



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL  
EN UNA UNIDAD MINERA**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

JULIACA - PERÚ

2024



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL  
EN UNA UNIDAD MINERA**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

:

  
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

**PRIMER MIEMBRO**

:

  
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

  
Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

**ASESOR DE TESIS**

:

  
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1863-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliana, 23 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 19201 presentado por el (la) Bachiller: RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA, quien solicita NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN de la Tesis Titulado: MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA, la misma que pertenece a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la NOMINACIÓN DE JURADOS integrado por los siguientes docentes:

- **Presidente** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- **1er Miembro** : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
- **2do Miembro** : Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

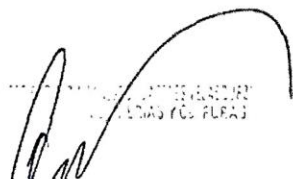
ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Dr. ARNALDO YANA TORRES.

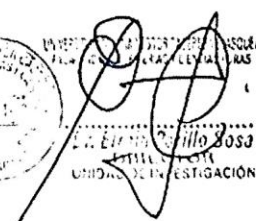
ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS de el (la) bachiller: RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA; del informe final de la investigación (tesis) titulado: MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : Viernes 27 de diciembre del 2024
- **HORA** : 09:00 horas
- **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

  
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 OFICINA DE INVESTIGACIÓN  
 JULIANA, PERÚ  
 TEL: 054 47790

  
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 OFICINA DE INVESTIGACIÓN  
 JULIANA, PERÚ  
 TEL: 054 47790

cc.  
Archivo  
matriculado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1423-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 05 de noviembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 15426 por el señor (a) **RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 1252 - 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 233- 2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) **Titulado: MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la **ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis)** formato N° 233- 2024 **aprobandó** el informe final de la investigación (borrador de tesis) **titulado: MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.


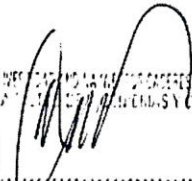
**RESUELVE:**



**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema **Titulado: MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

  
  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
.....  
Dr. Arnaldo Yana Torres  
DECANO  
CIP. 47790

  
  
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
.....  
Dr. Elton Farfán Soto  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc  
En línea  
intermediario



RESOLUCIÓN DECANAL N° 791-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 15 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-8971, presentado el señor (a) RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 692 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 206 -2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA ha presentado su propuesta de investigación Titulado: MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 206 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, presentado por el señor (a): RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como ASESOR DE INVESTIGACIÓN de al (a la) docente Dr. ARNALDO YANA TORRES.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

Stamp: VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS, UANCV. Signature: Dr. Efraín Quispe Huanca, DECANO, CIP. 47790.

Stamp: VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, UANCV. Signature: Dr. Efraín Quispe Sosa, DIRECTOR, UNIDAD DE INVESTIGACIÓN.

cc. Archivo 2024 Interesado (a)



## MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA

### INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

17%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	16%
2	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
3	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1%
6	vbook.pub Fuente de Internet	<1%
7	issuu.com Fuente de Internet	<1%



## Metadatos Complementarios UANCV



<b>Título de la tesis</b>	
MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL DE UNA UNIDAD MINERA	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74205415
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0003-5485-786X">https://orcid.org/0009-0003-5485-786X</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6740-5024">https://orcid.org/0000-0002-6740-5024</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS



Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01316765
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Recursos propios
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Latitud: S 70° 01' 18''</li> <li>- Longitud: O 15° 50' 15''</li> </ul>  <p><a href="https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1hW-eQQwHadOtYp9ObsjiJKnWeyBOa_s&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1hW-eQQwHadOtYp9ObsjiJKnWeyBOa_s&amp;usp=sharing</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 – Noviembre 2024
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<p>Ingeniería de la construcción <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a></p> <p>Ingeniería del transporte <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.05">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.05</a></p>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
OFICINA DE INVESTIGACIÓN  
JULIACA - PUNO

**DIRECTOR**

*Dr. Efraín Jariña Sosa*  
**DIRECTOR**  
OFICINA DE INVESTIGACIÓN



**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA, identificado con DNI Nro. 74205415, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la  **Tesis** o  **Trabajo de Investigación,**  **Trabajo Académico** denominada:

MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 30 de ABRIL del 2025

Firma del Asesor (obligatoria)

Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Exposición de la situación del problema.....	1
1.2 Formulación del problema .....	2
1.3 Diseño de la metodología de la investigación .....	3
1.4 Hipótesis de la investigación.....	3
1.5 Variables de la investigación.....	4
1.6 Población y muestra .....	5
1.7 Objetivos .....	5
1.8 Justificación de la investigación.....	6
1.9 Limitaciones de la investigación .....	6

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1 Minería a cielo abierto .....	8
2.2 Características de la minería a cielo abierto.....	9



2.3	Operaciones en minería a cielo abierto .....	9
2.3.1	Perforación y voladura .....	9
2.3.2	Carguío.....	10
2.3.3	Acarreo.....	10
2.3.4	Tratamiento del mineral .....	11
2.4	Selección del sistema de acarreo para la minería a cielo abierto.....	12
2.5	Análisis en la vía de acarreo para minería a cielo abierto (Open Pit).....	14
2.5.1	Distancia del ciclo de acarreo.....	16
2.5.2	Tiempo del ciclo de acarreo .....	16
2.5.3	Velocidades de ciclo de acarreo.....	17
2.6	Diseño de la vía de acarreo .....	17
2.6.1	Distancia de parada de la máquina.....	18
2.6.2	Distancia de visibilidad en curvas.....	18
2.6.3	Diseño del ancho.....	18
2.6.4	Patrón del tráfico.....	19
2.6.5	Diseño de la pendiente transversal.....	19
2.6.6	Diseño de la alineación vertical .....	24
2.6.7	Diseño de la alineación horizontal .....	24
2.6.8	Diseño de curvas y vías en zigzag.....	25
2.6.9	Diseño del peralte.....	25
2.6.10	Diseño de los radios de giro.....	27
2.6.11	Diseño de bermas .....	28
2.6.12	Diseño de drenajes .....	29



2.6.13	Diseño de bombeo y convexidad .....	29
2.6.14	Diseño de cunetas.....	30
2.7	Diseño de la sección transversal de la vía de acarreo.....	31
2.7.1	Subrasante .....	32
2.7.2	Subbase .....	33
2.7.3	Capa base.....	33
2.7.4	Capa Superficial .....	33
2.8	Zona de contacto de la vía con la carga del camión .....	34
2.9	Tracción y resistencia a la rodadura.....	37
2.10	Cuánto cuesta operar y mantener camiones de transporte en relación con diferentes rutas. 39	
2.10.1	Consumo de combustible .....	40
2.10.2	Neumáticos.....	41
2.10.3	Productividad .....	43
2.10.4	Vida útil de los componentes .....	44
2.11	Deterioro en las vías de acarreo .....	45
2.12	Desempeño de los camiones de acarreo en la vía de acarreo .....	47
2.12.1	Gestión de información vital (VIMS).....	47
2.12.2	Producción y costos de la flota (FPC).....	49
2.12.3	Control de análisis de carreteras (RAC).....	50
2.13	Indicadores en el proceso de acarreo del mineral.....	54
2.13.1	Productividad del equipo de acarreo .....	54
2.13.2	Costos de posesión del equipo de acarreo.....	55
2.13.3	Costos de operación del equipo de acarreo.....	56



2.13.4 Costo horario del equipo de acarreo..... 56

2.14 Normas de seguridad en la vía de acarreo..... 56

**CAPÍTULO III**

**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1 Descripción del problema..... 58

3.2 Análisis del diseño actual de la vía de acarreo ..... 58

3.3 Características de la flota de camiones de acarreo ..... 63

3.4 Indicadores del desempeño de los camiones en la vía de acarreo ..... 66

3.4.1 Distancia recorrida en el ciclo de acarreo..... 66

3.4.2 Velocidad en ciclo de acarreo ..... 66

3.4.3 Tiempos de ciclo de acarreo..... 66

3.4.4 Producción de los camiones ..... 67

3.4.5 Consumo de combustible ..... 67

3.4.6 Resistencia a la rodadura en la vía de acarreo ..... 69

3.4.7 Efectos del estado de la vía en los camiones (RAC)..... 69

3.4.8 Índice de severidad de la vía de acarreo (MSI) ..... 70

3.5 Análisis de los costos de la flota de acarreo en la vía de acarreo ..... 72

**CAPÍTULO IV**

**PROPUESTA DE MEJORA**

4.1 Nuevo diseño para mejorar la actual vía de acarreo..... 77

4.2 Proceso para efectuar las mejoras en la vía de acarreo..... 79

4.3 Desempeño de los camiones en vía de acarreo mejorada..... 80

4.4 Costos para implementar la propuesta de mejora en la vía ..... 84



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	Análisis de la producción de los camiones.....	85
5.2	Análisis de los costos de operación de los camiones.....	87
5.3	Análisis de los costos del proyecto.....	89
5.4	Análisis del retorno de la inversión sobre la propuesta de mejora .....	89
5.5	Análisis de resultados .....	90
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES.....	94
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
	ANEXOS.....	98



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	4
<b>Tabla 2</b> Factores Típicos de Tracción para neumáticos.....	37
<b>Tabla 3</b> Cantidad de resistencia a la rodadura que deben cumplir los camiones CAT con neumáticos radiales.....	38
<b>Tabla 4</b> Tabla que muestra el consumo de combustible de un camión CAT 793F, desglosado por pendiente y tiempo total de viaje.....	41
<b>Tabla 5</b> Carga transferida en los neumáticos por efecto de la velocidad.....	43



### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Representación gráfica del ciclo de transporte de un camión minero.....	11
<b>Figura 2</b> Diagrama de Flujo del Ciclo de Acarreo .....	12
<b>Figura 3</b> Diagrama del proceso de Selección del Sistema de Acarreo .....	13
<b>Figura 4</b> Representación visual de la distribución habitual del tiempo de ciclo de transporte para grandes flotas de camiones CAT, obtenida a partir de los datos recopilados por el sistema VIMS. ....	16
<b>Figura 5</b> Carreteras recomendadas para camiones CAT, trazadas en función de la pendiente y el desnivel.....	20
<b>Figura 6</b> Grafica del rendimiento del retardo para el camión.....	22
<b>Figura 7</b> Este es un gráfico que muestra la fuerza de tracción, la velocidad y el ángulo del camión de transporte 793D MA1 CAT. ....	23
<b>Figura 8</b> Parámetros a considerar en el diseño de vías de acarreo .....	31
<b>Figura 9</b> La mitad de una ruta de transporte de mercancías utilizada habitualmente por camiones de 320 toneladas. ....	32
<b>Figura 10</b> Tipos de Diseño de Pavimento.....	35
<b>Figura 11</b> La mitad de una ruta de transporte de mercancías utilizada habitualmente por camiones de 320 toneladas. ....	35
<b>Figura 12</b> Espesor de la sección de la vía, base para una presión de 800Kpa.....	36
<b>Figura 13</b> Valores de la capa de pavimento para el límite de tensión compresiva vertical en el diseño estructural de rutas de transporte minero .....	36
<b>Figura 14</b> Grafica del costo de operación por tonelada métrica acarreada para camiones grandes CAT.....	40
<b>Figura 15</b> Factores que afectan a la vida de los neumáticos en camiones CAT.....	42
<b>Figura 16</b> un mando final producto de la sobrecarga de un camión CAT.....	44
<b>Figura 17</b> Imágenes de los defectos en las vías de acarreo .....	46



<b>Figura 18</b> Principales causas de falla de los neumáticos en camiones CAT .....	47
<b>Figura 19</b> Conexión de los Módulos Electrónicos en el camión minero de acarreo 777F CAT .....	48
<b>Figura 20</b> El programa CAT FPC se utilizó para elaborar el índice de estado de las carreteras.....	50
<b>Figura 21</b> Informe del Sistema RAC visualizado a través del registrador de datos VIMS ..	52
<b>Figura 22</b> Cálculo de los Indicadores del estado de la Vía de Acarreo: Rack, Pitch y Bias,	53
<b>Figura 23</b> Incremento de la Productividad en el Camión de acarreo CAT .....	55
<b>Figura 24</b> Vía principal de acarreo de la mina a cielo abierto.....	59
<b>Figura 25</b> Diseño de la vía de acarreo de la mina a cielo abierto .....	60
<b>Figura 26</b> Perfil principal de la vía de acarreo de la mina a cielo abierto, zona a mejorar. .	60
<b>Figura 27</b> Diseño de la vía de acarreo de la mina a cielo abierto.....	61
<b>Figura 28</b> Diseño de la sección transversal de la vía de acarreo .....	62
<b>Figura 29</b> Defectos de la vía de acarreo .....	63
<b>Figura 30</b> Medidas y fuerza ejercida en el suelo por el camión de acarreo CAT 777F .....	64
<b>Figura 31</b> Fuerza de tracción del camión CAT 777F .....	65
<b>Figura 32</b> Retardo del camión CAT 777F .....	65
<b>Figura 33</b> Consumo de combustible anual de la flota .....	68
<b>Figura 34</b> Diagrama del acero .....	68
<b>Figura 35</b> Grabación de datos de un camión en la vía de acarreo actual Parámetros: Rack, Pitch, Bias.....	70
<b>Figura 36</b> Mapa de clasificación del índice de severidad de la vía de acarreo (MSI) .....	71
<b>Figura 37</b> Distribución de la carga de un camión, con regla de pesaje .....	71
<b>Figura 38</b> Costo de posesión del camión CAT 777F.....	72
<b>Figura 39</b> Costo de operación del camión CAT 777F .....	73
<b>Figura 40</b> Horas programadas para producción.....	73



