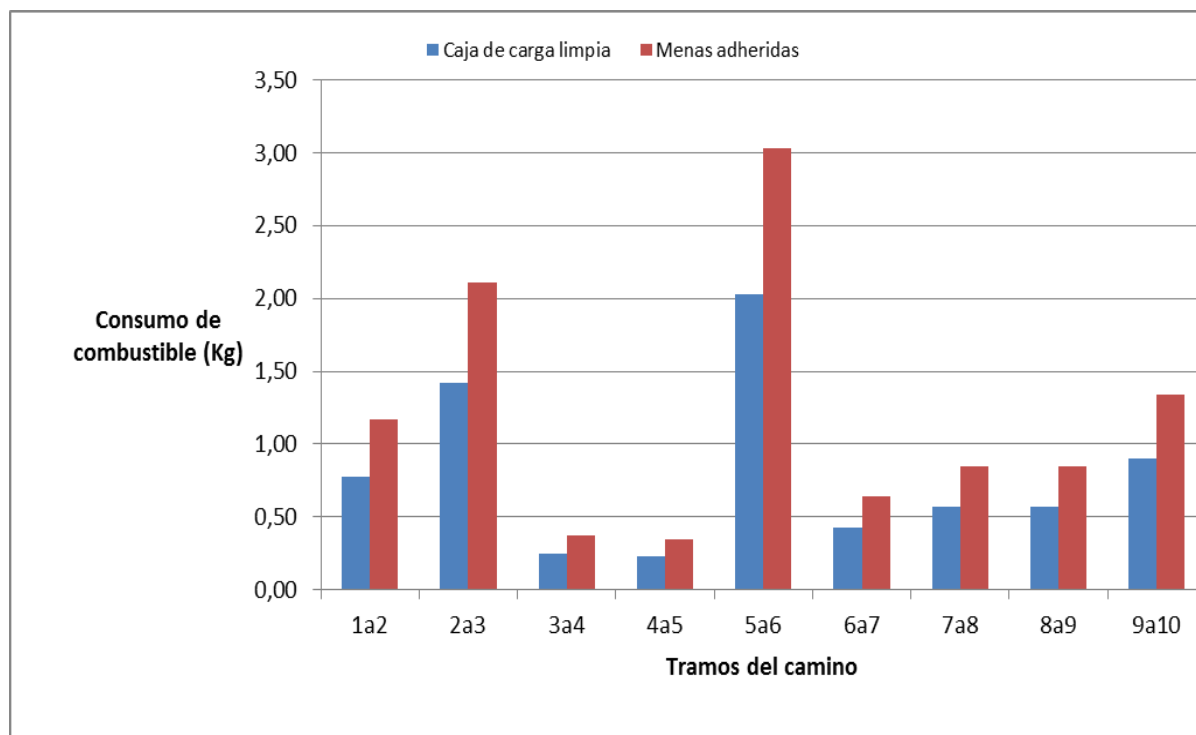


Figura 3.12. Consumo de combustible del camión VOVLO A 40E producto de las menas lateríticas adheridas la caja de carga del mismo.

3.3.4. Tiempo de recorrido del camión

El tiempo de viaje para un ciclo completo del camión se determina a partir de la ecuación 2.16, y para: tiempo de carga del camión (t_c), tiempo de descarga del camión (t_d), tiempo de maniobra entre operaciones (t_m), tiempo de recorrido cargado (t_{rc}), y el tiempo de recorrido vacío (t_{rb}), ver anexo XIII.

Como se muestra en la figura 3.13 cuando varía la longitud de transportación, varía también la duración del viaje del camión. De acuerdo con la variación de los tiempos

de recorrido vacío y cargados pero los tiempos de carga, descarga, maniobra de espera de carga y descarga y las velocidades de traslación quedan invariables, cosa que proporciona la invariabilidad de los gráficos $T_v = f(L)$ y $N = f(T_v)$, y su posible utilización para la determinación de la cantidad necesaria de camiones cuando varía la distancia de transportación, pero la productividad es constante (Regalado, 2013).

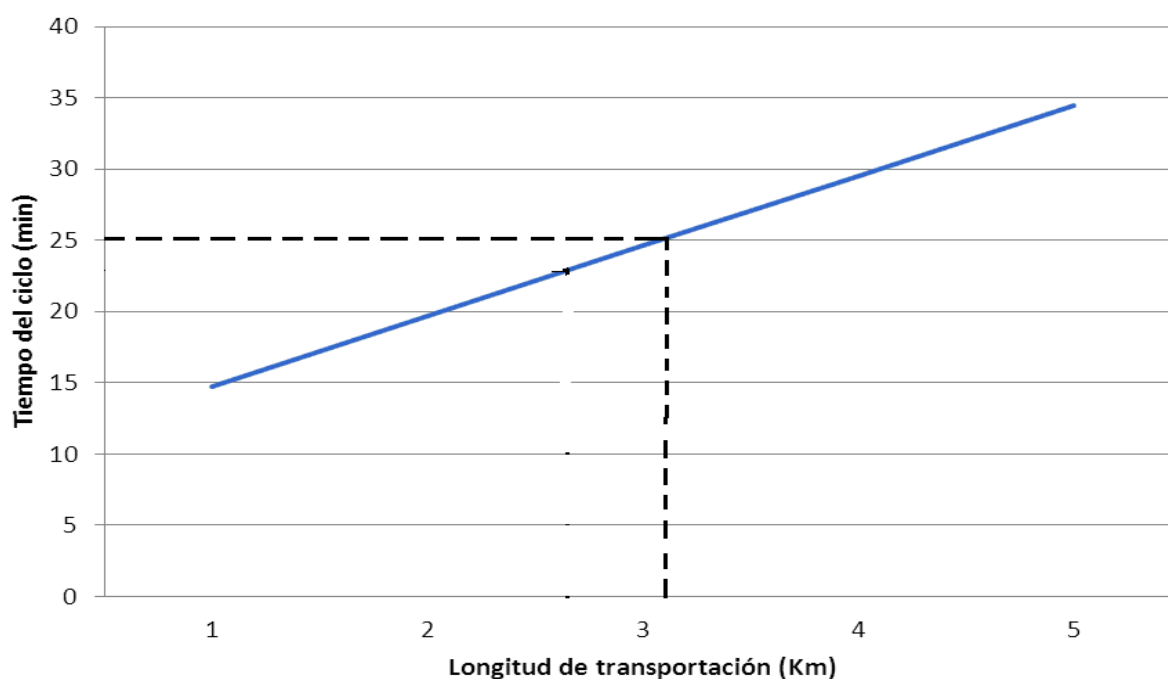


Figura 3.13. Tiempo del ciclo del camión VOLVO A 40E.

3.3.5. Determinación de la cantidad de camiones necesarios

Regalado (2013) refiere, que la determinación correcta de la cantidad de camiones requerida para la transportación del volumen total de masa minera en una mina a cielo abierto aumenta significativamente la operatividad de la misma. En el trabajo que nos ocupa la determinación del número de camiones se realizó de manera gráfica (anexo XVI) y para una longitud de transportación, $L=3,16$ km y una productividad del camión de $Q=822$ t/jornada. Ver figura 3.14.