<b>Figura 41</b> Toneladas producidas por horas programadas .....	74
<b>Figura 42</b> Costo operativo por mil toneladas acarreadas.....	74
<b>Figura 43</b> Costo de la flota de operación del cargador 993K.....	75
<b>Figura 44</b> Costo de la flota de operación del cargador 993K.....	75
<b>Figura 45</b> Costo total de operación y posesión de la flota de carguío y acarreo .....	76
<b>Figura 46</b> Tramo propuesto de la vía de acarreo para implementar la mejora. ....	78
<b>Figura 47</b> Perfil de la vía de acarreo antes y después de la mejora. Software RoadEng.....	78
<b>Figura 48</b> Proceso del modelamiento y análisis de la vía actual y la vía mejorada. ....	79
<b>Figura 49</b> Velocidad de los camiones en la actual vía de acarreo .....	81
<b>Figura 50</b> desarrollarían los camiones en la vía de acarreo mejorada.....	81
<b>Figura 51</b> Toneladas producidas por hora programada .....	86
<b>Figura 52</b> Horas programadas para producción.....	87
<b>Figura 53</b> Consumo de combustible anual de la flota antes y después de la mejora, software FPC .....	87
<b>Figura 54</b> Gastos de explotación y propiedad de la flota de transporte y fletamento del proyecto minero.....	88
<b>Figura 55</b> Costo operativo por mil toneladas acarreadas.....	88



## RESUMEN

Una instalación minera especializada en la extracción y procesamiento de mineral de cobre es el lugar donde se lleva a cabo esta investigación. El objetivo de esta investigación es determinar la ubicación exacta de esta operación. A una altitud de 2600 metros sobre el nivel del mar, en la región sur de Perú, se realizan actividades mineras. El objetivo es demostrar que, mediante el uso de una ruta de transporte mejorada con una flota de camiones CAT 777F, se ha aumentado la productividad de la flota. Para ello, se utilizarán métodos de mejora de las rutas de transporte. Las zonas de la ruta de transporte que no cumplan las normas de rendimiento o las recomendaciones establecidas por el fabricante se mejorarán en el marco de este proyecto.

El éxito de esta empresa minera depende en gran medida de la planificación, la construcción y el mantenimiento de la ruta de transporte. Existe una clara correlación entre estas características y la eficiencia y la productividad de los vehículos de transporte, así como los gastos asociados a su mantenimiento. La investigación incluye métricas relacionadas con el proceso de transporte de materiales y datos precisos que caracterizan las características físicas de la ruta de transporte. Los gastos de fabricación y funcionamiento de la flota se incluyen en esta recopilación de KPI. Según los resultados, las operaciones de la unidad minera tienen margen de mejora en términos de eficiencia, lo que podría traducirse en una mayor producción con menos dinero.

**Palabras clave:** Vías de acarreo, productividad, Camiones de acarreo, mantenimiento.



## ABSTRACT

A mining facility that specializes in the extraction and processing of copper ore is the site of this investigation. This investigation aims to pinpoint the precise site of this operation. At an elevation of 2,600 meters above sea level, in the southern region of Peru, there is mining activity. The goal is to show that by using an upgraded transport route with a fleet of CAT 777F trucks, fleet productivity has increased. Methods for improving transportation routes will be used to accomplish this. The areas of the transportation route that do not fulfill the manufacturer-established performance standards or recommendations are going to be improved as part of this project.

The success of this mining firm is heavily dependent on the planning, building, and upkeep of the transportation route. There is a clear correlation between these features and the efficiency and productivity of transportation vehicles, as well as the expenses associated with their upkeep. Included in the research are metrics pertaining to the material transport process and precise data characterizing the physical characteristics of the transport route. The manufacturing and operating expenses of the fleet are included into this collection of KPIs. According to the results, the mining unit's operations have room to grow in terms of efficiency, which might lead to more output for less money.

**Keywords:** Haul roads, productivity, haul trucks, maintenance.



## INTRODUCCIÓN

Existe la posibilidad de que el transporte de minerales represente hasta el cincuenta por ciento de todos los gastos operativos en los que incurre el sector minero. En el contexto de las operaciones mineras, los caminos de acarreo se consideran un activo crítico, a la par de los camiones y las palas en términos de su importancia. Es imposible imaginar este método sin su participación. Como consecuencia de esto, la operación minera es responsable de garantizar que los caminos de acarreo se construyan y mantengan de una manera que sea a la vez efectiva y eficiente.

Es posible que los caminos de acarreo que se hayan desarrollado y optimizado de la manera adecuada aumenten la rentabilidad de las operaciones. Esto se logra reduciendo los tiempos de ciclo, el consumo de combustible y el desgaste de los componentes.

Es posible alcanzar un increíble tiempo de ciclo de fabricación a través del proceso de optimización de rutas, lo que, como consecuencia, resultará en ahorros de combustible para los automóviles. La identificación de los componentes y las circunstancias del camino que no cumplen con los criterios de rendimiento es el medio por el cual se logra este objetivo.

Estos avances en el transporte de materiales no son solo el resultado de la ingeniería minera; En realidad, estos avances no son los únicos que se pueden atribuir a la ingeniería civil, sino que suelen ser el resultado de una planificación en la que la ingeniería civil y la ingeniería de mantenimiento de equipos desempeñan papeles igualmente esenciales. La ingeniería de minas no es la única disciplina responsable de estos avances. Por otro lado, escasean las herramientas que hoy están al alcance de la mano y que permiten examinar con mayor facilidad los numerosos indicios que dan estos ingenieros, asociados a la eficiencia y productividad del transporte de materiales.



Con el fin de determinar los beneficios del aumento de la productividad y la disminución de los costos operativos de los equipos de transporte como resultado de las mejoras en la infraestructura vial, el objetivo de esta investigación es investigar la posibilidad de combinar una variedad de herramientas de los campos de la ingeniería de mantenimiento y la ingeniería de construcción vial. Esto se hará con el fin de determinar las ventajas de esta combinación.

Además de determinar la influencia que tiene esta carretera en el transporte de minerales por camiones mineros, el objetivo de este proyecto es idear un método para evaluar el estado actual y el trazado de una carretera de transporte de minerales que se encuentra en una empresa minera en la región sur del Perú. Específicamente, investiga los procedimientos que se utilizan actualmente, así como la transitabilidad de la carretera de transporte en relación con la producción de equipos, y correlaciona estos hallazgos con la información que se obtiene de las herramientas de ingeniería vial, más notablemente el software Road ENG y la ingeniería de transporte que hace uso del software CAT FPC. Además de calcular las posibles ganancias y beneficios que pueden obtenerse como consecuencia de los esfuerzos de optimización, el estudio también investiga el impacto que tiene la ruta de transporte en la cantidad de minerales que se producen.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Exposición de la situación del problema

En Perú se pueden encontrar diversas operaciones mineras, y cada una de ellas implica el uso de una técnica diferente para transportar minerales mediante el uso de "camiones de transporte". La cantidad de dinero gastado en mantenimiento y la eficiencia con la que se opera el equipo están directamente relacionadas con el diseño y la calidad de estos caminos de transporte. Existe un vínculo claro entre ambos. Cuando se trata de operaciones mineras masivas, las características de los grandes vehículos todo terreno, a los que a veces se hace referencia como OHT por sus siglas en inglés, hacen que sea más sencillo transportar materiales. Tanto el diseño de la ruta de transporte como las técnicas de construcción que se utilizan a lo largo de su desarrollo están directamente influenciadas por estas cualidades, que tienen un efecto directo en ese diseño. Para construir la geometría de la ruta de carga, se requiere una gran cantidad de componentes. Estas características se componen de una serie de componentes, algunos de los cuales incluyen la pendiente máxima, las pendientes transversales de la carretera, el ancho de la carretera y otros parámetros. El tipo de neumático que se utiliza en los camiones de transporte es otro componente que se tiene en cuenta durante el proceso de planificación de las rutas de transporte. Tanto las dimensiones del neumático como la presión a la que se infla son los únicos factores que afectan el tamaño, la forma y la intensidad del bulbo de tensión que se encuentra dentro de las capas de un camino de acarreo.



Este bulbo de tensión se encuentra dentro de las capas del camino de acarreo. Cuando se trata del diseño y la construcción de caminos de acarreo, las condiciones climáticas que prevalecen en el lugar donde trabaja la unidad minera son uno de los aspectos más importantes que influyen. La mayor parte de las minas en nuestro país se encuentran a alturas que superan los cuatro mil metros sobre el nivel del mar. Esto se debe a que las ubicaciones de estas minas se encuentran a grandes altitudes. Además, la superficie del camino es susceptible a congelarse y descongelarse durante una cantidad considerable del año.

El diseño de los caminos de acarreo en la industria minera debe tener en cuenta el uso de materiales que puedan sobrevivir a las intensas lluvias, así como a las continuas tensiones que ejercen millones de toneladas de equipos mineros. Esto es particularmente importante en el caso de los caminos de acarreo.

Los tiempos de ciclo, el consumo de combustible y el desgaste de los componentes pueden reducirse drásticamente con rutas de transporte bien diseñadas y optimizadas. Además de aumentar los beneficios, también ofrecen otras ventajas. El objetivo de optimizar las vías de transporte es encontrar características que no funcionan con los equipos de transporte. La optimización de las vías de transporte lo conseguirá. Nuestro objetivo final es maximizar el rendimiento de los equipos de transporte.

## **1.2 Formulación del problema**

La publicación No. 33266 (2019) de Caterpillar sostiene que las carreteras de transporte construidas con precisión y mantenidas meticulosamente son esenciales para reducir los riesgos y los gastos relacionados con los vehículos de transporte, así como para aumentar la productividad de los mismos. Por otro lado, a menudo es difícil desarrollar y mantener una carretera de transporte de tal manera que promueva un rendimiento óptimo. Esto se debe a la naturaleza de la carretera. Debido a que las carreteras con una alta resistencia a la



rodadura y una planificación y construcción inadecuadas podrían potencialmente resultar en un aumento del uno por ciento, es factible que esto suceda. Debido a esto, la velocidad a la que los automóviles pueden subir rampas podría reducirse hasta en un diez por ciento, y el ritmo al que se desgastan los neumáticos podría aumentar en un veintiséis por ciento. Debido a las actividades que realizan, tienen un efecto directo en los costos asociados con la producción.

Thompson (2019), por otro lado, sostiene que la expansión y modernización de las redes de transporte debe llevarse a cabo junto con la protección de los peligros del transporte. A pesar de que se ha producido una disminución en el número de accidentes como consecuencia de un mejor diseño de las vías de transporte para la minería, es de suma importancia reconocer el tremendo impacto que tienen los factores humanos en la ocurrencia de estos percances de transporte. Existen aspectos del diseño que se consideran variables humanas. Estos aspectos incluyen componentes o elementos geométricos, estructurales y funcionales.

Hemos generado la siguiente pregunta después de tomar en cuenta la información que se nos proporcionó: ¿Existen posibilidades de que la mejora de la ruta de transporte para una flota de camiones mineros pueda conducir a un aumento de la producción y, al mismo tiempo, a una reducción de los costos asociados con la operación y el mantenimiento?

### **1.3 Diseño de la metodología de la investigación**

Para el propósito de este estudio se utilizará el análisis cuantitativo con el fin de analizar los datos históricos que se adquirieron del producto objeto de la investigación. En este lugar se está llevando a cabo una investigación de tipo descriptivo.

### **1.4 Hipótesis de la investigación**

#### **1.4.1 Hipótesis general**

Los camiones mineros de esta unidad pueden utilizar una carretera de transporte existente que tiene margen de mejora.



## 1.4.2 Hipótesis específica

Se puede lograr un aumento en la productividad de la flota y una disminución en los gastos operativos y de mantenimiento mejorando la carretera de transporte en esta operación minera.

## 1.5 Variables de la investigación

### 1.5.1 Variable independiente

Optimización de la actual vía de acarreo.

### 1.5.2 Variable dependiente

Estado de la actual vía de acarreo.

La flota actual de los camiones mineros fuera de carretera

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	COMPONENTES
Mejora de la actual vía de acarreo	Se trata de una referencia a la ruta que siguen los materiales en las minas desde los sitios donde se extraen o producen hasta los lugares donde se disponen o aplican.	Situación Actual	<p><b>Información:</b> Sistema de Gestión de la flota y condiciones de minas.</p> <p><b>Métodos:</b> Procedimientos de reconstrucción técnicos Internos.</p> <p><b>Procedimientos:</b> Técnicos del Fabricante de las piezas.</p> <p><b>Maquinas:</b> Herramientas, equipos del taller</p> <p><b>Personal:</b> Capacitación, Evaluación del Desempeño</p>
VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	
	Procesos	Cumplimiento del procedimiento de recuperación del componente.	
Condición de la actual	Operativa	Baches, Corrugaciones, Pedregosidad, Grietas, pendientes excesivas.	



vía de acarreo	Tecnológica	Control de metrología y pruebas de funcionamiento en el componente reconstruido.
	Administrativa	Galones de combustible consumido
La Flota actual de los Camiones Mineros Fuera de Carretera	Financiera	Costos de mantenimiento
	Operativa	Toneladas métricas producidas Resistencia a la rodadura

## 1.6 Población y muestra

### 1.6.1 Población

Los resultados de este estudio indican que la población está determinada por las rutas de transporte que construye una unidad minera con el fin de transportar sus camiones.

### 1.6.2 Muestra

En este caso particular, la muestra será una ruta de transporte específica por la que pasan los camiones 777F de la unidad minera. La muestra es una fracción representativa de la población que es indicativa de la población total.

## 1.7 Objetivos

### 1.7.1 Objetivo general

Mejorar la vía de acarreo en la unidad minera para incrementar la productividad de una flota de camiones mineros y reducir sus costos de operación.

### 1.7.2 Objetivos específicos

1. Elaborar el marco teórico enfocado en el diseño y construcción en las vías de acarreo para camiones mineros.
2. Describir las ventajas y desventajas que tienen actualmente la vía de acarreo respecto al desempeño de la flota de camiones mineros.
3. Elaborar el diseño de la mejora en vía de acarreo.
4. Realizar el comparativo entre la actual vía y vía de acarreo mejorada.



## 1.8 Justificación de la investigación

La flota de camiones tiene gastos anuales de operación y mantenimiento de diez millones de dólares, a pesar de que la producción anual de la flota es de cuarenta y dos millones de toneladas. Esto es a pesar de que la flota produce anualmente cuarenta y dos millones de toneladas. Se proyecta que esta flota vería una disminución en los gastos, así como una mejora en la productividad después de que se haya ajustado la ruta de transporte. En cuanto al elemento económico del problema, esta es una información vital.

Habría una disminución en la cantidad de combustible que utiliza la flota de camiones mineros, lo que resultará en una disminución en la cantidad de contaminantes nocivos que se producen como resultado de la combustión de los motores diésel. Con relación al elemento ambiental, esto es de suma relevancia y tiene una importancia particularmente crucial.

Además de los simuladores que simularán las operaciones de la flota en la nueva ruta de transporte, se pretende hacer uso de tecnologías diseñadas para la planificación de rutas. Se espera que el diseño mejorado de la ruta de transporte tenga un impacto positivo en la seguridad operativa de la flota de camiones mineros, así como en la unidad minera. Esto es algo que se prevé que ocurra.

En cuanto al aspecto legal, se establece que el nuevo diseño de vías de transporte deberá cumplir con las leyes que han sido establecidas por el Ministerio de Energía y Minas y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Además, deberá ajustarse a los estándares que se establecen para vías de tránsito a nivel internacional. Este es un requisito que se debe cumplir. Con el propósito de establecer un sistema de transporte que no sólo sea eficiente sino también seguro, esto se va a llevar a cabo.

## 1.9 Limitaciones de la investigación

Dicho esto, a continuación, se enumeran algunos de los desafíos que enfrenta actualmente la investigación:

- Debido a las características de nuestro entorno, existe una escasez de información



sobre la eficiencia de los camiones mineros en relación con el desarrollo y mantenimiento de sus rutas de transporte. Para que esta investigación alcance todo su potencial, es necesario superar este obstáculo, que le impide alcanzar su máximo potencial.

- Debido a la situación actual, la unidad minera no puede obtener datos de campo, como el levantamiento topográfico de la carretera que se está utilizando actualmente, esto se debe a que las condiciones que existen actualmente lo impiden.
- Para llevar a cabo esta investigación, es fundamental hacer uso de instrumentos técnicos especializados que son creados por CAT. Estos equipos incluyen VIMS y FPC, además de software de diseño de carreteras como ROADENG. Para el logro de los objetivos, este es un paso absolutamente necesario.
- La estrategia de desvío de vehículos de transporte y el impacto que este enfoque tiene en la producción será uno de los temas que se abordarán en el marco del proyecto de adecuación de las vías de transporte.
- A la hora de calcular los beneficios de la mejora de las vías que se hizo posible gracias al software FCP, el diseño de la adecuación de las vías es un componente vital que se debe tener en cuenta. Debido a esto, es posible alcanzar mayores niveles de productividad y, al mismo tiempo, reducir los costos asociados al mantenimiento de los camiones de transporte.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Minería a cielo abierto

El proceso de extracción conocido como minería a cielo abierto se lleva a cabo en la superficie de la tierra cuando el yacimiento es visible o se encuentra a una profundidad que se considera mínima. La minería subterránea, por otro lado, se lleva a cabo debajo de la tierra durante todo el proceso de extracción. Esto es en contraste con la minería subterránea, que se realiza a mayor profundidad debajo de la superficie del terreno. Cuando se trata de minas que se consideran del tipo de construcción "A cielo abierto", las rampas de acceso se construyen a menudo como un componente de las rutas de acarreo. Es necesario construir rampas en configuración espiral alrededor de los "cráteres" o "cortes" con el fin de facilitar el transporte de minerales por camiones de acarreo desde la base del yacimiento hasta una planta de conminución de minerales, que es el lugar donde se lleva a cabo el proceso de producción de minerales. Esta acción se realiza con la intención de facilitar el transporte de minerales. El propósito de esta investigación es analizar los diversos componentes que componen la ruta de acarreo, así como la conexión que existe entre los camiones de acarreo y la ruta. (Pág. 01 y 02).



## 2.2 Características de la minería a cielo abierto

De acuerdo con los hallazgos de Armstrong et al. (1998), es factible reducir la cantidad de material que se extrae de una mina "a cielo abierto" y, al mismo tiempo, maximizar el retorno de la inversión mediante el procesamiento del producto mineral que es más comercializable. Se cree que esto es factible debido a la planificación meticulosa que se realizó en la arquitectura y construcción de la mina. Los métodos de minería subterránea serán más viables económicamente que la minería a cielo abierto después de que se haya alcanzado una profundidad particular del pozo. Esto se debe al hecho de que las técnicas de minería subterránea son más ventajosas. El costo de transferir desechos y minerales a la superficie o a vertederos aumenta a medida que aumenta la profundidad de la minería a cielo abierto. Esto se debe a que aumenta la profundidad del pozo. Hay una serie de paredes o parapetos concéntricos que se colocan a lo largo de la entrada de la mina, así como los caminos de transporte que descienden desde el perímetro hasta la base en un diseño en espiral o en zigzag. La forma cónica es característica de la gran mayoría de estas minas "A Cielo Abierto", que están diseñadas con una serie de muros o parapetos concéntricos instalados en sucesión.

## 2.3 Operaciones en minería a cielo abierto

Según Armstrong et al. (1998), el ciclo unitario de operaciones en la minería a cielo abierto consta de los siguientes procesos: carga, transporte o acarreo, tratamiento del mineral y perforación y voladura. Estos pasos se realizan en orden. Estos procedimientos se llevan a cabo en la secuencia especificada.

### 2.3.1 Perforación y voladura

En la mayoría de las minas, la perforación y la voladura son las actividades preliminares que se llevan a cabo con el objetivo de extraer el mineral. Estas operaciones se llevan a cabo normalmente en varios lugares. Los explosivos son el método más común que se utiliza en el proceso de voladura. Este método se utiliza para fracturar la roca dura, lo que



finalmente conduce a la eliminación de la capa de cobertura del suelo. El uso de explosivos es necesario para llenar los huecos que deja el aparato de perforación. Las características del mineral, la velocidad de perforación de la plataforma y la profundidad deseada son solo algunas de las variables que determinan el equipo de perforación. En esta fase, se debe considerar cuidadosamente el tiempo que se dedicará a preparar el sitio para las operaciones de carga y transporte. Debe pensar en cuánto tiempo llevará.

### **2.3.2 Carguío**

Para finalizar la operación, el material fragmentado que se crea por el proceso de voladura debe colocarse en el equipo que está especialmente diseñado para el transporte de material. Esto es necesario para finalizar la operación. Los cargadores frontales, las palas de cable y las palas hidráulicas son varias formas de equipo de carga que se utilizan a menudo en la minería "a cielo abierto", respectivamente. Los cargadores frontales también son un tipo común de equipo de carga. Es posible que el mecanismo de carga cargue camiones de transporte de manera eficiente, lo que a menudo requiere entre tres y cinco ciclos o pasadas para realizar esta tarea.

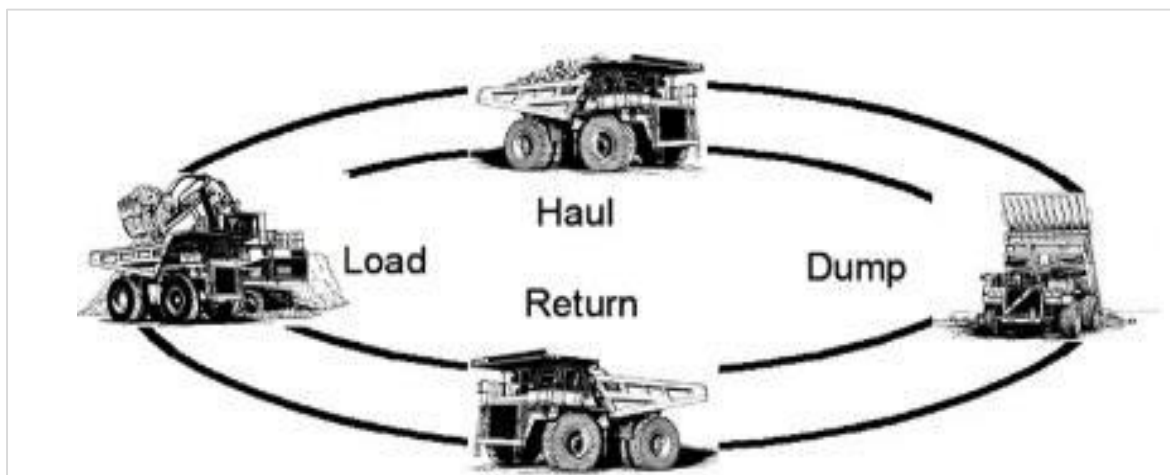
### **2.3.3 Acarreo**

El procedimiento implica mover el material fragmentado desde el sitio de voladura a una planta de trituración de minerales y/o sitios de eliminación de material de baja calidad o inerte. Esto se hace para completar el proceso. Realizar esta acción es necesario para finalizar el procedimiento. La obtención de este objetivo puede lograrse mediante el uso de camiones de acarreo, cintas transportadoras y/o ferrocarriles, entre otras técnicas posibles. De la misma manera que el equipo de carga es una parte importante del proceso minero, el equipo de acarreo también lo es de la operación. A la hora de determinar si la unidad minera se encuentra o no en condiciones de equilibrio económico, lo más importante son los gastos que se relacionan con el traslado del equipo. Información adicional sobre las etapas del ciclo de

acarreo que se llevan a cabo mediante camiones mineros se puede encontrar en el esquema que se muestra en la Figura 1, que se puede ver a continuación:

### Figura 1

*Representación gráfica del ciclo de transporte de un camión minero.*



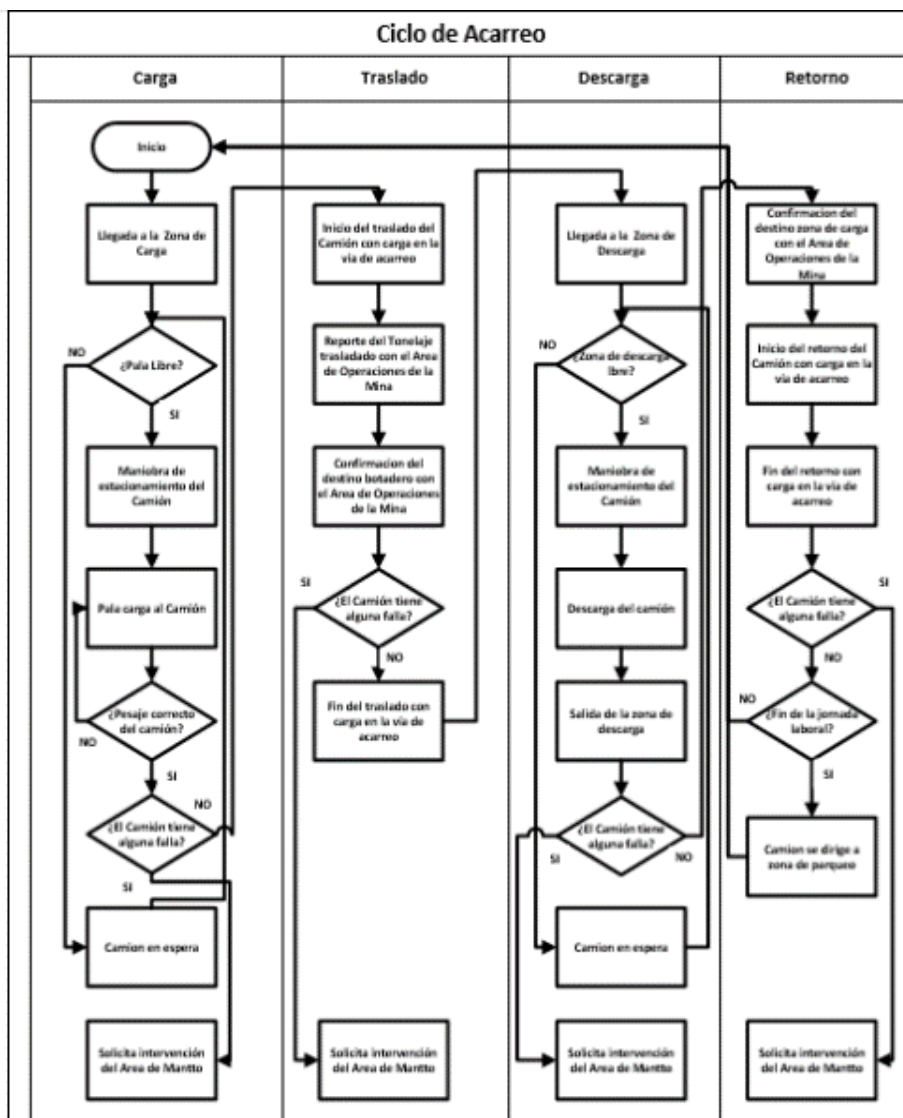
Nota. Presentación de CAT, 2011, pág 168

#### 2.3.4 Tratamiento del mineral

Una vez oxidado el mineral, se lo debe someter a operaciones de trituración, lixiviación, extracción por solventes y electroobtención. Estos procedimientos son necesarios para recuperar el mineral. Se utilizan diferentes enfoques según el tipo de mineral que se emplee. Para refinar un mineral de sulfuro, primero debe pasar por una serie de operaciones que incluyen conminución, concentración por flotación, espesamiento filtrado y secado, fundición, conversión y refinación. Según estimaciones, casi el noventa por ciento del cobre que se produce en todo el mundo proviene de minerales de sulfuro. Los métodos de disolución superficial se caracterizan por dos propiedades que comparten todos ellos. El material se recupera primero mediante el uso de métodos de minería convencionales y luego se apila en montículos cuando se ha retirado todo. En el siguiente paso, la pila se trata con una solución acuosa, que desencadena una reacción química con el metal que es el foco de la investigación. A medida que avanza por el montón, el metal finalmente se recoge y se trata a medida que desciende.