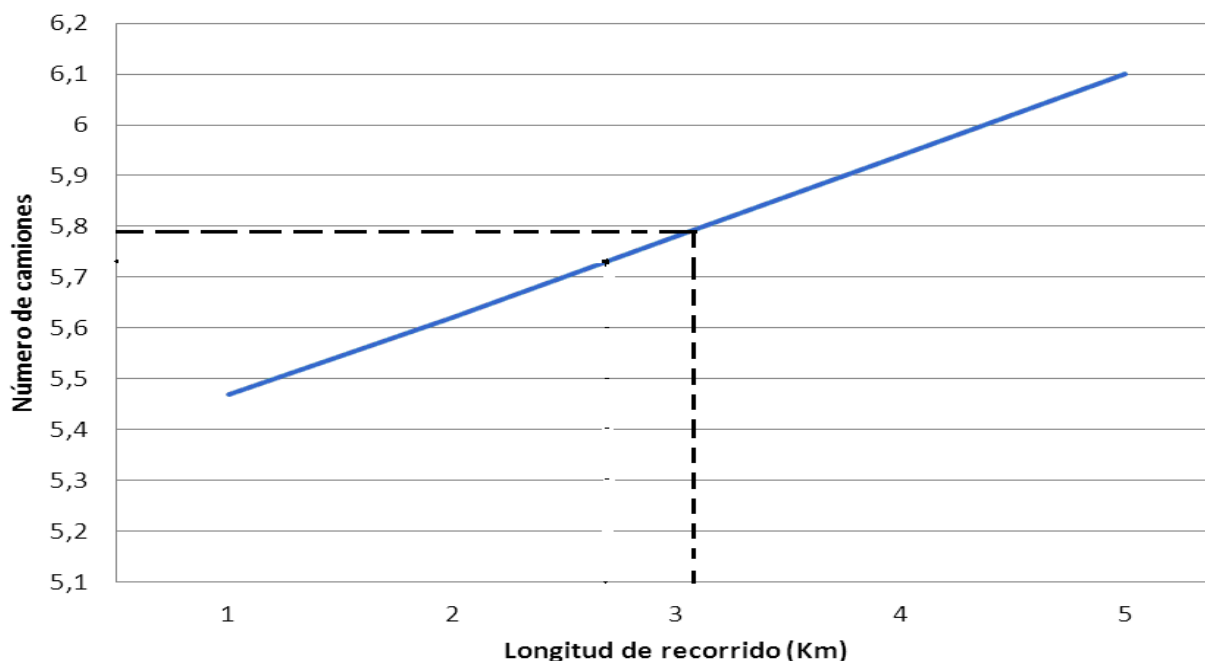


Figura 3.14. Número de camiones VOLVO A 40E necesarios para la transportación de las menas lateríticas.

3.4. Valoración económica

Durante el traslado de los camiones VOLVO A 40E los valores del coeficiente de agarre de las ruedas con la superficie de rodadura de los caminos (temporales y permanentes) se incrementan, ello provoca un aumento (38 % por encima del consumo establecido para estos vehículos) del consumo de combustible de estos vehículos, ello implica para la empresa un gasto adicional de 54 720 USD/año.

Durante el traslado de los camiones VOLVO A 40E los valores de las menas lateríticas mullidas adheridas a su caja de carga se incrementan (26,4 %) considerablemente, ello provoca un aumento (34,1 % por encima del consumo establecido para estos vehículos) del consumo de combustible de estos vehículos, a la vez que propicia una disminución de la productividad del vehículo (se dejan de transportar 13 2512,92 t/año). Todo lo antes referido conlleva a que la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara incurra en gasto adicional de 49 104 USD/año por concepto de sobreconsumo de combustible.

Si se consideran de conjunto los dos fenómenos antes mencionados se evidencia, que la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara incurre en gasto adicional de 103 824 USD/año.

3.4.1. Análisis de varianza para evaluar la posibilidad de incrementar la frecuencia de raspado de la caja del camión VOLVO A 40E

La figura 3.15 se obtuvo a partir del empleo de las relaciones 2.28 hasta ecuación 2.31. Para el análisis se escogió un nivel de significancia, $\alpha=0,05$ y $Z=1,96$.

Se ha de destacar, que a partir del criterio de Gauss y dado que todas las observaciones están dentro de los límites de control, se puede asumir que la media con valor de 22,21 % es representativa de la tendencia de las menas adheridas es decir, que existe una probabilidad de un 95 % de que si se realizan las mediciones de esta variable en condiciones similares sus valores estén en el rango de $q_{adh}=8,32\div36,08$.

Análisis de varianza

Para comprobar si era significativa aumentar la frecuencia de raspado de la caja de carga (limpiar la caja de carga del camión cada cinco viajes en lugar de cada siete) por efecto de la cantidad de viajes del camión VOLVO A 40E, se desarrolló el análisis de varianza obteniéndose, $F_{calc}=3,21$ menor que $F_{crítico}=3,35$.

Donde, $F_{crítico}=3,35$ es el valor de $F_{0,05}$ con 2 y 27 grados de libertad.

Como se puede apreciar en este caso el número de viajes del camión no influye de manera significativa en la cantidad de menas lateríticas adheridas a la caja de carga del mismo, por lo que es viable incrementar la frecuencia de limpieza de la caja de carga del vehículo y en consecuencia incrementar la capacidad de carga del camión.

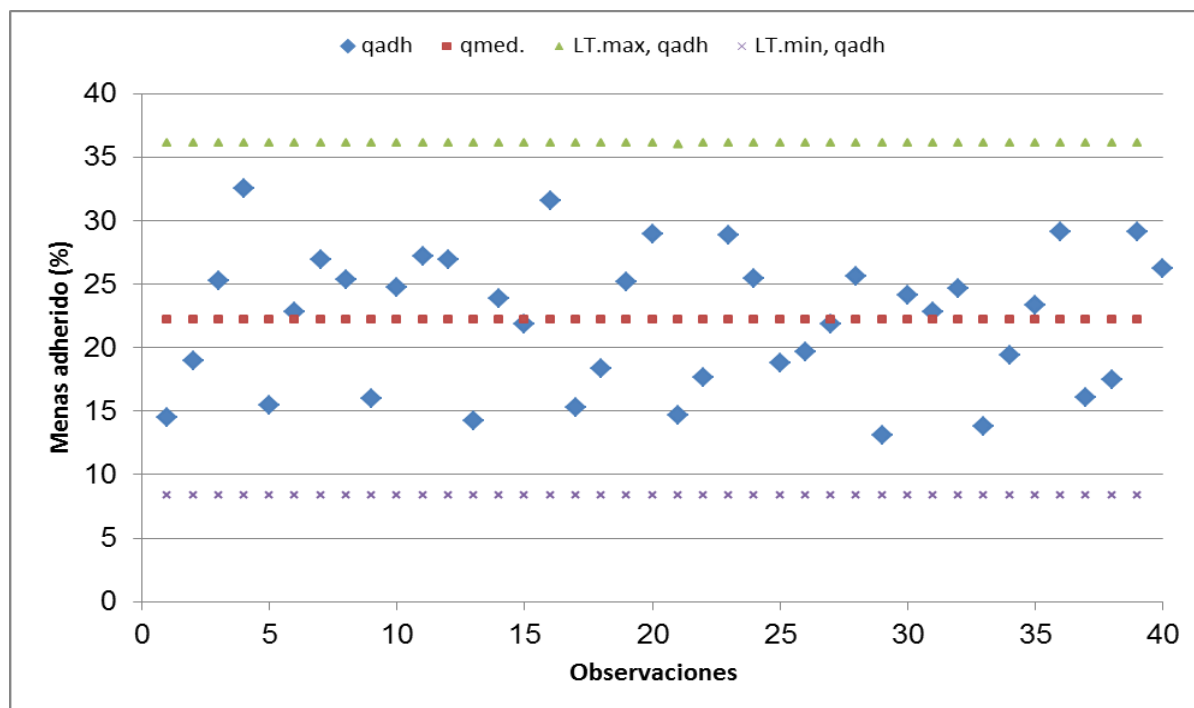


Figura 3.15. Incremento de la productividad del camión VOLVO A 40E.

El gráfico que se expone a continuación (Figura 3.16) muestra el comportamiento del consumo de combustible (ecuación 2.14) del camión VOLVO A 40E determinado a partir de considerar el aumento de la capacidad de carga que experimenta el producto del incremento de la frecuencia de raspado de la caja de carga del mismo, y el. Los demás parámetros fueron establecidos de acuerdo al anexo VIII.

Se evidencia que cuando se realiza la limpieza de la caja de carga cada cuatro viajes (camión con 26,4 % de menas adheridas) en lugar de cada siete (camión con 22,21 % de menas adheridas a la caja de carga) el consumo de combustible del camión VOLVO A 40E disminuye de un 34,1 % a un 25,1 % respectivamente; esta disminución representa un ahorro de 12 960 l/año de combustible.