**Figura 2**

*Diagrama de Flujo del Ciclo de Acarreo*



## 2.4 Selección del sistema de acarreo para la minería a cielo abierto

Amstrong et al. (1998) destacaron la necesidad de tener en cuenta muchos parámetros a la hora de elegir el equipo de minería. Factores como la topografía de la mina y la zona, la cantidad de mineral que se va a extraer, la velocidad y la distancia del material a procesar y la vida útil prevista de la mina son algunos ejemplos de estos factores. La dependencia de los procesos operativos de la capacidad de los equipos móviles es un factor crucial a la hora de estimar la tasa de extracción de mineral de la mina. Es fundamental tener en cuenta la capacidad de los equipos de transporte pesado a la hora de elegir los equipos de carga. Hay

que tener en cuenta el tamaño de los equipos mineros móviles a la hora de desarrollar las zonas de la unidad minera destinadas a los servicios de mantenimiento y tránsito. El motivo es que estos espacios deben crearse.

La publicación n.º 06122019 (2019) de CAT1, una marca comercial de CAT2, afirma que no parece existir una técnica de transporte universal aplicable a todas las operaciones de movimiento de tierras, debido a que las carreteras, los materiales y los perfiles de elevación de cada emplazamiento son únicos. Una evaluación experta del proyecto allanará el camino para todo lo siguiente: mejora del rendimiento, mayor productividad, reducción de los costes operativos del equipo de transporte móvil seleccionado, un sistema de transporte más adecuado y la optimización del potencial de beneficios. Hay tres pasos involucrados en el proceso de elección del sistema de transporte que parece ser el más adecuado para un sitio de proyecto determinado. Estas etapas se incluyen en el Diagrama 02 del proceso de selección del sistema de transporte, que se puede ver aquí.

### Figura 3

*Diagrama del proceso de selección del sistema de acarreo*



*Nota.* Presentación de CAT (2013) pág. 03

El proceso de selección del sistema de acarreo se puede dividir en tres pasos:

1. Reúna la información de la aplicación del lugar de trabajo.
2. Para encontrar sistemas de transporte público compatibles, utilice las sugerencias del área de aplicación.



3. Seleccione el sistema de transporte más adecuado realizando análisis detallados de rentabilidad con software CAT como VET, Mine EIA o Fleet Production & Costing (FPC).

## 2.5 Análisis en la vía de acarreo para minería a cielo abierto (Open Pit)

Los resultados del estudio CAT No. 33266 (2019) indican que la resistencia a la rodadura en las rutas de transporte tiene una influencia directa en la velocidad de los camiones y, por lo tanto, en la productividad. Esta es la conclusión a la que llegaron los investigadores. Es importante tener esto en cuenta cuando se trata de la construcción de las carreteras. A la hora de definir la cantidad de rodadura que se producirá, es muy necesario disponer de información sobre la naturaleza permanente de la vía de transporte. La resistencia a la rodadura de las vías de tránsito temporales suele oscilar entre el tres y el veinte por ciento, lo que es una señal de que la construcción de estas vías suele considerarse deficiente. Es una práctica habitual calcular la vida útil de este tipo de vías en términos de días o semanas, y su función principal es proporcionar acceso a los lugares de excavación y eliminación.

Las carreteras permanentes o semipermanentes son famosas por su excepcional calidad de construcción. Además, en comparación con otros tipos de carreteras, suelen ofrecer una resistencia a la rodadura mucho menor debido a su estructura. Es una práctica habitual calcular la duración de la vida de una persona en términos de la cantidad de meses o años que ha vivido. En una operación minera, la resistencia a la rodadura puede oscilar entre el 1,5 y el 10 por ciento, dependiendo de la escala del proyecto y de la cantidad total de dinero necesaria para terminarlo. Esto depende de la cantidad total de dinero que se requiera para terminar el proyecto.

Existe una relación sustancial entre la gestión de las vías de transporte de la minería y la rentabilidad de una mina. Esta relación incluye el diseño, la construcción y el



mantenimiento de las vías de transporte. Uno de los gastos más importantes tiene un impacto no solo en la productividad de la flota de camiones de transporte, sino también en el mantenimiento de la flota. Esto se suma a los costos asociados con la construcción y el mantenimiento de las carreteras.

Se puede obtener una conciencia de las características y fallas más significativas que tienen un efecto en estos costos al realizar un análisis de la vía de transporte. Este conocimiento se puede obtener al realizar la investigación. Debido a esto, es posible tomar acciones preventivas para mejorar las condiciones de las carreteras y reducir el riesgo de que los automóviles se averíen a una edad más temprana de lo que deberían.

Las condiciones de la superficie tienen una influencia directa en la longevidad de los componentes y neumáticos de los camiones, así como en la cantidad de combustible que se utiliza y el tiempo que se requiere para completar un ciclo de transporte. Los tiempos del ciclo de transporte son un indicador de rendimiento importante que se utiliza para medir la cantidad de aplicaciones que se están realizando dentro de una flota de camiones. Estos tiempos se utilizan para determinar los tiempos del ciclo de transporte. En caso de que la carga útil no se maneje de manera adecuada, existe la posibilidad de que se comprometa la confiabilidad de los componentes. En consecuencia, si la producción se organiza de tal manera que pueda obtener beneficios al ignorar el mantenimiento y la operación del equipo, esto tendrá un impacto negativo no solo en el rendimiento del equipo sino también en los gastos asociados con su funcionamiento ininterrumpido. Esto se debe a que se espera que el equipo continúe funcionando sin interrupción. Página 33 y 34 Es posible cuantificar el ciclo de transporte haciendo uso de los siguientes criterios, como se menciona en el material que fue proporcionado por CAT en la publicación número 06122019 (2019). Esta información fue proporcionada en el año 2019:

## 2.5.1 *Distancia del ciclo de acarreo*

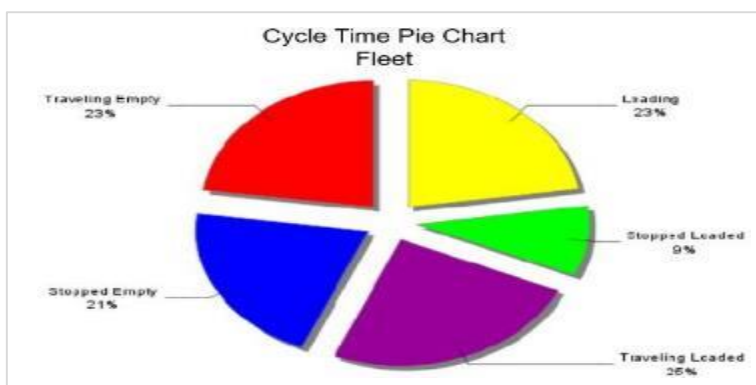
Los sistemas electrónicos que se colocan en los camiones de transporte CAT pueden determinar automáticamente la distancia recorrida durante el ciclo de transporte. Esto es posible gracias al uso del Sistema de gestión de transporte vital (VIMS). El cálculo requiere que primero obtenga el promedio de las distancias totales de viaje, tanto sin carga como con carga, y luego divida este total por la cantidad real de cargas que se transportaron durante el período de tiempo especificado. Esto le permitirá determinar la cantidad de tiempo que se dedicó a transportar las cargas.

## 2.5.2 *Tiempo del ciclo de acarreo*

Realizar el cálculo del tiempo promedio del ciclo de transporte de manera automática es tarea del VIMS, que es responsable de realizar el cálculo. Para obtener el promedio, divida las longitudes totales de viaje (tanto vacíos como cargados) por el recuento de carga real que se transportó durante el período de tiempo especificado. Esto le dará el promedio. Para calcular el tiempo de inactividad promedio, divida las duraciones totales de carga y la suma de los períodos de parada reales (inactividad vacía + parada cargada) por el recuento de carga real que transporta el vehículo. Esto le dará el tiempo de inactividad promedio. Esto le proporcionará la cantidad típica de tiempo que se pasa sentado sin hacer nada.

### **Figura 4**

*Representación visual de la distribución habitual del tiempo de ciclo de transporte para grandes flotas de camiones CAT, obtenida a partir de los datos recopilados por el sistema VIMS.*





La Figura 4 proporciona una representación visual de la asignación temporal que tiene lugar mientras se fabrican los camiones de transporte durante todo el ciclo de fabricación. De hecho, se cree que el cincuenta por ciento del tiempo, los camiones de transporte están esperando a ser cargados, esperando a ser vaciados o parados inmóviles cuando están vacíos. Durante el período restante, los camiones de transporte recorren la ruta de transporte mientras cargan su carga o la vacían.

### 2.5.3 *Velocidades de ciclo de acarreo*

Las responsabilidades de calcular la velocidad promedio del ciclo de transporte de los camiones recaen dentro del ámbito de VIMS, que es responsable de realizar este cálculo automáticamente. Las velocidades promedio para los escenarios vacíos y cargados se pueden calcular dividiendo las distancias totales recorridas (tanto descargados como cargados) por las duraciones totales de viaje (tanto descargados como cargados). Esto le proporcionará las velocidades promedio para ambos casos. Esto da como resultado la producción de velocidades promedio que son idénticas entre sí (pág. 33).

### 2.6 **Diseño de la vía de acarreo**

En la publicación n.º 33266 (2019), la Tecnología de la Construcción e Ingeniería (CAT) sostiene que la construcción de minas requiere la identificación de una gran cantidad de características de las rutas de transporte. La ecuación tiene en cuenta una serie de elementos diferentes, entre ellos la pendiente, el plan de circulación, las curvas, los cruces y los zigzags, entre otros. Con el fin de garantizar que sea posible una conducción segura y eficiente a las velocidades promedio de los camiones de transporte, es importante diseñar cada componente geométrico individual de las rutas de transporte mediante el proceso de diseño de las rutas de transporte.



## **2.6.1 Distancia de parada de la máquina**

Al referirse a la distancia que debe recorrer el equipo con ruedas más pesado en la ruta de transporte antes de entrar en contacto con un obstáculo o peligro, se considera que el término "distancia de frenado a velocidad máxima" es la palabra más adecuada para usar.

## **2.6.2 Distancia de visibilidad en curvas**

La distancia de visibilidad de un operador de máquina se define como "el rango del área periférica observable por el operador de la máquina". Esta definición se aplica a los operadores de máquinas. Esta es la definición de la palabra en cuestión. Para garantizar que una máquina que circula a una determinada velocidad pueda detenerse por completo antes de entrar en contacto con un posible peligro o barrera, es fundamental asegurarse de que la distancia de visibilidad tanto en curvas verticales como horizontales sea suficiente. Si se quieren prevenir accidentes, siempre hay que asegurarse de que la distancia entre el peligro que se aproxima y el ojo del operador sea al menos igual o mayor que la distancia de frenado requerida. Esta es la mejor estrategia para garantizar que se eviten accidentes.

## **2.6.3 Diseño del ancho**

Para garantizar que las personas puedan desplazarse sin peligro, es necesario asegurar que el ancho de las vías de transporte, que incluyen tanto tramos rectos como curvas, sea suficiente. Teniendo en cuenta los datos que se muestran en la Tabla 2, se recomienda que el transporte en vías con un solo sentido de circulación utilice un mínimo de tres anchos de camión. En cuanto al ancho de camión, las carreteras de doble sentido necesitan anchos que van desde tres a tres pulgadas y media, las carreteras rectas exigen anchos que van desde tres a tres pulgadas y media, y las curvas requieren anchos que van desde tres a cuatro pulgadas.



## **2.6.4 Patrón del tráfico**

La mayoría de las minas tienen un patrón de tráfico que opera en sentido zurdo. Como consecuencia de esto, el operador se coloca en el borde de los caminos de acarreo mientras están en la colina, lo que les proporciona una posición de observación más ventajosa del borde del camino, la línea de cuneta y la berma. En caso de colisión, los operadores se colocan fuera del vehículo, lo que indica que existe una mayor posibilidad de que estén lejos de la zona de contacto del choque.

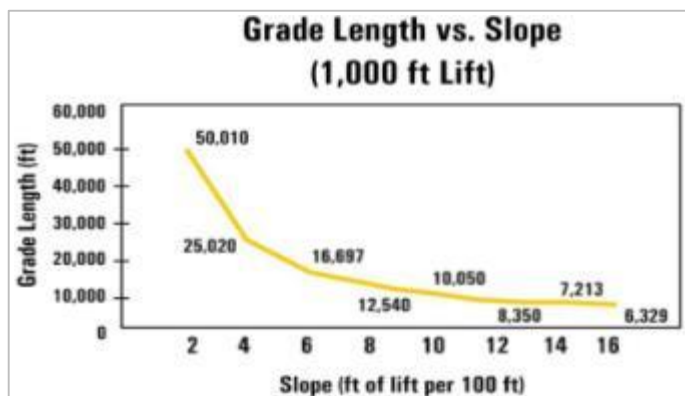
## **2.6.5 Diseño de la pendiente transversal**

Se recomienda que las pendientes sean regulares y continuas para reducir la cantidad de cambios de marcha que se producen y mantener la velocidad media en un nivel más alto al subir pendientes. Además de esto, esto hace que sea más fácil establecer un acoplamiento más regular de los frenos durante el viaje de regreso y evita que el retardador fluctúe como resultado de un gradiente desigual. Cuando se trata de la construcción de caminos que tienen pendientes transversales continuas, se recomienda que el lado que está elevado se designe como el lado de acarreo, y el corte de drenaje debe ubicarse en el lado que está más bajo, que se conoce como el lado de retorno. Como consecuencia de esto, el equilibrio del camión se mantiene en una orientación ligeramente inclinada hacia el centro de la carretera, que suele ser más estable que el costado de la misma. Esto no solo reduce la cantidad de inclinación y torsión que experimenta el chasis, sino que también garantiza que los camiones tengan una distribución uniforme del peso. Al tratarse de un terreno llano, es fundamental adoptar la menor pendiente necesaria para permitir el drenaje en función de las condiciones de precipitación previstas en el lugar. Debido a esto, el drenaje puede resultar más fácil. En caso de que las circunstancias sean favorables, se recomienda mantener una pendiente transversal del 2% en todo momento, con los vehículos más pesados cruzando el costado de la carretera que se considera en subida.

Las dos consideraciones más importantes para seleccionar la mejor pendiente son la distancia y el tiempo. El tiempo que tardas en llegar a tu destino es directamente proporcional a tu velocidad o a la distancia que tienes que recorrer. El tiempo de ciclo del camión es la métrica de rendimiento más importante a tener en cuenta al elegir la pendiente adecuada. Todos los factores que afectan al coste por tonelada se incluyen en el agregado durante el cálculo del tiempo de ciclo. La duración es otro factor que afecta al consumo de combustible. Cuando la distancia es menor, lo habitual es conducir menos tiempo. La elevación vertical necesaria y la pendiente de las vías de transporte son los dos parámetros principales que definen la distancia recorrida en una pendiente en una mina. La figura 5 muestra que una máquina tiene que recorrer 50 000 pies en una pendiente del 2 % o 10 000 pies en una pendiente del 10 % para ascender 1000 pies.

### Figura 5

*Carreteras recomendadas para camiones CAT, trazadas en función de la pendiente y el desnivel.*



Nota. CAT (2019)

Según las recomendaciones emitidas por la Asociación Canadiense de Neumáticos (CAT), las pendientes de las vías de transporte deben mantenerse entre el 8% y el 10%, y su resistencia a la rodadura debe mantenerse al mínimo siempre que sea posible. La resistencia a la rodadura debe ser inferior al 2%, ya que eso es lo que deseamos. Mediante la implementación de esta técnica, se mejora el rendimiento general del vehículo, se prolonga la



vida útil de los neumáticos y se hace más cómodo que el camión circule de manera segura. Los caminos de transporte no pueden tener pendientes superiores al 8%, y la pendiente máxima que se debe permitir para los caminos de transporte es del 10%. Esta es la recomendación estándar. Tannant y Regensburg, 2001, los autores de las obras en cuestión, son los creadores de este consejo. Página número cuatro

Una pendiente que se considera favorable no debe superar una relación de 1:10 (10%), según el ideal. En el caso de los automóviles que circulan en segunda marcha o en cajas de cambios superiores, se recomienda que los objetivos correspondan al doce por ciento de la pendiente efectiva total. Para determinar la pendiente efectiva total, es esencial incluir la resistencia a la rodadura en la evaluación de la pendiente. Además, se espera que las cargas útiles se mantengan dentro de las limitaciones establecidas por la carga útil del CAT, tal como se define en su "regla 10-10-20". Esta regla estipula que se deben respetar las restricciones. Para determinar qué opción de marcha es la más segura y la más exitosa para reducir la velocidad de los automóviles, cada mina debe realizar una evaluación de su uso. Esta información se comunica a los operadores mediante el uso de señales que se colocan a lo largo de la ruta de transporte.

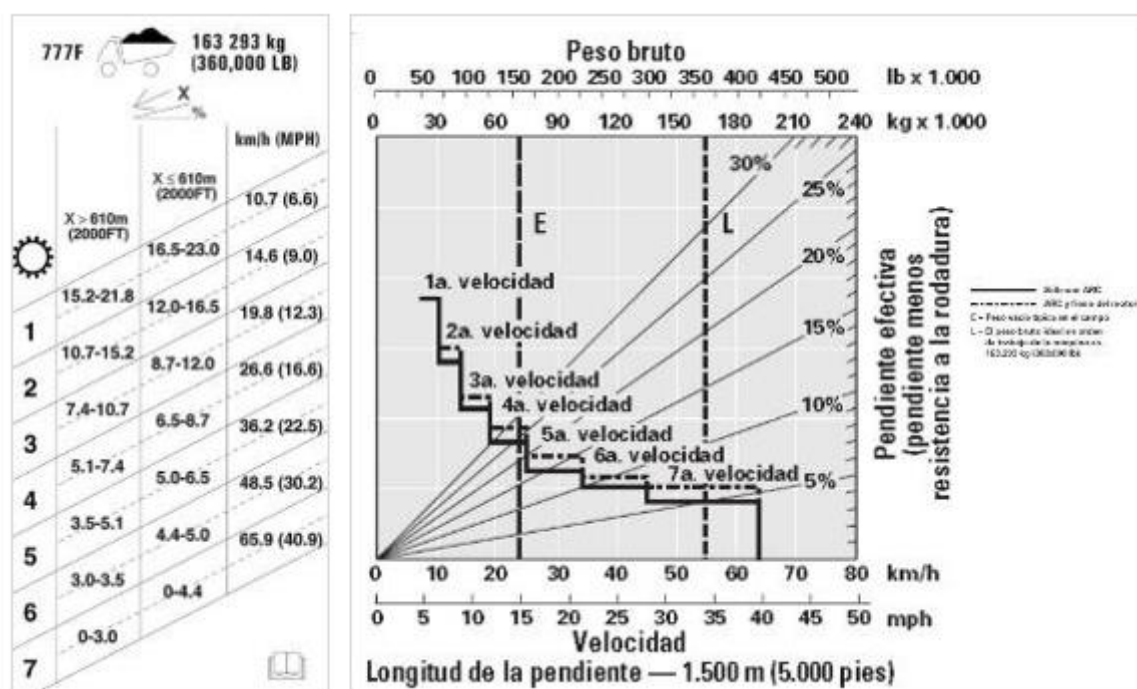
Para evaluar el rendimiento de retardo del camino de acarreo, es necesario sumar las longitudes completas de todos los segmentos de bajada, como se indica en el folleto técnico del camión todoterreno CAT 777F n.º ASHQ5749-01. Esto es esencial para determinar la eficacia del camino de acarreo. Como consecuencia de esto, es esencial realizar una investigación sobre la tabla de retardo que es especialmente relevante antes de realizar cualquier juicio basado en este total.

La Figura 6 ilustra el sistema de retardo que utiliza el camión CAT 777F. Este dispositivo funciona en las siguientes condiciones: hay una temperatura de 32 grados Celsius

(90 grados Fahrenheit) mientras el neumático está al nivel del mar y la especificación del neumático es 27.00 R49. Además, se recomienda elegir la marcha adecuada para mantener las rpm del motor al nivel más alto posible sin hacer que el vehículo se mueva a una velocidad excesiva. Esto se puede lograr seleccionando la marcha adecuada. Se recomienda reducir la velocidad del vehículo en caso de que el aceite refrigerante se caliente demasiado. De esta forma, la caja de cambios podrá cambiar con mayor facilidad a la marcha inferior que le sigue. Cuando una pendiente tiene una longitud superior a 1500 metros y una pendiente efectiva de bajada del 12%, es necesario que un vehículo cargado descienda a una velocidad máxima de 14,6 kilómetros por hora, tal y como muestra el cálculo que se muestra en la figura 2.6.

**Figura 6**

*Grafica del rendimiento del retardo para el camión*



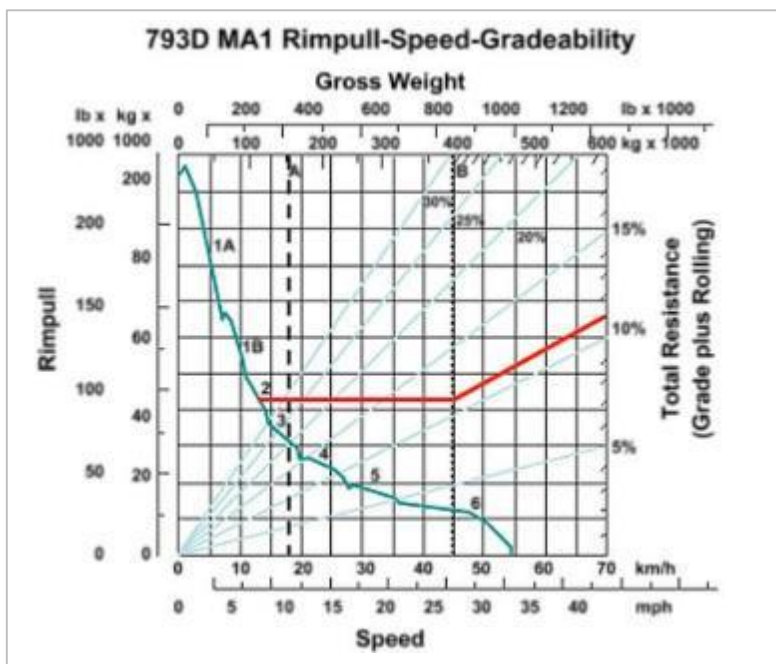
Nota. Folleto Técnico del Camión de Obra 777F CAT N° ASHQ5749- 01.

La fuerza de tracción, la velocidad y la pendiente del camión 793D se muestran en el gráfico siguiente. Esta imagen se puede ver aquí. El vehículo puede alcanzar una velocidad máxima de doce kilómetros por hora mientras se desplaza en segunda marcha, con una

resistencia total del doce por ciento. En esta resistencia se incluirá el dos por ciento de la resistencia a la rodadura y el diez por ciento de la pendiente. Además, el peso máximo que el vehículo podrá transportar es de 383.740 kilogramos.

### Figura 7

*Este es un gráfico que muestra la fuerza de tracción, la velocidad y el ángulo del camión de transporte 793D MA1 CAT.*



Nota. CAT (2019) "Basic of Haul road Design and Maintenance (Latin American Spanish)" publicación N° 33266.

Durante el proceso de transferencia de carga, una parte del peso de la máquina se transfiere al cilindro del eje delantero. Esto ocurre mientras la máquina está funcionando en una pendiente. En el caso de que la pendiente sea una pendiente que discorra en sentido descendente (A), se producirá este fenómeno. Cuando se conduce con un número muy elevado de pasajeros, es especialmente importante asegurarse de que los neumáticos delanteros sean capaces de transmitir el mayor peso al suelo. Esta obligación recae sobre los neumáticos delanteros.

En una pendiente descendente del 5%, el peso que recae sobre los neumáticos delanteros de un vehículo aumenta en un 8% cuando el vehículo está completamente cargado. Este es el caso cuando la pendiente es del 5% hacia abajo. Los neumáticos delanteros del vehículo son responsables de soportar una sexta parte del aumento de peso que se soporta cuando la pendiente es del 10%. La vida útil de los neumáticos se reduce drásticamente cuando el eje delantero está expuesto a un mayor estrés, cuando el vehículo se conduce a velocidades elevadas y cuando se utilizan los frenos con frecuencia. Todos estos factores contribuyen a la reducción de la vida útil de los neumáticos.

### ***2.6.6 Diseño de la alineación vertical***

En el contexto de las carreteras de transporte, el término "alineación vertical" se refiere a la práctica de construir pendientes y curvas verticales para garantizar que haya suficientes distancias de parada y visibilidad a lo largo de toda la ruta. Cuando se trata de planificar pendientes, es esencial tener en cuenta las capacidades de frenado del equipo que se utilizará para producir un entorno de tráfico que sea confiable y seguro. Por otro lado, la misma línea de razonamiento se aplica a situaciones en las que las crestas de la carretera impiden la visión del operador, lo que resulta en una distancia de parada que es mayor que la longitud de la carretera que es visible frente a él.

### ***2.6.7 Diseño de la alineación horizontal***

El proceso de planificación y construcción de carreteras de transporte para facilitar que el equipo se mueva de manera segura alrededor de las curvas se conoce como alineación horizontal. Esta medición tiene en cuenta las distancias de visibilidad requeridas, así como el ancho, el peralte y el radio de giro. Durante un ciclo de transporte, es muy esencial mantener la alineación horizontal en la posición precisa para garantizar altos niveles de productividad y seguridad. Es necesario que cualquier modificación de los parámetros clave de diseño vaya

acompañada de una desaceleración en la velocidad a la que funciona el sistema.