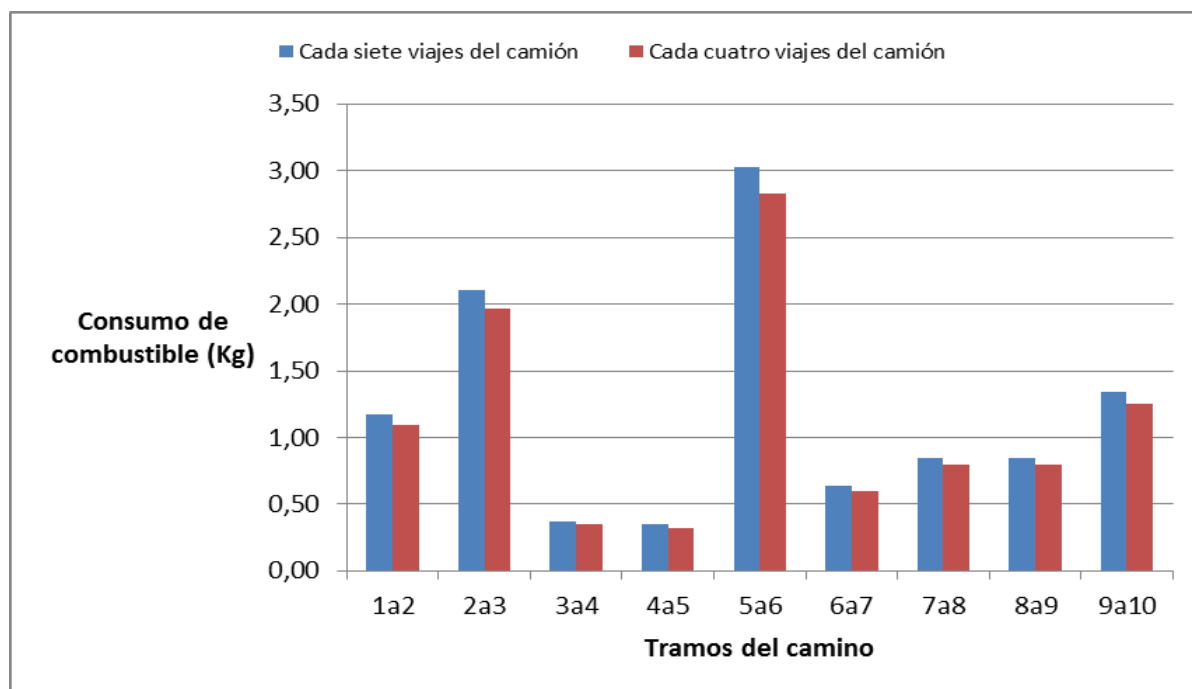


Figura 3.16. Valores del consumo de combustible del camión VOLVO A 40E. Camión con menas lateríticas adheridas.

3.5. Impacto ambiental

La mayor parte de las actividades que desarrolla el hombre son en mayor o menor medida agresivas para la naturaleza. Las actividades mineras revisten especial interés ya que después de producirse la extracción de los recursos minerales, si no existe una posterior evaluación y rehabilitación de estas áreas quedan en una situación de degradación sin probabilidades de su aprovechamiento. El impacto ambiental producto del movimiento de los camiones mineros VOLVO A 40E por los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la UBMECEC está

estrechamente relacionado con la utilización creciente de los mismos, y se manifiesta a través de sus altos niveles de emisión de sustancias tóxicas y de los llamados "gases de invernadero". Las discusiones internacionales acerca de las causas e implicaciones para la humanidad del llamado "efecto invernadero" provocado por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases tales como: CO₂, metano, óxido nitroso y los cloro-fluorocarbonatos reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo, así como la necesidad de una acción concertada de la comunidad internacional para mitigar los efectos del calentamiento global. Entre las medidas que se consideran figuran las de una mayor economía de consumo, el uso de combustibles alternativos, entre otros. De manera general, la reducción más significativa de hidrocarburos y CO se consigue con aquellas unidades equipadas con la tecnología más avanzada para el control de las emisiones.

3.5.1. Gases de escape de los motores diesel

Los componentes principales y secundarios de los gases de escape en diesel se describen conjuntamente con los de los motores de gasolina. La tabla 3.8 muestra los rangos típicos de materiales tóxicos presentes en el humo del escape. Los valores menores pueden encontrarse en motores nuevos y limpios y los valores altos en equipos antiguos.

Tabla 3.8. Principales componentes de los gases de escape en los motores diesel

CO	HC	DPM	NOx	SO ₂
ppm	ppm	g/m ³	ppm	ppm
5-1 500	20-400	0,1-0,25	50-2 500	10-150

3.5.2. Factores medio ambientales afectados por la actividad minera

Con la implementación y desarrollo de las actividades extractivas se generan todo un conjunto de afectaciones que incidirán directamente sobre factores medioambientales y poblacionales. A continuación se expondrán diversas valoraciones sobre estos impactos al entorno.

Atmósfera:

Los efectos directos sobre la atmósfera son provocados por el desprendimiento de grandes cantidades de polvo en los diferentes trabajos de explotación, movimiento de los camiones por los caminos mineros establecidos en la Unidad Básica Minera

de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, y acción del viento sobre superficies cubiertas de partículas finas. De igual forma interviene la emisión de gases tóxicos (CO₂) por la combustión, la producción de ruidos, y vibraciones en los trabajos de estos equipos mineros.

Suelo:

Los movimientos masivos de los equipos mineros (temporales y permanentes) de carga y transporte empleados en el acarreo de las menas lateríticas mullidas inciden directamente sobre el suelo a la vez, que ocasionan la degradación y pérdida de calidad de los mismos.

Flora y fauna:

Durante el traslado de los camiones mineros VOLVO A 40E por los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara producen un impacto medio ambiental sobre la flora y la fauna circundante al área de explotación. Los camiones VOLVO A 40E inciden mayormente en la contaminación por la emisión de polvo, ruidos y gases nocivos.

Aire:

Los efectos directos sobre la calidad del aire son producidos mayormente por la emisión de grandes cantidades de polvo laterítico fino debido a la acción del viento y la circulación del equipamiento de transporte minero (camiones VOLVO A 40E), así como por la emanación de gases tóxicos (CO₂) por la combustión en los equipos mineros. *Hidrología y calidad de las aguas superficiales:*

El desarrollo de la explotación minera generará una alteración permanente de los drenajes superficiales a través de la contaminación de las aguas por residuos sólidos y líquidos, en este caso aumenta el nivel de sedimentos, y se modifican los causes de drenajes de las aguas superficiales acumuladas.

Paisaje:

Las incidencias sobre el paisaje son entre otras: la modificación de la estructura visual por la alteración de sus elementos, la apertura de grandes huecos por la creación de los frentes de explotación así como por la formación de grandes pilas de material, etc.

3.5.3. Medidas preventivas para minimizar los impactos medio ambientales

- Tratar que los trabajos de explotación provoquen el menor impacto visual, remediándose mediante la introducción de vegetación, el remodelado de la forma del terreno y la construcción de pantallas visuales (creación de franjas boscosas).
- Conformación de un sistema de terrazas para disminuir la erosión y permitir la instalación de una cobertura herbácea que favorezca el progreso de la vegetación.
- La construcción de cunetas para la recolección del agua de escorrentía, con el objetivo de que las partículas finas se sedimenten. Estas "piscinas" se construirán en dentro del área de explotación y deben ser mantenidas hasta el total cumplimiento de la rehabilitación (medidas a largo plazo).
- La disminución de las emisiones del polvo producto a la circulación de los equipos de carga y transporte (VOLVO A 40E, excavadoras, entre otros), es de vital importancia. Si los caminos están cubiertos por una capa de material grueso (grava) la concentración de polvo en el aire será de ($\approx$) $40 \div 100 \text{ ml/m}^3$, por el contrario, si el camino está en estado natural estos valores serán de $150 \div 350 \text{ ml/m}^3$; por tanto, se establecerá periódicamente el riego de agua en los caminos con el objetivo de, que las partículas finas no vuelen en gran magnitud hacia la atmósfera, la efectividad de esta operación oscila entre $40 \div 120 \text{ min}$ en días con temperaturas altas.
- Las especies forestales seleccionadas deben poseer algunas características especiales de resistencia como, resistencia a plagas, adaptación a los cambios y variaciones existentes en este medio, adaptabilidad a las características del suelo, entre otros factores.