### **2.6.8 *Diseño de curvas y vías en zigzag***

Dado que los caminos de transporte están pensados para mejorar la eficiencia con la que se entregan las mercancías a un costo más bajo, el diseño de curvas y curvas cerradas debe tener en cuenta el rendimiento de los camiones como un componente vital. Esto se debe a que los caminos de transporte están pensados para promover dicha eficiencia. Cuando se trata de obtener un rendimiento óptimo, el método más eficiente es construir caminos de transporte que permitan a los camiones moverse a velocidades constantes con poca desaceleración. Sin embargo, es probable que el rendimiento del camión tenga un mayor efecto en los gastos finales de minería que el costo original de crear el camino inicialmente. Esto es algo que debe tenerse en cuenta. Si las curvas no se crean correctamente, lo que daría como resultado que se prolonguen las longitudes de los ciclos, es probable que el costo de mover una tonelada por día aumente en miles de dólares. Este sería el caso si las curvas se construyeran de manera incorrecta. Al diseñar curvas y tramos de herradura, es fundamental tener en cuenta el flujo de tráfico de vehículos en ambos sentidos para garantizar que se construyan de forma aceptable. Aumentando tanto la velocidad de ralentí como la velocidad de arrastre, es posible obtener mejoras en la producción.

### **2.6.9 *Diseño del peralte***

Las curvas peraltadas que se realizan en los circuitos de carreras son algo comparables a las curvas peraltadas que se ven en las carreteras principales. Existe un gran nivel de similitudes entre ellas. Esto da como resultado un aumento en la velocidad de viaje alrededor de la curva, así como una reducción en las fuerzas centrífugas que se producen por el cambio de dirección de la unidad de transporte. La disminución de las fuerzas laterales, que son una causa clave del desgaste excesivo de los neumáticos y la separación de las lonas, es una de las



ventajas adicionales que ofrece la inclinación en comparación con los métodos alternativos. Al pasar por curvas que no están peraltadas, el transportador se inclinará, lo que obligará al chasis y a los neumáticos a ejercer presión entre sí. El material se moverá más cerca del borde exterior de la curva como resultado de esto, lo que dará como resultado un cambio en la distribución de la carga. Teniendo en cuenta el hecho de que existe un límite práctico para el número de carreteras peraltadas que se pueden desarrollar, es esencial entender que. Debido a la presencia de curvas que tienen altas pendientes transversales, es factible colocar mayores pesos en las ruedas que se encuentran en el interior del vehículo. En caso de que las condiciones sean heladas o resbaladizas, es probable que esto resulte en que la máquina se deslice por la pendiente transversal. Además de esto, resultará en un aumento en la cantidad de desgaste de los neumáticos, así como en las cargas de flexión que se colocan en el bastidor de la máquina como consecuencia. Se requiere una transición progresiva de una sección transversal de carretera convencional a un peralte, lo que se conoce como "salida". Esta transición debe variar según la velocidad de la máquina y el cambio general en la pendiente transversal. Es vital que la "salida" sea gradual.

Las fuertes fuerzas centrífugas son responsables del movimiento de las máquinas que atraviesan curvas en una dirección radial hacia afuera. Dos fuerzas que se oponen entre sí son el peso de la máquina, que se crea por la inclinación de la curva, y la fricción lateral que se produce entre los neumáticos y la superficie de la carretera. Ambas fuerzas intervienen en el proceso de conducción. Se puede minimizar una cantidad significativa de estrés de los neumáticos durante los giros utilizando esta estrategia. Al utilizar esta tabla en combinación con los cálculos de radio necesarios, se puede determinar la inclinación óptima, también conocida como peralte. Un vehículo que viaja a una velocidad de veinte millas por hora en una curva que tiene un radio de ciento cincuenta pies debe tener un peralte de al menos el dieciocho por ciento.



### **2.6.10 Diseño de los radios de giro**

En lo que se refiere a la construcción de curvas y curvas cerradas, una de las cosas más importantes a tener en cuenta es aprovechar el mayor radio que se considere posible. Esto facilita la conducción a velocidades seguras, reduce la cantidad de congestión del tráfico y minimiza el desgaste de la vía de transporte y del vehículo. Una curva con un diámetro mayor facilita la conducción. A pesar de que las curvas cerradas a veces son necesarias, darán lugar a un aumento del coste que se gasta por cada tonelada que se transporta. Esto se debe a que las curvas pronunciadas son más difíciles de maniobrar. Mientras el vehículo está negociando curvas cerradas, el fenómeno conocido como "retorcimiento" y "marcha de elefante" se manifiesta por los neumáticos gemelos que están conectados a los ejes de tracción. Como consecuencia, esto provoca un desgaste de las vías de transporte, así como un mayor desgaste de los neumáticos. Para mantener velocidades lo más constantes y suaves que sea realísticamente posible, es de suma importancia asegurarse de que esto sea así. El peralte es algo que se debe utilizar cuando se conduce a velocidades superiores a 15 kilómetros por hora (10 millas por hora). Es importante tener cuidado al utilizar un peralte superior al 10 % en condiciones húmedas, ya que existe la posibilidad de que se produzca un derrape lateral. Para obtener velocidades más altas, es necesario construir carreteras que sean más anchas y tengan mayores peraltes. Existe la posibilidad de que las carreteras se vuelvan más concurridas y también existe la posibilidad de que las alturas disminuyan al conducir a velocidades más bajas.

Para completar con éxito un giro con fuerza lateral de los neumáticos al realizar giros sobre elevados, es esencial determinar una velocidad segura, como se indica en el Manual de rendimiento de CAT que se publicó en el año 2015. Se considera que un coeficiente de tracción lateral del veinte por ciento es prudente en todas las circunstancias, con la excepción de las condiciones de congelación, que se caracterizan por una superficie resbaladiza. En otras

palabras, las condiciones de congelación son la única excepción. En base a esto, es posible llegar a la conclusión de que las tablas son adecuadas para la gran mayoría de aplicaciones. Para una variedad de pendientes de peralte, la siguiente tabla muestra la velocidad máxima que se puede alcanzar con un coeficiente de tracción lateral de 0,20. Las velocidades más altas y la aproximación o salida de una curva muy pronunciada son dos situaciones en las que es probable que sea necesaria una sección de transición. Esto se debe a que se cree que la curva es algo empinada. pág. 03

### ***2.6.11 Diseño de bermas***

Una berma de seguridad convencional suele estar hecha de materiales que se adquieren durante la construcción de caminos de transporte o la remoción de escombros. Su forma es típicamente triangular o trapezoidal, y generalmente se construye con materiales que utilizan estos recursos. Uno de los aspectos más importantes que influyen en la determinación del nivel de éxito que se pretende lograr con la berma es el ángulo natural que asume el material una vez que se ha construido. La pendiente de la pendiente lateral es algo que se debe tener en cuenta para que la berma tenga éxito. Es sin duda uno de los aspectos positivos que tiene este enfoque porque tiene una tendencia a desviar la máquina en lugar de afectarla durante un encuentro. Esta es una de las muchas ventajas que posee este método.

En términos prácticos, la altura es fundamental a la hora de construir un terraplén. Para que la unidad de transporte pueda girar en la dirección correcta, su altura debe ser suficiente para igualar o superar el radio de giro de los neumáticos de la máquina. Esto es necesario para garantizar que la unidad de transporte pueda ser redirigida.

Antes de subir, cruzar o moverse completamente más allá de la estructura, existe el riesgo de que las personas que tienen bermas de menor altura no le proporcionen al operador el tiempo de respuesta adecuado. A menos que las circunstancias sean realmente poco



comunes, la altura del montículo de rocas debe ser similar a la altura del neumático que está montado en la máquina. Esto hace que sea posible que la máquina haga contacto con la berma a una altura en el chasis que permita una gran reducción en el riesgo de que la berma se vuelque y una gran mejora en su capacidad de deflexión.

Es necesario crear bermas alrededor de los perímetros de todos los lugares de descarga, así como a lo largo de las rutas de transporte y curvas, en cualquier lugar donde haya un riesgo de accidente que podría reducirse mediante la construcción de una berma. Las bermas se ubican en áreas donde existe la posibilidad de que ocurra un accidente. Esta es una guía importante que se debe seguir en todo momento.

Los gastos asociados a la construcción y el mantenimiento de una berma son mucho menores en comparación con los gastos asociados a otras medidas de seguridad. En el caso de que la berma consiga evitar incluso un solo accidente grave, la inversión en ella se justificará con creces en comparación con los costes asociados a las lesiones, el coste de restaurar una unidad de transporte o el coste del tiempo de producción perdido.

### ***2.6.12 Diseño de drenajes***

La construcción de bermas implica la incorporación de secciones diseñadas para canalizar el agua hacia un área de contención situada en las proximidades de diferentes vías de tráfico. Se han erigido tuberías bajo varias rutas de camiones para facilitar el transporte de agua a un centro de almacenamiento más grande o un punto de distribución.

### ***2.6.13 Diseño de bombeo y convexidad***

La facilitación del paso libre del agua de lluvia hacia las zanjales es esencial para la conservación de una baja resistencia a la rodadura, la protección de los caminos de transporte contra daños y la prevención de cortes de neumáticos. Todos estos beneficios dependen de la



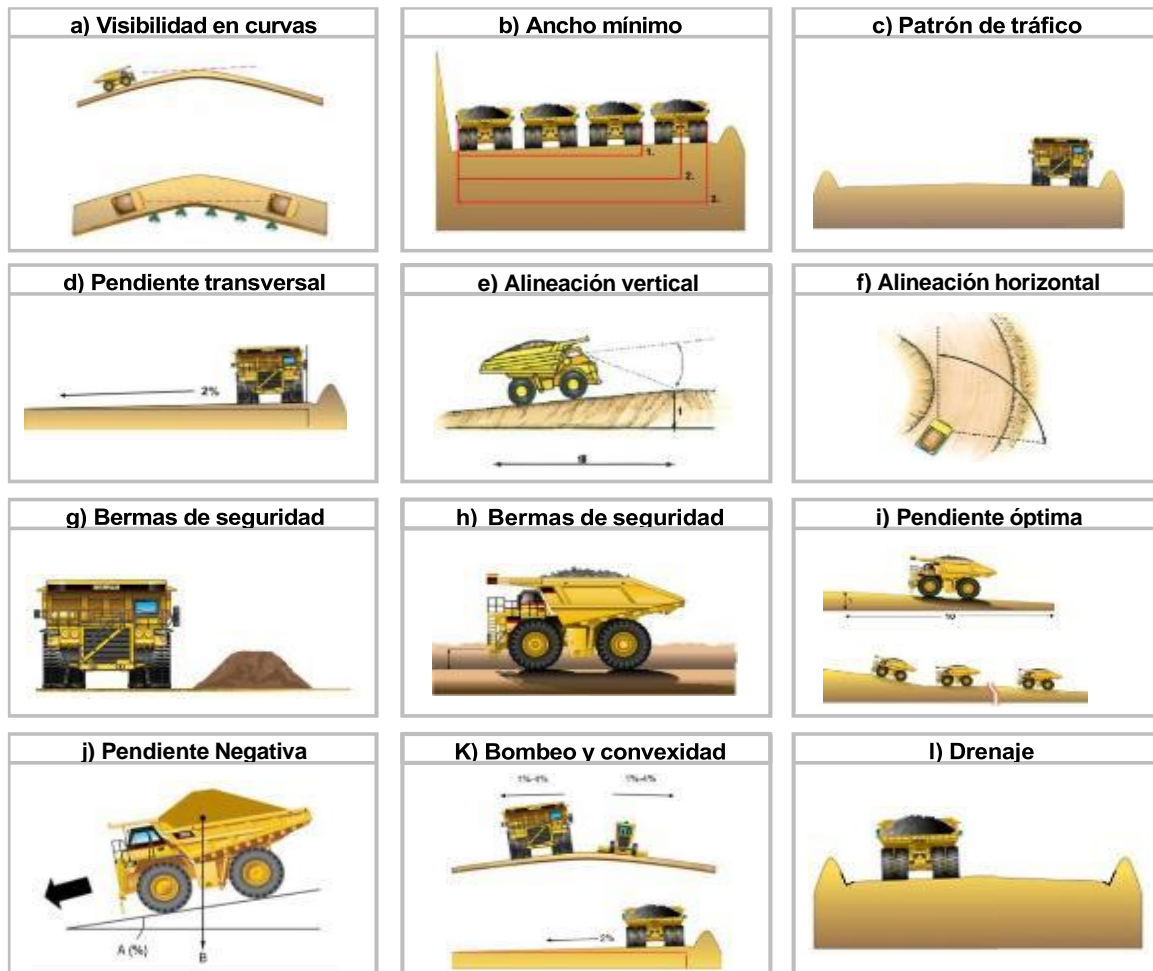
limpieza adecuada de las zanjas. La construcción de sistemas de drenaje requiere el uso de dos componentes: coronamiento y pendiente transversal. Ambos componentes son esenciales. Con la aplicación de coronamiento de la carretera, es posible reducir el daño que provoca el agua estancada. Por otro lado, el coronamiento excesivo da como resultado una distribución desigual del peso, lo que finalmente conduce al desgaste del material con el paso del tiempo. La cantidad de corona de la carretera que se considera ideal varía entre el uno y el cuatro por ciento. Se recomienda que las calzadas que van en una sola dirección tengan una pendiente transversal que no sea mayor del dos al tres por ciento. Las motoniveladoras son una pieza importante del equipo para las minas, ya que se utilizan para mantener los salientes y las pendientes transversales en las minas.

#### **2.6.14 Diseño de cunetas**

Se requiere que cada camino esté equipado con zanjas que se coloquen a intervalos regulares e incluyan trampas de sedimentos. También es necesario garantizar que las zanjas se mantengan adecuadamente durante toda la fase de construcción. Por lo tanto, para evitar la erosión, las zanjas que tengan una pendiente de más del 8% deben tener un revestimiento de roca instalado. Es necesario que el agua que se recoge de los desvíos se descargue en estanques de sedimentación, y es necesario que las zanjas fluyan directamente a los desvíos que están disponibles.