3.6. Conclusiones del capítulo 3

1. La cantidad de menas lateríticas que se adhieren a la caja de carga del camión VOLVO A40E modifican el comportamiento de los parámetros tecnológicos y de explotación de los camiones VOLVO A 40E:
 - a) Disminución de la capacidad de carga real de la caja de carga del camión (26,4 %).
 - b). Disminución de la productividad del vehículo (132 512,92 t/año de menas lateríticas que deja de transportar el camión).

- c). Incremento del consumo específico de combustible del camión (hasta 34,1 % por encima del consumo normal de estos equipos).
2. El incremento de los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones con la superficie de rodadura de los caminos (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara influyen de manera considerable en la modificación de los parámetros del camión VOLVO A 40E:
- a.) Incremento de la fuerza de tracción que debe desarrollar el camión, $F_{t.carg}=52\ 864\ \text{N}$, y $F_{t.vacío}=25\ 242\ \text{N}$.
- b.) Aumento de las fuerzas de resistencia que influyen durante el movimiento del camión por los caminos mineros, $W_{p.c.cargado}=52\ 691\ \text{N}$, $W_{p.c.vacío}=25\ 159\ \text{N}$ y $W_{i.c.cargado}=56\ 505\ \text{N}$, $W_{i.c.vacío}=25\ 831\ \text{N}$, respectivamente.
- c.) Incremento de la fuerza de la potencia demandada por el vehículo, $N_{max.carg}=298\ \text{kW}$, y $N_{max.vacío}=198\ \text{kW}$.
- d.) Incremento del consumo de combustible del camión (38 % por encima del consumo establecido para estos equipos).

Conclusiones generales

1. La evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación (capacidad de carga, productividad del camión, cantidad de movimiento, índice de consumo energético, entre otros) de los camiones mineros VOLVO A40E empleados en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara muestra, que tanto los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes), así como la cantidad de menas lateríticas adheridas influyen considerablemente en su comportamiento y evolución.
2. El análisis del coeficiente de agarre de las ruedas del camión VOLVO A 40E con la superficie de rodadura de los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara refleja, que los valores más racionales de este parámetro son valores $(88 \div 122 \text{ N/kN})$.
3. Se obtuvo un modelo (ecuación 3.5) fundamentado matemáticamente para el cálculo de la cantidad de menas lateríticas mullidas que se adhieren a la caja de carga de los camiones mineros VOLVO A40E empleados en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Recomendaciones

1. Considerar los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E propuestos (88÷122) en la investigación en vista de racionalizar (disminuir si es posible) los valores de las pendientes de los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
2. Continuar la investigación que refiere la determinación de los valores del coeficiente de agarre de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la Unidad Básica Minera de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara considerando otras variables, y un universo mayor de mediciones lo cual permita dar una valoración más acertada de dicho parámetro, así como una mayor aplicabilidad práctica de los modelos que lo caracterizan.
3. Actualizar los índices de consumos de todos los vehículos del parque en vista de realizar una valoración más objetiva de este indicador.

Referencias bibliográficas

Andreyeev, A. B. *Máquinas de transporte y complejos automatizados en las canteras*. Ed. Niedra: Moscú 1975.

Andronic, F.; et al. Passive suspension modeling using Matlab quarter car model input signal step type. *Tehnomus*, 2013.

Agostinacchio, M. et al. The vibrations induced by surface irregularities in road pavements -a Matlab approach. *Springer*, 2013: 267-275.

Barallobre, Y.

Establecimiento de los parámetros tecnológicos del equipamiento para la construcción de caminos mineros en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Dr. C. Ing. Roberto Johan. Sierra Pérez (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2006.

Barrios Y. *Diseño del Método de Explotación del Sector 14 del Yacimiento Moa Oriental*. Dr. C. Ing. Rafael Noa Monjes (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2006.

Belete, F. O. *Máquinas de excavación-carga*. La Habana: Juan Marinello, 1999.

Boríssov, K.; et al. *Labores Mineras*. Moscú: Mir, 1976.

Calero A. Técnicas de muestreo. La Habana: Pueblo y Educación, 1976. 506 p.

Carmenate, M. *Establecimiento de criterios para la comparación y/o evaluación de camiones diesel*. Tesis de Doctorado. Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", 2004.

Colectivo de autores del Tecnológico "José Ramón Rodríguez". *Funcionamiento y características de vehículos y motores*. Santiago de Cuba: Oriente, 1984.

Cordero, D.; et al. *Análisis del sistema de explotación de los camiones A40D de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Dr. C. Ing. Roberto Sierra Pérez (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2003.

Constain, P. L. *Interrelación del equipamiento minero y de transporte en las canteras*. Moscú: Mir, 1982.

Diakov, V. A. *Máquinas de transporte en la minería a cielo abierto*. Moscú: Niedra, 1996.

- Durán, F. A. *Sistema de explotación de los camiones Volvo A 40 D de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. ISMM. Dr. C. Ing. Orlando Belette Fuentes (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2003.
- Estévez, J. Y. *Análisis del sistema de transportación de la mina pinares de la empresa Comandante René Ramos Latour*. Dr. C. Ing. Orlando Belette Fuentes (tutor). Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2010.
- Fernández, J.; et al. *Maquinaria de obras*. La Habana: Juan Marinello, 1985.
- Freitag, D. Dimensional analysis of the performance of pneumatic tyres and soft soils. *Technology*, 1965.
- Fuentes J.; et al. Eficiencia energética en el transporte automotor. La Habana: Pueblo y Educación, 2010.
- Gabay, A.; et al. *Máquinas para obras*. La Habana: Revolucionaria, 1979.
- Gerontiev, B. I.; et al. *Transporte minero*. Moscú: Mir, 1962.
- Grigoriev, B. N. *Máquinas y complejos de transporte para el laboreo subterráneo*. Moscú: Niedra, 1986.
- Hernández. *Transporte minero*. Ciudad de la Habana: Félix Varela, 1999.
- Hernández, S. *Metrología dimensional*. La Habana: Pueblo y Educación, 1986.
- Huertas, H. Faja tubular, solución para el transporte de materiales a granel. // *Congreso de Ingeniería Mecánica*, 2006.
- Johannesson, P.; et al. Modelling of road profiles using roughness indicators. *Matematiska vetenskaper*, 2012.
- Larramendiz, N. *Estudio técnico estadístico del comportamiento de los camiones VOLVO de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Dr. C. Ing. Roberto Sierra Pérez (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2002.
- Luna, H. *Explotación técnica de automóviles*. La Habana: Pueblo y Educación, 1982.
- Matos, F. C. *Estudio comparativo del rendimiento técnico-productivo entre los camiones volvo A40D y los Bell A50D en los yacimientos lateríticos de Moa Nickel*. Ms. C. Ing. Julio Montero Matos (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2008.
- Maugolud, U. *Fundamentos de la teoría de fiabilidad de las máquinas de transporte minero*. Moscú: Niedra, 1980.