**Figura 8**

*Parámetros a considerar en el diseño de vías de acarreo*



Nota. CAT (2019) publicación N° 33266

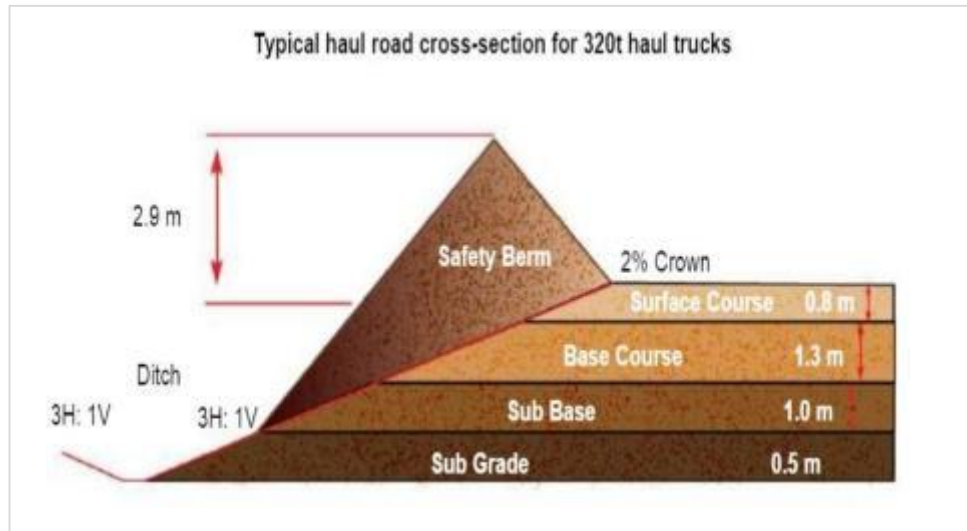
## 2.7 Diseño de la sección transversal de la vía de acarreo

Existen cuatro capas básicas en una carretera de transporte:

- Subrasante
- Subbase
- Capa base
- Capa superficial

**Figura 9**

La mitad de una ruta de transporte de mercancías utilizada habitualmente por camiones de 320 toneladas.



Nota. CAT, St. Charles, IL, pág. 31.

**2.7.1 Subrasante**

Es posible que los camiones atraviesen la subrasante si está compuesta de roca dura y sólida o grava que haya sido bien compactada. Esto sugiere que el relleno puede no ser necesario en el caso de que la subrasante esté formada por estos materiales. En el caso de que la subrasante no tenga una capacidad de carga adecuada, puede ser necesario comprimir el suelo. Las empresas que se especializan en ingeniería o consultoría geofísica pueden brindar asesoramiento sobre rutas de transporte. Estas empresas también pueden brindar servicios de optimización de rutas de transporte. Determinar si el material de la subrasante debe examinarse o no en el lugar es una posibilidad. Por ejemplo, los mineros de todo el mundo han aumentado la capacidad de sus camiones por un factor de tres, aumentando de 85 toneladas a 240 toneladas. Esto es una consecuencia de los avances en el diseño de caminos de transporte y las técnicas de construcción, que han llevado a este resultado particular.



### 2.7.2 *Subbase*

Es común que la capa de subbase esté compuesta de roca gruesa y mineral que no se ha refinado para su posterior procesamiento. Gracias a la presencia de esta capa, la carretera puede conservar su integridad estructural y, al mismo tiempo, evitar que la suciedad de la subrasante acceda a la capa base. Como consecuencia de esto, se reducen sustancialmente los efectos de la acumulación de agua y heladas en la superficie de la carretera.

### 2.7.3 *Capa base*

La capa base de la carretera es de donde se deriva la mayor parte de la resistencia estructural de la carretera. Esta capa se construye normalmente con materiales de alta calidad y con las fracciones de tamaño adecuadas. En comparación con los requisitos aplicables a las otras capas, los criterios de nivelación, así como los estándares de resistencia y flexibilidad, suelen ser más estrictos. Si las cimentaciones y subbases de las carreteras de transporte se desarrollan con materiales que no tienen la capacidad de soportar la carga adecuada, se producirán deformaciones como consecuencia de la tensión y la deformación durante el proceso de construcción. Es seguro que esto acabará provocando la inundación de la carretera, lo que provocará más problemas.

### 2.7.4 *Capa Superficial*

Al controlar la nivelación y reducir la cantidad de polvo que se crea, la capa superficial suele estar compuesta por piedras del tamaño adecuado. Esto se hace para lograr los resultados deseados. Al hacer esto, se pueden conservar intactas las propiedades de unión del material. No solo se obtiene una superficie de conducción suave, sino que también se distribuye el peso en una zona más amplia, lo que produce una reducción significativa de la tensión. Este es un beneficio importante. Cuando se trata de la construcción de carreteras, es de suma importancia reconocer que no todos los sitios tendrán recursos disponibles de alta calidad, ni tampoco será necesariamente rentable. Es posible que un ingeniero de suelos brinde ayuda para identificar

la composición adecuada de las capas de la carretera y la profundidad de esas capas para una región específica.

## 2.8 Zona de contacto de la vía con la carga del camión

Al aumentar el tamaño de los camiones, se aumenta la capacidad del área de compactación, que incluye tanto el ancho como la profundidad del área. Esto se debe a que aumenta la capacidad del área. Se requiere que los tres niveles del proceso de desarrollo tengan en cuenta el tamaño de los vehículos que utilizarán los caminos de transporte. Esto es algo que debe hacerse durante todo el proceso. Durante el proceso de fabricación, la selección de materiales adecuados para cada capa será el factor determinante para determinar la calidad de la resistencia a la rodadura del neumático. Es probable que el uso de materiales adecuados pueda reducir la probabilidad de fallas en la superficie, como baches, que podrían resultar en un aumento en la cantidad de desgaste y daño del neumático.

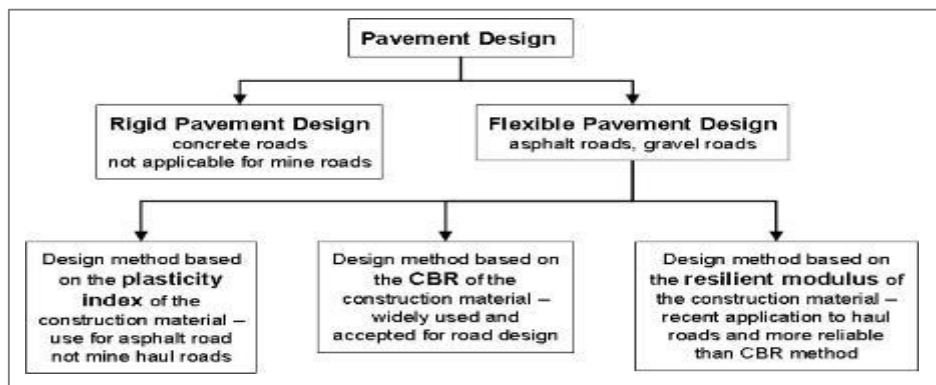
Según Tannant y Regensburg (2001), los caminos de transporte pueden diseñarse utilizando la relación de rodamiento de California (CBR) o una estrategia más moderna que se basa en las demandas de tensión requeridas y el módulo de resistencia del material de construcción. Ambos métodos se consideran alternativas al método tradicional. Ambos enfoques se ven como opciones potenciales que se pueden seguir. Es necesario tener un conocimiento firme de cómo interactúan entre sí los neumáticos del camión de transporte, independientemente de la situación que pueda incluir cualquiera de los dos escenarios.

La Figura 10 demuestra que, cuando se trata del diseño de carreteras, existen varias técnicas que se pueden utilizar. Hay una serie de propiedades de los materiales que se utilizan en el proceso de determinación del espesor óptimo de cada capa de la calzada. Algunos ejemplos de estos atributos son el índice de plasticidad, el índice de carga de California (CBR) y el módulo de resistencia. Estos métodos se utilizan en todo el procedimiento de cálculo para llevar a cabo los cálculos.

Según la Asociación Australiana de Pavimentos Asfálticos (1983), el índice de plasticidad se ha utilizado principalmente como herramienta para diseñar pavimentos flexibles en vías comerciales. La razón es que no es fácil cuantificar el índice de plasticidad. Uno de los criterios de diseño utilizados en el enfoque actual de construcción de carreteras es el índice de resistencia al empotramiento de California (CBR) de los materiales de construcción.

**Figura 10**

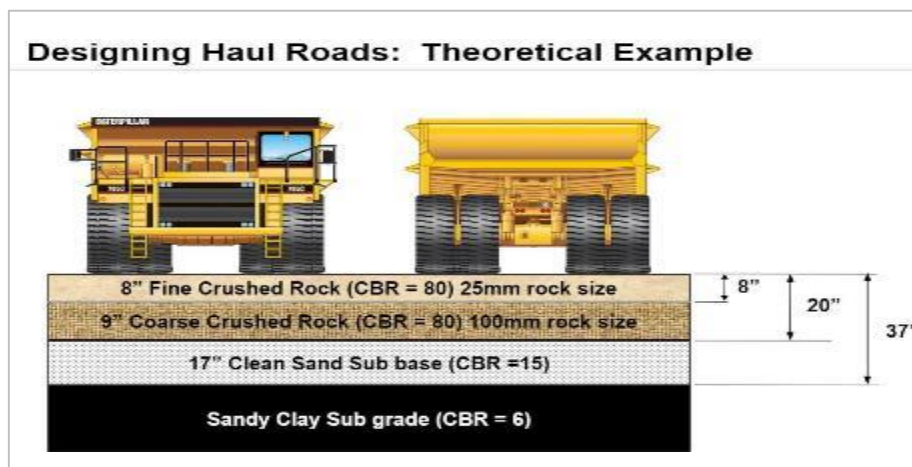
*Tipos de diseño de pavimento*



*Nota.* Guidelines, D. Tannant & Bruce Regensburg, 2001, pág 29

**Figura 11**

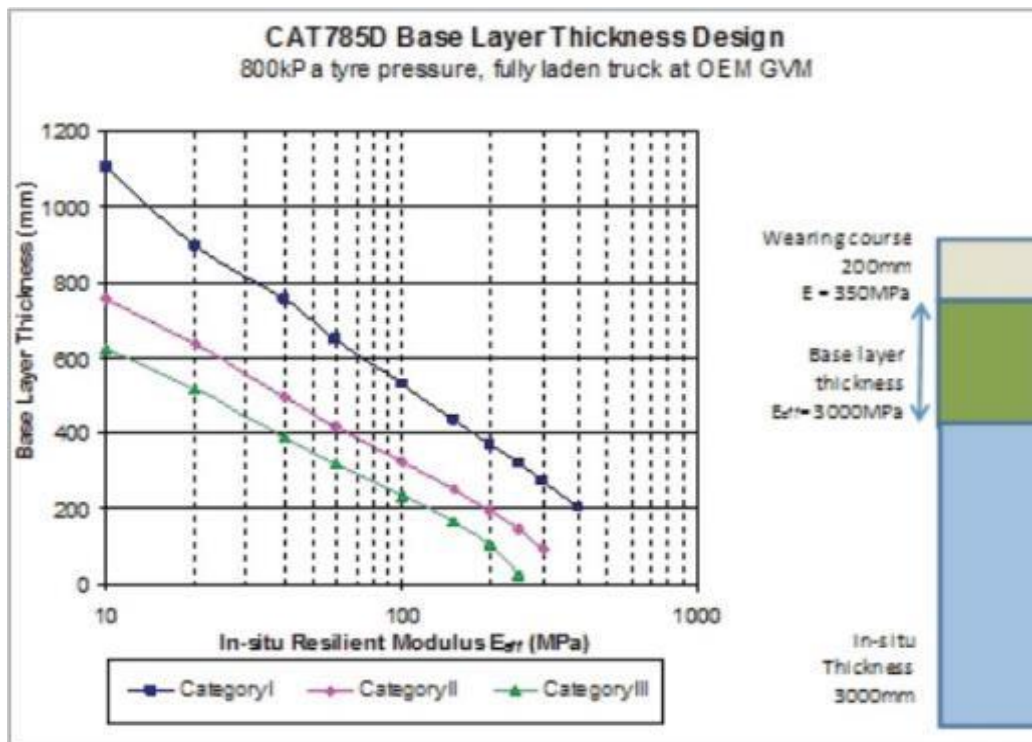
*La mitad de una ruta de transporte de mercancías utilizada habitualmente por camiones de 320 toneladas.*



*Nota.* CAT Haul, 2006

**Figura 12**

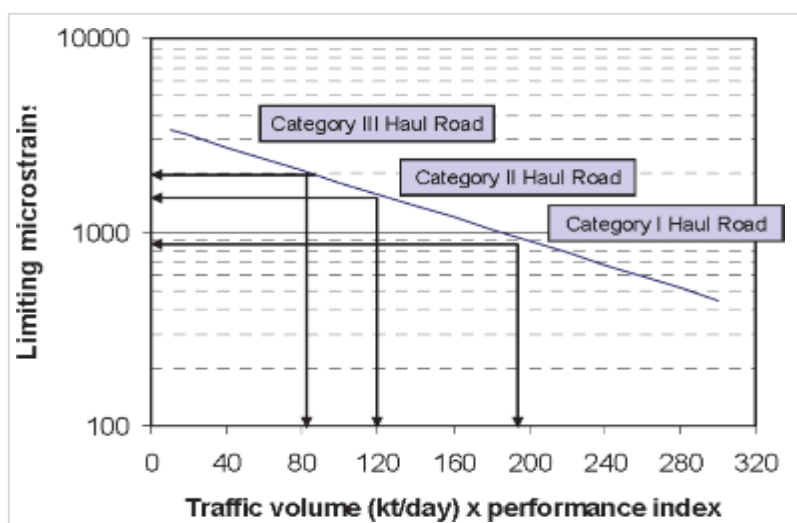
*Espesor de la sección de la vía, base para una presión de 800Kpa*



Nota. Mine Haul Road Design

**Figura 13**

*Valores de la capa de pavimento para el límite de tensión compresiva vertical en el diseño estructural de rutas de transporte minero*



Nota. Mine Haul Road Design, Construction & Maintenance Management, RJ Thompson, 2019, pág. 82.