- Martínez, R. *Determinación de la productividad y consumo de combustible del camión volvo A40ffs y de las excavadoras en la mina de la empresa Comandante Che Guevara*. Dr. C. Ing. Orlando Belette Fuentes (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2013.
- Mediaceja, Y. *Comportamiento de la humedad durante el secado solar de los minerales lateríticos*. Dr. C. Ing. Enrique Torres Tamayo (tutor). Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2007.
- Miller R.; et al. *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. La Habana, 2005: 25-30 p.
- Mitra A.; et al. Simulation and Analysis of full car model for various road profile on a analytically validated Matlab/Simulink model. *Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 2014: 22-23.
- Montgomery. D. C. *Diseño y análisis de experimentos*. La Habana, 2004. 585 p.
- Montes de Oca, C. *Caracterización de los caminos mineros y los neumáticos utilizados en la Unidad Básica Minera de la empresa "Comandante Ernesto Ché Guevara*. Dr. C. Roberto Sierra Pérez (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2003.
- Nvoyilov, G.; et al. *Trabajos mineros a cielo abierto*. Moscú: Niedra, 1985.
- Ramón P.; et al. Evaluación de la eficiencia energética de vehículos pesados en el ciclo de movimiento básico modificado. *Ingeniería Mecánica*, 2010, Vol. 13. No.1: 49-58.
- Oliveros, Y. *Evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación del transporte automotor minero empleado en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. ISMM. Dr. C. Roberto J. Sierra Pérez (tutor). Tesis de Maestría, Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2015.
- Ovoyilov, M. *Trabajos mineros a cielo abierto*. Moscú: Niedra, 1985.
- Patel, C. B.; et al. Modelling and vibration analysis of a road profile measuring system. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)*, 2010, Volume 1: 13-28 p.
- Pereda, S.; et al. *Transporte minero*. La Habana: Félix Varela, 1999.
- Polanco. *Dirección de los flujos de mineral en los yacimientos lateríticos*. Departamento de minas, 1996.
- Potapov, N. G. *Máquinas de transporte*. Moscú: Niedra, 1980.

- Potapov, N. G. *Transporte en las canteras*. Moscú: Niedra, 1985.
- Reyes, M. *Estudios sobre la utilización racional del transporte automotor minero*. Dr. C. Ing. Orlando Belette Fuentes (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 1987.
- Regalado, M. *Análisis de la explotación del transporte automotor minero empleado en el Yacimiento Pinares de Mayarí Oeste*. Ing. Yorlandis Oliveros Blanco (tutor). Tesis de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2013.
- Rojas, A. *Influencia de las características de los minerales lateríticos en los índices de explotación de los camiones Volvo A 40D y A 35C en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Dr. C. Ing. Orlando Belette Fuentes (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2007.
- Oliveros, Y. *Evaluación de los de los parámetros tecnológicos y de explotación del transporte automotor minero empleado en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Dr. C. Ing. Roberto J. Sierra Pérez (tutor). Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2015.
- Sánchez, G.; et al. *Análisis del régimen de trabajo y explotación técnica del transporte automotor en la mina Martí de Nicaro*. Dr. C. Ing. Roberto Watson Quesada (tutor). Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 1981.
- Samy A.; et al. Identification of road surface qualities for linear and non-linear vehicle modeling. *Menoufia University*, 2012.
- Smorodinov, V. ; et al. Metodología para el análisis de extracción – transporte. *Revista Geología Minería*, 1989.
- Spivakoski, A.; et al. *Máquinas y complejos de transporte en las labores minera*. Moscú: Niedra, 1983.
- Spivakovki A.; et al. *Máquinas de transporte*. Moscú: Mir, 1968.
- Szczepaniak, K. et al. *Teoría del automóvil*. La Habana: Pueblo y Educación, 1974.
- Shubin, V. S.; et al. *Diseño de máquinas industriales*. La Habana: Pueblo y Educación, 1986.
- Tarasov, U. D. *Dispositivos y cálculo de las máquinas mineras de carga y transporte*. Moscú: Mir, 1986.
- Tíjonov, N. V. *Máquinas de transporte en las empresas mineras*. Moscú: Niedra, 1987.

- Toirac, A. *Estudio del rendimiento automotor en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Ing. Yoandro Diéguez García (tutor). Tesis de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2010.
- Vallejo, C. N. *Diseño de un sistema de transporte para el yacimiento camarioca sur*. M. Sc. Armando Cuesta Recio (tutor). Tesis de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2010.
- Vasiliev, O.; et al. Determinación de la cantidad de camiones requeridos en las condiciones de producción de una mina a cielo abierto. *Revista Geología Minería*, 1989.
- Vasiliev, K. A.; et al. *Máquinas de cargas y transporte de las plantas de beneficio de minerales*. Moscú: Mir, 2006.
- Vasiliev O.; et al. *Máquinas de transporte*. Moscú: Nedra, 2003.
- Walker, J. Proceedings of the third international conference of Grouting and Ground. *Technology*, 2003.

ANEXOS

Anexo I

Tabla 1. Coeficientes de resistencia a la rodadura (w_0). Camión vacío. Tramo horizontal.

Tracción en el Dinamómetro (Kg)	Pendiente (%)	P(kN)
3000,2400,2820 2030,2520,2000 1200,1700,1300,1800, <u>2107</u>	0	320
1200,1930,1110,1200,1550,1620,650,830,950 810,820,680,790,560,840,740,1620,1750,1500 1420,1200,1500,1420,1650,1750,1420,1500, <u>1223</u>	0	320
860,610,770,910,690,590,660,680,300,530,490 480,400,700,720,780,800,820,780,800,860,800, <u>659</u>	0	320

Anexos II

Tabla 2. Coeficientes de resistencia a la rodadura. Camión vacío. Pendiente hacia abajo.

Tracción en el Dinamómetro (Kg)	Pendiente (%)	P(kN)
800,830,600,760,510,630,490,350,450,520,460, <u>600</u>	3	320
1400,1200,1290,1040,1010,870,910,620,820, 500,690,510,680,500, <u>863</u>	5	320
1600,1310,1600,1530,1570,1390,1440,1200,1260,0, 1090,1160,1040,1090,1000,1060,1000,1000, 1000, <u>1222</u>	7	320
2440,2350,2400,2180,2290,2000,2110,2060, 2400,1920,2200,1870,2000,1770,1800, <u>2119</u>	9	320

Anexo III

Tabla 3. Coeficientes de resistencia a la rodadura. Camión vacío. Camión detenido.

Tracción en el Dinamómetro (Kg)	Pendiente (%)	P(kN)
2190	11	320
1900	7	320
1360	12	320
800	3	320

Anexos IV

Tabla 4. Coeficientes de resistencia a la rodadura. Camión vacío. Pendiente hacia arriba.

Tracción en el Dinamómetro (Kg)	Pendiente (%)	P(kN)
2520,2410,2300,1230,2430,2440,2180,1350, 1270,1230,1240, <u>1868</u>	3	320
2470,2320,2280,1330,24201,2240,23601,2400, 2300,2280,2150,1800,1090,1660,1310,1200,1500, <u>1927</u>	3	320
2600,2580,2490,2400,2700,2510,2420,2440, 2530,2620,2700,2770,2800, <u>2579</u>	4	320
2610,2500,2570,2550,2480,2150,2460,2390, 2410,2430,2510, <u>2460</u>	4	320
2800,2900,3300,2970,2890,1320,3200,3350 3400,3500,35201,35001,34500,3500,35400, <u>3353</u>	5	320
3570,3600,3720,3690,3770,3800,3860,3900, 3960,3990,3910,4020,4060,4100,4170,4190, 4100,4200,4220,4200, <u>3933</u>	6	320

Anexo V

Tabla 5. Coeficientes de resistencia a la rodadura. Camión cargado. Pendiente hacia arriba.

Tracción en el Dinamómetro (Kg)	Pendiente (%)	P(kN)
4090,4000,3880,3900,3760,3300,3500,3000,2800,3500,2200,1900,1700,3500, <u>3216</u>	2	700
7280,7000,6800,6600,7660,7440,7000,6940,7080,6660,6000,6070,5550,5000,4800,4700, <u>6418</u>	6	700
6100,6600,5950,5370,5920,7000,6820,68006900,6950,6800,6830,7000,7020,6900,68006800,6200,6000,7080,7100, <u>6604</u>	7	700
8000,7900,8790,8090,8720,9200,9000,8840, <u>8648</u>	9	700

Anexo VI

Tabla 6. Coeficientes de resistencia a la rodadura. Camión cargado. Pendiente hacia abajo.

Tracción en el Dinamómetro (Kg)	Pendiente (%)	P(kN)
2000,2020,1900,1800,1500,1720,1500,1420,1380,1320,1320,1300, <u>1595</u>	2	700
3400,3000,2700,2200,1890,1690,1600,1680,1900,1600,1620, <u>2116</u>	3	700
4000,4020,3000,3800,3500,3600,3200,3000,2940,2980,3000,2800,2870,2940,2820,2800, <u>3204</u>	5	700
4500,4530,4560,4520,4580,4600,5000,5700,5800,5700,5000,5600,5090,5560,3730,5620,5700,5700, <u>5194</u>	7	700
3300,3800,3500,3440,3760,4000,4360,4000,4500,4200,4600,5020,5800,7000,6900,7000,	9	700

6800,5800,6760,6800,6920,6730, <u>5213</u>		
---	--	--

Anexo VII

Tabla 7. Coeficientes de resistencia a la rodadura. Camión cargado. Pendiente hacia arriba.

Tracción en el Dinamómetro (Kg)	Pendiente (%)	P(kN)
Movimiento horizontal <u>2200</u>	0	700
4260,3300,3400 fijo [6000-6200] arranque (inicio del movimiento) 5200,4200,3300,4600,3000, <u>3903</u>	2	700

Anexo VIII

Tabla 8. Parámetros del camino minero empleado en la investigación.

Tramos	H (m)	L (km)	Pendiente (%)	Áng.de.incl.(°)
1-2	10	0.140	7.47	4.30
2-3	17	0.354	4.76	2.76
3-4	7	0.319	2.16	1.27
4-5	3	0.145	2.05	1.18
5-6	26	0.317	8.30	4.63
6-7	11	0.559	2.00	1.10
7-8	15	0.292	5.18	2.99
8-9	15	0.728	2.18	1.20
9-10	0	0.304	0	0

Anexo IX

Tabla 9. Resultados de los experimentos de humedad y peso volumétrico del mineral.

No	Humedad %	P. vol. (t/m ³)	No	Humedad %	P. vol. (t/m ³)
1	36.4	1.17	15	36.4	1.17
2	34.3	1.11	16	36.02	1.17
3	36.2	1.17	17	36.43	1.18
4	36.4	1.17	18	38.03	1.21
5	38.1	1.2	19	37.21	1.18
6	36.7	1.18	20	36.73	1.18
7	34.6	1.11	21	38.2	1.23
8	36.8	1.18	22	36.55	1.17
9	37.2	1.2	23	38.4	1.24
10	36.7	1.18	24	37.15	1.19
11	34.7	1.13	25	36.41	1.18
12	37.9	1.2	26	38.2	1.23
13	37.15	1.19	27	36.7	1.18

Anexo X

Tabla 10. Valores de los parámetros tecnológicos del camión durante los días de medición.

Fecha	Peso propio del camión, (t)	Peso de la carga, (t)	Peso total del camión (t)
24-05-12	32,0	38,5	70,5
9-06-12	32,0	38,3	70,3
16-06-12	32,0	37,3	69,3
Promedio	32,0	38,0	70

Anexo XI

Tabla 11. Humedad (%) existente en distintos puntos de los caminos mineros establecidos en la UBMECECG.

Humedad en distintos puntos de camino y puntos de carga (%)				
No	Fecha	Centro	Periferia	Vía temporal
1	24-05-12	11.99	13.28	19.35
2	"	11.08	11.88	20.18
3	"	10.81	12.54	19.13
4	"	10.60	12.69	21.1
5	"	11.23	13.5	21.35
6	"	11.12	13.21	20.92.
7	"	11.35	12.74	21.78
8	"	10.91	12.11	20.98
9	"	11.42	12.09	20.65
1	9-06-12	19.52	22.13	34.9
2	"	20.03	22.63	33.75
3	"	21.7	23.06	34.39
4	"	21.36	22.18	35.12
5	"	20.45	23.54	34.44
6	"	19.89	24.6	33.99
7	"	20.87	23.7	35.06
8	"	21.20	23.88	34.21
9	"	21.05	23.08	33.85
1	16-06-12	14.5	16.02	27.13
2	"	14.33	15.48	28.15
3	"	15.64	15.43	29.63
4	"	16.11	15.23	27.96
5	"	14.44	14.98	28.02
6	"	15.39	15.04	28.15
7	"	15.11	16.24	27.96
8	"	15.86	14.44	28.02
9	"	14.26	14.08	29.04

Anexo XII.

Tabla 12. Valores del coeficiente de esponjamiento obtenido.

Fecha	# Exp.	Corrida	V.mullido m ³	V.hueco m ³	Ke
11-05-12	1	1	7.79	6.39	1.22
"		2	7.47	6.02	1.24
"		3	6.6	6.1	1.08
"		4	7.85	6.37	1.23
"		5	8.39	6.95	1.2
13-05-12	2	1	8.1	6.48	1.25
"		2	6.95	6.15	1.13
"		3	4.7	3.75	1.25
"		4	8.16	6.43	1.27
"		5	5.78	4.34	1.33
25-05-12	3	1	6.85	5.09	1.25
"		2	8.77	7.2	1.22
"		3	7.66	6.17	1.24
"		4	6.69	6.07	1.11
"		5	7.48	6.13	1.22
27-05-12	4	1	6.45	6.04	1.06
"		2	7.73	6.28	1.23
"		3	7.35	6.21	1.18
"		4	8.17	7.33	1.11
"		5	7.82	6.3	1.24
2-06-12	5	1	6.93	6.11	1.13
"		2	6.98	6.16	1.13
"		3	6.84	6.1	1.12
"		4	7.07	6.18	1.14
"		5	7.15	6.2	1.15
4-06-12	6	1	6.92	6.02	1.15
"		2	7.14	6.2	1.15
"		3	7.44	6.23	1.19
"		4	7.11	6.16	1.15

Promedio	---	---	---	---	1.19
-----------------	-----	-----	-----	-----	-------------

Anexo XIII

Tabla 13. Parámetros de explotación del VOLVO A 40E.

T.viaje. carg. (min)	T.viaje.v acío.(mi n)	T.esp. carg. (in)	T.esp.d scarg. (min)	Tcarg (min)	T.des c. (min)	T.m n.ca rg. min)	T.man .desc. (min)
13.00	11.60	5.34	-	3.5	0.3	0.50	0.35
15.10	10.50	4.50	0.20	2.30	0.25	0.55	0.25
16.00	14.00	7.50	1.25	2.30	1.05	1.00	1.00
15.50	12.05	2.00	2.15	3.40	0.30	0.40	0.45
18.00	10.00	-	-	1.50	1.05	0.35	0.35
15.30	12.50	0.50	4.50	2.50	0.45	0.45	0.30
16.50	11.50	11.30	-	2.45	0.45	0.25	0.35
14.20	12.30	-	0.15	2.25	0.30	0.25	0.20
17.30	11.05	-	-	3.50	0.30	0.25	0.35
14.40	12.00	17.05	0.50	1.50	1.15	0.20	0.45
15.30	10.50	-	-	2.50	0.50	0.28	0.40
14.00	11.00	15.00	1.50	1.50	1.40	0.20	0.40
13.50	12.00	3.50	-	2.50	0.30	0.35	0.20
14.40	12.20	20.00	-	2.45	0.25	0.50	0.20
13.90	14.30	35.00	-	2.30	0.20	0.30	0.30
15.00	11.00	15.00	1.50	1.50	1.40	0.20	0.25
12.50	12.00	3.50	-	2.50	0.30	0.35	0.20
16.40	12.20	14.00	-	2.45	0.25	0.20	0.20
13.90	14.30	35.00	-	2.30	0.45	0.30	0.30
17.10	10.50	4.50	0.20	2.30	0.25	0.55	0.25
17.00	13.00	7.50	1.25	2.20	1.05	1.00	1.00
14.50	12.05	2.00	2.00	3.40	0.40	0.40	0.45
18.00	12.00	-	-	1.50	1.05	0.35	0.35
15.50	11.50	11.00	-	2.45	0.45	0.35	0.35
14.20	10.00	-	0.15	2.25	0.30	0.25	0.20
15.30	11.05	-	-	3.50	0.30	0.25	0.40

14.00	12.00	17.05	0.50	1.50	1.15	0.20	0.45
-------	-------	-------	------	------	------	------	------

Anexo XIV

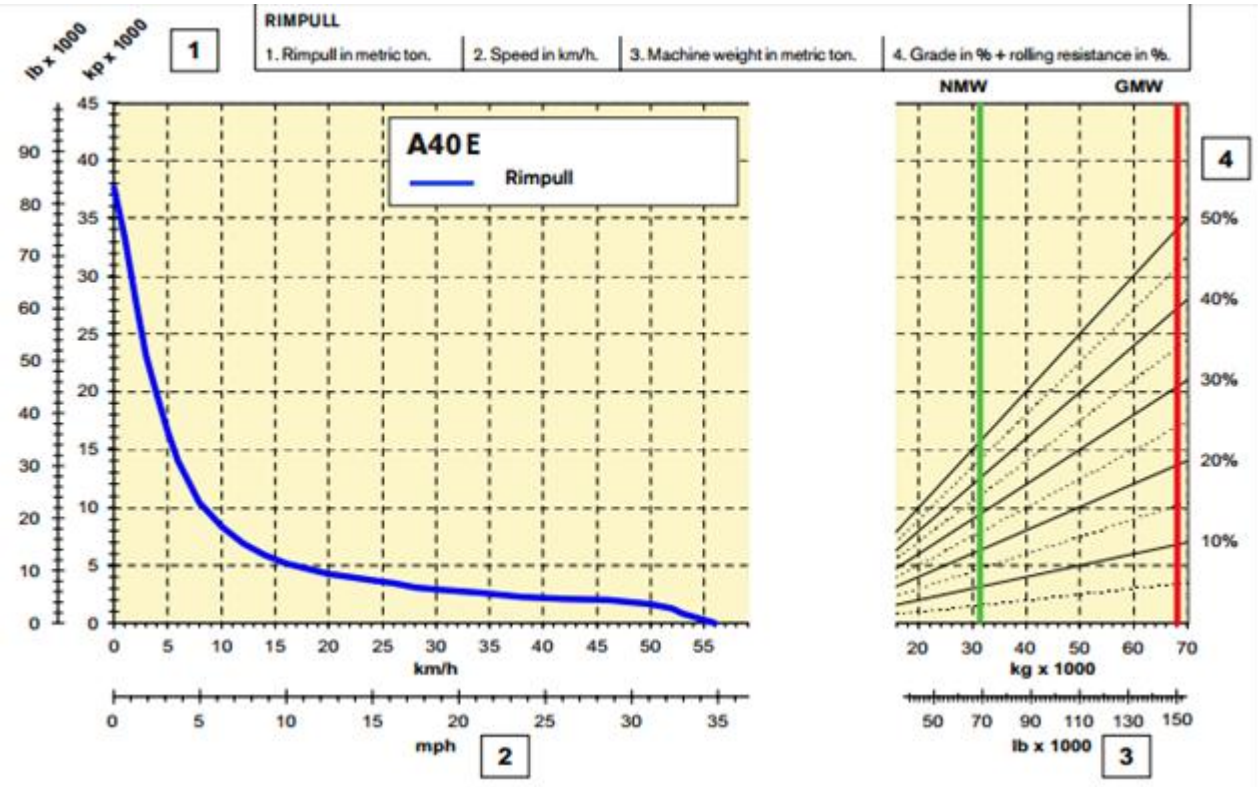


Figura. 4 Fuerza de tracción del camión VOLVO A 40E.

Anexo XV

Tabla 14. Valores obtenidos para las menas lateríticas adheridas (%) a la caja de carga del camión VOLVO A40E.

Cant. de Viajes	q_{ahd.1}	q_{ahd.2}	q_{ahd.3}	q_{ahd.4}	q_{ahd.5}	q_{ahd.6}	q_{ahd.7}	q_{ahd.8}	q_{ahd.9}	q_{ahd.10}	Promedio
1	14,5	15,5	16,1	14,2	15,3	14,6	18,6	13,0	13,8	16,1	14,5
2	19,1	22,8	24,8	23,9	18,3	17,6	19,7	24,1	19,4	17,5	19,1
3	25,3	26,9	27,2	21,9	25,2	28,8	21,9	22,8	23,4	29,1	25,3
4	32,6	25,3	26,9	31,6	28,9	25,4	25,7	24,6	29,2	26,3	32,5
5	30,2	27,9	33,9	29,4	27,5	29,7	29,2	30,7	30	31,1	30,2
6	33,5	31,4	32,2	29,3	29,3	29,2	33,3	31,8	33,2	29,9	33,5
7	31,4	30,5	33,9	31,6	32,7	28,4	32,31	33,3	30,8	32,3	31,4

Tabla 15. Valores obtenidos para las menas lateríticas adheridas (t) a la caja de carga del camión VOLVO A40E.

Cant. de Viajes	q_{ahd.1}	q_{ahd.2}	q_{ahd.3}	q_{ahd.4}	q_{ahd.5}	q_{ahd.6}	q_{ahd.7}	q_{ahd.8}	q_{ahd.9}	q_{ahd.10}	Promedio
1	5,8	6,2	6,4	5,7	6,1	5,9	7,5	5,2	5,5	6,5	6,1
2	7,6	9,1	9,9	9,6	7,3	7,1	7,9	9,7	7,8	7,0	8,3
3	10,1	10,8	10,9	8,8	10,1	11,5	8,8	9,1	9,3	11,7	10,1
4	13,0	10,1	10,8	12,7	11,6	10,2	10,3	9,9	11,7	10,5	11,1
5	12,1	11,2	13,6	11,8	11,0	11,9	11,4	12,3	12,0	12,4	12,0
6	13,4	12,6	12,9	11,7	11,7	11,7	13,2	12,7	13,3	12,0	12,5
7	12,6	12,2	13,5	12,7	13,1	11,4	12,9	13,3	12,4	12,9	12,7

Anexo XVI

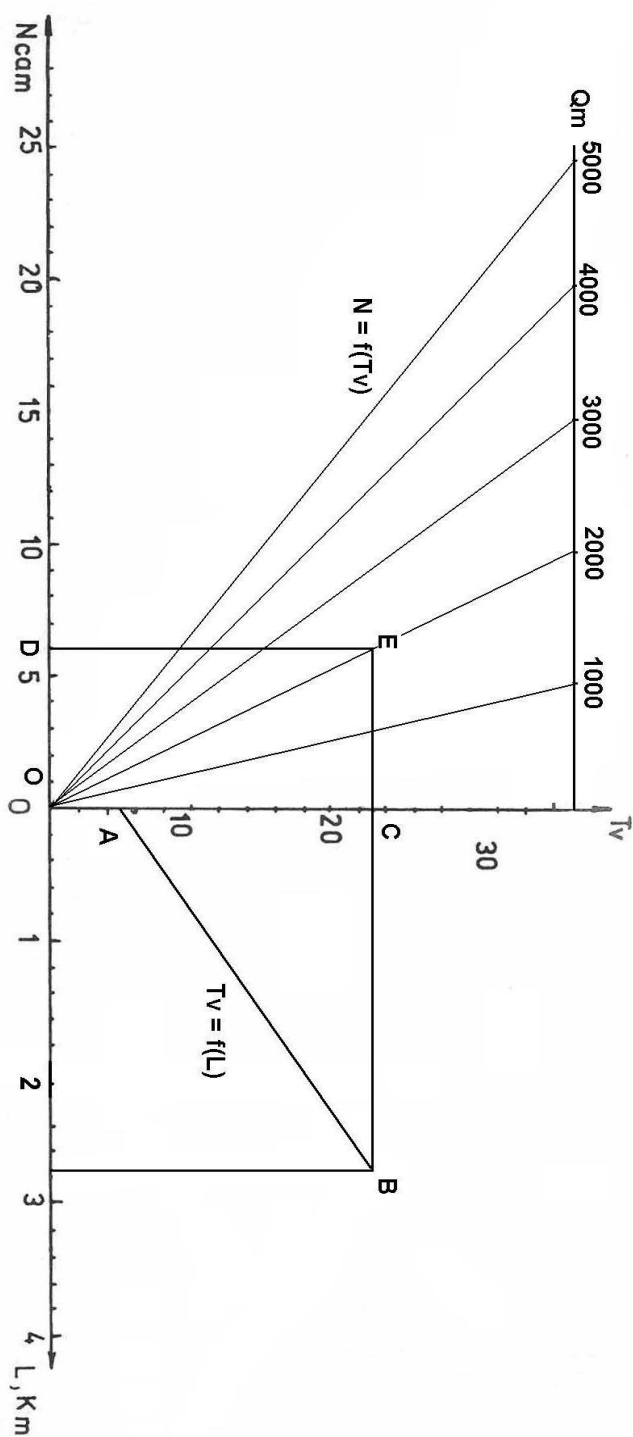


Figura 5. Nomograma que interrelaciona la longitud de trasportación, la productividad y el tiempo de viaje del camión

Anexo XVII

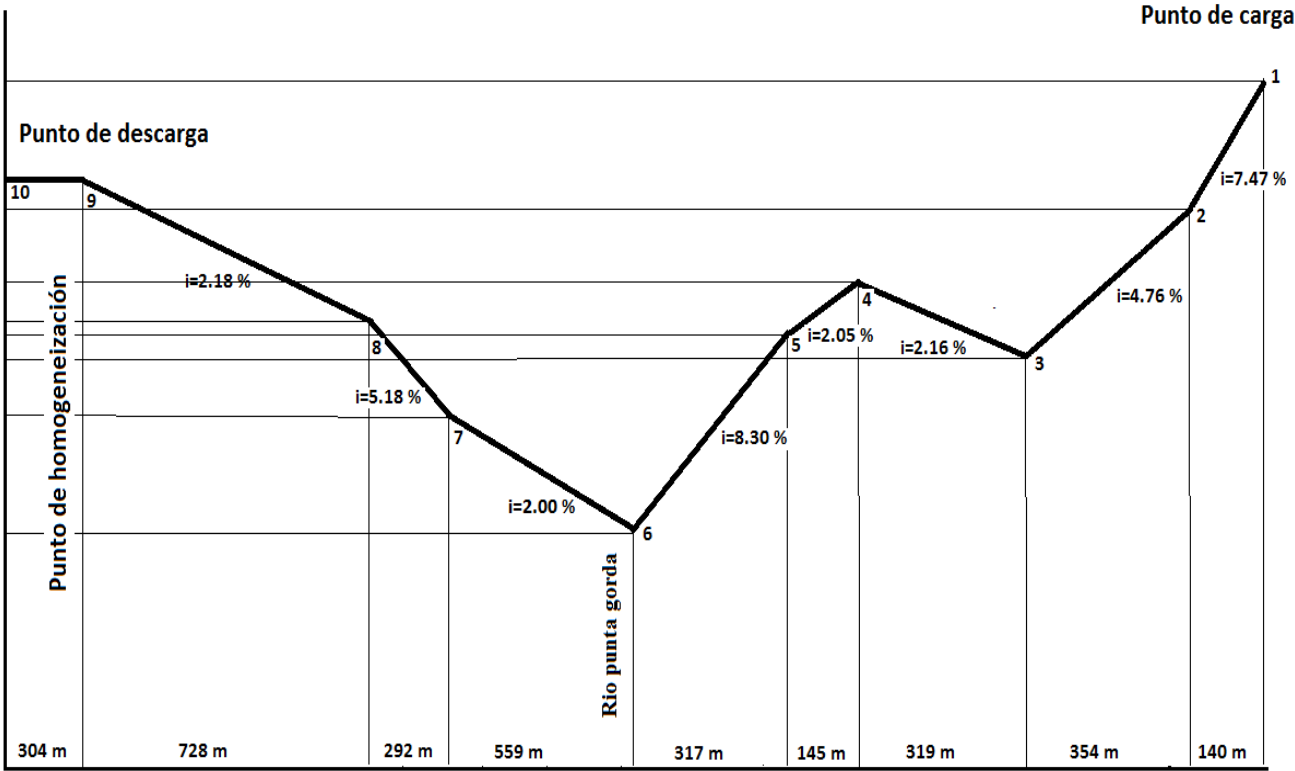


Figura 6. Perfil del camino minero empleado en el transporte de las menas lateríticas mullidas de la UBMECECG.

Anexo XVIII

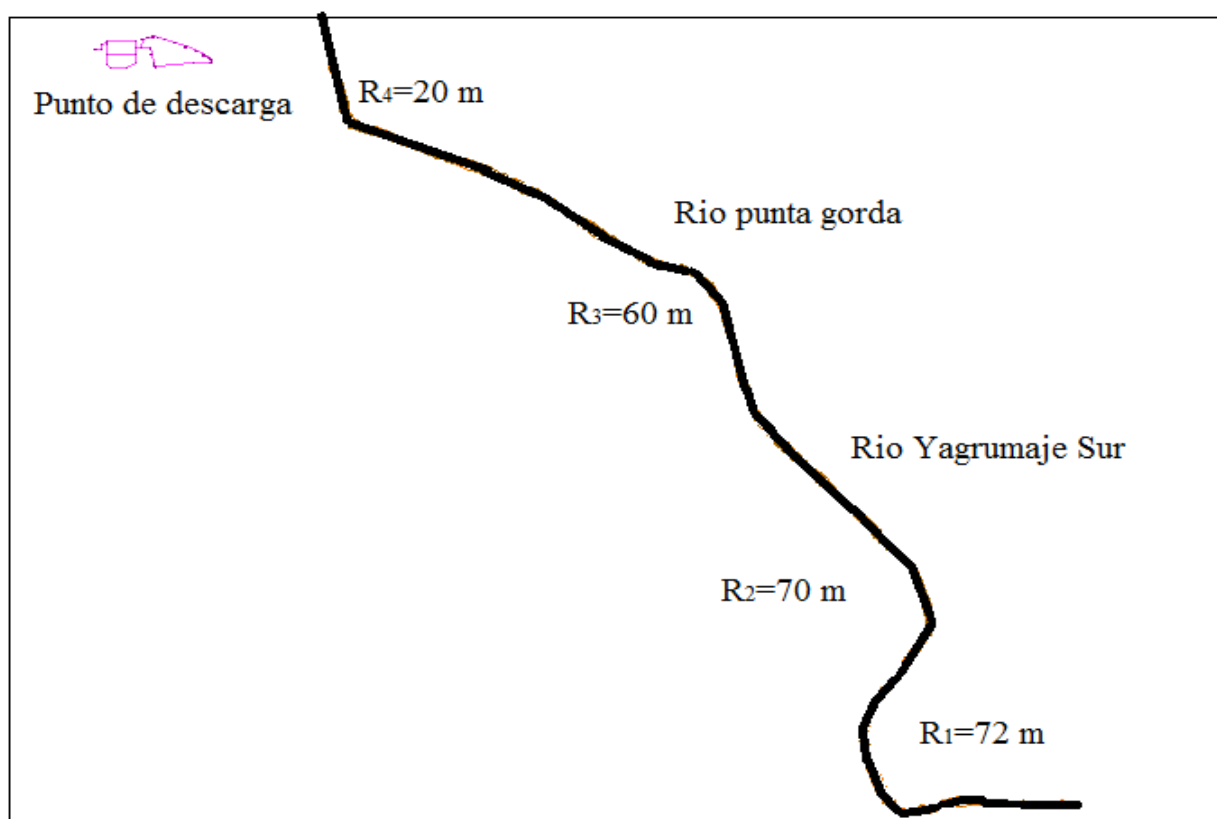


Figura 7. Perfil del camino minero empleado en el transporte de las menas lateríticas mullidas de la UBMECECG. Vista en planta.