## 2.9 Tracción y resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura y la tracción tienen un vínculo bastante fuerte. Esta relación es bastante convincente. La tracción de la carretera, a menudo denominada coeficiente de fricción entre el neumático y la superficie de la carretera por parte del vehículo, influye en el potencial de deslizamiento del vehículo. Este coeficiente también se conoce como coeficiente de fricción. La frase "resistencia a la rodadura" se refiere a las fuerzas totales acumuladas que una máquina debe superar para desplazarse sobre una determinada superficie. Esta resistencia se mide en términos de par motor. La reducción de la resistencia a la rodadura a menudo da como resultado un aumento de la tracción de la superficie, que es visible como consecuencia de la reducción. La razón de esto se debe a la conexión que existe entre los dos datos.

**Tabla 2**

*Factores Típicos de Tracción para neumáticos*

Superficie del camino		Coefficiente de tracción
Concreto	Nuevo	0.80 -1.00
Asfalto	Nuevo	0.80 -1.00
Arena	0.45	0.55 - 0.85
Gravilla	Empacada y aceitada	0.55 - 0.75
Roca	0.40	0.50 - 0.70
Cenizas	0.65	0.55
Tierra	Lámina	0.50
Nieve compacta	0.20	0.55
Hielo	0.12	0.12
Tierra arcillosa	Seca	0.55
Arena	Seca	0.20
Recubrimiento	Acumulada	0.46
Nieve	Empaquetado	0.25 - 0.55
Hielo	Liso	0.10 -0.25

*Nota.* Tannant & Bruce Regensburg, 2001, pág 44

Debido a la naturaleza irregular y flexible de las condiciones de la carretera, es muy necesario que los neumáticos delanteros asciendan a una velocidad constante. Para superar la fuerza que sirve para retrasar el neumático con respecto al suelo, la cantidad de esfuerzo de tracción que se requiere para superar esta fuerza se conoce como par motor del eje. El fenómeno en cuestión se conoce como resistencia a la rodadura en la comunidad científica. Para superar la resistencia que se produce al rodar, se utiliza la fuerza que suministra la máquina para "tirar" de la rueda hacia arriba y sacarla de la ranura que se va formando continuamente. Esto se hace para superar la situación. La resistencia al rodamiento se expresa a menudo como un porcentaje de la pendiente real de la carretera que se encuentra. Esta es una práctica estándar. Para superar la resistencia que es comparable a la de un camión que cruza una pendiente del 10% sin resistencia al rodamiento, un vehículo que circula sobre una superficie nivelada con una resistencia al rodamiento del 10% debe contrarrestar la resistencia. Esto es necesario para superar la resistencia.

Es posible calcular un cierto porcentaje mínimo de resistencia al rodamiento en las siguientes superficies cuando se trata de vehículos todoterreno equipados con neumáticos de capas radiales. Estas superficies incluyen:

**Tabla 3**

*Cantidad de resistencia a la rodadura que deben cumplir los camiones CAT con neumáticos radiales.*

%	Porcentaje mínimo de resistencia a la rodadura
1.2%	Vía de acarreo dura, bien mantenida y permanente.
2.5%	Vía de acarreo en buen estado con poca flexión
4.0%	Vía de acarreo con 25 mm (1 in.) de penetración de los neumáticos
5.0%	Vía de acarreo con 50 mm (2 in.) de penetración de los neumáticos
8.0%	Vía de acarreo con 100 mm (4 in.) de penetración de los neumáticos
14%	Vía de acarreo con 200 mm (8 in.) de penetración de los neumáticos

*Nota.* CAT (2019) "Basic of Haul road Design and Maintenance (Latin American Spanish)" publicación N° 33266



La resistencia al rodamiento de los vehículos con ruedas y la resistencia a la pendiente son los dos componentes que forman la resistencia total, según la definición de la palabra proporcionada por Dwayne D. Tannant y Bruce Regensburg (2004). Esto se puede determinar juntando los valores de resistencia a la rodadura y resistencia a la pendiente, lo que dará como resultado una resistencia que se mide en kilogramos de fuerza o una pendiente efectiva que se expresa en porcentaje. Esto se puede hacer para determinar el valor de la resistencia:

Resistencia total = Resistencia a la rodadura + Resistencia a la pendiente.

Grado efectivo (%) = RR (%) + GR (%)

Una expresión empírica para estimar la resistencia a la rodadura es la siguiente (CAT 1999)

$RR = 2\% + 0,6\% \text{ por cm de penetración del neumático}$

## **2.10 Cuánto cuesta operar y mantener camiones de transporte en relación con diferentes rutas.**

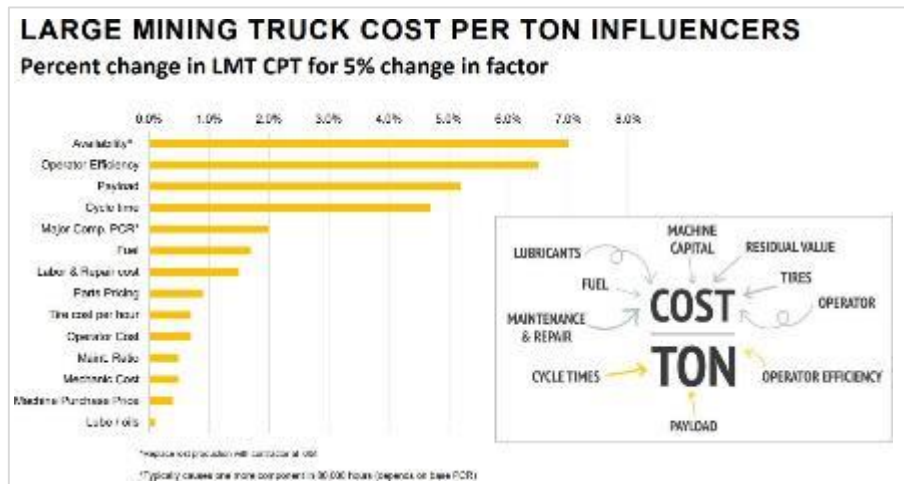
Es probable que un aumento del cinco por ciento en la resistencia a la rodadura dé como resultado una disminución del diez por ciento en la productividad y un aumento del treinta y cinco por ciento en los gastos de producción. Esta es una posibilidad. Un aumento en la resistencia a la rodadura puede tener un impacto considerable en una serie de componentes críticos que son necesarios para el cálculo de los costos de transporte. Estos componentes incluyen el costo del transporte.

El ciclo de transporte es el gasto principal relacionado con el transporte de camiones en la ruta de transporte, y los gastos operativos de los camiones mineros CAT lo ponen de manifiesto. En vista de esto, el ciclo de transporte es el gasto clave asociado con el transporte de camiones. La cantidad de combustible que utiliza el equipo, el peso que transporta el equipo, el costo de los neumáticos y la cantidad de orugas que son favorables para equipos

grandes son todos factores que se tienen en cuenta en este ciclo.

**Figura 14**

*Grafica del costo de operación por tonelada métrica acarreada para camiones grandes CAT*



Nota. Autores John Ingle, Mike Mesnard, Eric Mortensen, Jim Grooss

### 2.10.1 Consumo de combustible

La cantidad de combustible que se utiliza tiene un vínculo considerable con la resistencia acumulada, que tiene en cuenta tanto los factores de rodadura como los de pendiente. Esta asociación es significativa. Cuando el camión se ve obligado a cambiar a una marcha más baja como consecuencia de una resistencia a la rodadura grave provocada por un mantenimiento deficiente, utilizará una cantidad mucho mayor de combustible para recorrer la misma distancia que un vehículo que es capaz de funcionar a velocidades y marchas más altas. Esto se debe a que el camión se verá obligado a cambiar a una marcha más baja.

Como se puede ver en la Tabla 7 a continuación, la cantidad de combustible que se utiliza está asociada con un aumento en el tiempo que se pasa en la pendiente. La altura libre a la pendiente de una ruta de transporte de mercancías es una consideración esencial que se debe tener en cuenta al construir la ruta.

**Tabla 4**

Tabla que muestra el consumo de combustible de un camión CAT 793F, desglosado por pendiente y tiempo total de viaje.

<b>% de la Pendiente</b>	<b>Tiempo en Minutos</b>	<b>Consumo de Combustible (g)</b>
5%	15.2	42.1
6%	14.6	40.3
7%	14.1	39.3
8%	13.8	38.2
9%	13.6	37.5
10%	13.3	36.9
11%	13.2	36.9
12%	13.2	36.9

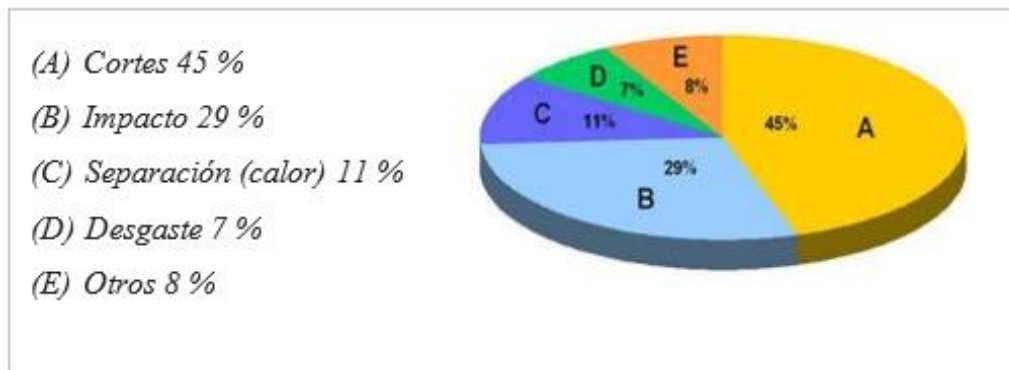
Nota. Autores John Ingle, Mike Mesnard, Eric Mortensen, Jim Grooss

### 2.10.2 Neumáticos

Una cantidad significativa de la resistencia a la rodadura de las rutas de transporte de mercancías, además del estado de las propias carreteras, tiene una influencia significativa en la vida útil de los neumáticos. Si las carreteras de transporte que están hechas de grava sin clasificar o roca perforada no están bien mantenidas, es probable que la vida útil de los neumáticos se acorte entre un treinta y un cuarenta por ciento. Cuando esto ocurre, la vida útil de los neumáticos podría reducirse. El siguiente gráfico proporciona una ilustración de una distribución estándar de las características que determinan la vida útil de los neumáticos. Puede ver este gráfico haciendo clic en el enlace proporcionado.

**Figura 15**

*Factores que afectan a la vida de los neumáticos en camiones CAT.*



Nota. CAT (2019) publicación N° 33266

Una estimación aproximada sugiere que alrededor del ochenta por ciento de los neumáticos grandes fallarán antes de cumplir con los requisitos de desgaste para los que fueron diseñados. En vista del hecho de que los neumáticos son cada vez más costosos y poco comunes, las empresas mineras de todo el mundo están realizando un gran esfuerzo para mejorar sus operaciones con el fin de extender la cantidad de tiempo que sus neumáticos pueden permanecer en buenas condiciones. En comparación con los demás neumáticos del vehículo, el neumático delantero izquierdo de un camión minero suele tener la vida útil más corta de todos los neumáticos involucrados. Esto es algo que se ve comúnmente.

De acuerdo con el Manual de rendimiento CAT, número 45, 2015, los kilómetros totales por hora (TKPH) son un componente adicional que es de suma importancia y debe tenerse en cuenta al seleccionar un neumático. La capacidad del camino de transporte para operar es el factor determinante tanto de la carga como de la circulación que se produce en el camino de transporte. Además, es un término que proporciona una idea de la capacidad de carga de un neumático en proporción a la cantidad de calor que crea. Ambos aspectos son importantes a tener en cuenta. Esta cantidad se mide en toneladas-kilómetro-hora por hora, que es la unidad de medida. En pocas palabras, el diseño de un neumático es lo que define su TKPH, y este número cambia en función del tamaño, tipo y compuesto del neumático. La



fórmula conocida como TKPH se utiliza para hacer predicciones sobre la temperatura que se acumulará en los neumáticos. La velocidad a la que aumenta la temperatura de los neumáticos se puede determinar multiplicando la carga por la velocidad del vehículo durante un período de tiempo mientras el vehículo está en movimiento. En lo que respecta a los neumáticos, se recomienda que los neumáticos hechos de alambre de acero se almacenen a una temperatura de 93 grados Celsius (200 grados Fahrenheit). Por otro lado, los neumáticos hechos de cable de fibra textil deben almacenarse a una temperatura máxima de 107 grados Celsius (225 grados Fahrenheit). En el capítulo veintiuno, página 12, se puede leer:

La mayoría de las personas que ocupan puestos operativos no son conscientes de que la aceleración que se produce en los giros a la derecha tiene una influencia más sustancial en la carga y las fuerzas que debe soportar el neumático. Esto se puede ver en el gráfico, que lo deja claro. Es posible que el neumático se fragmente y falle como consecuencia de tensiones y esfuerzos laterales de este tipo en un período de tiempo relativamente corto.

**Tabla 5**

*Carga transferida en los neumáticos por efecto de la velocidad*

<b>MHP</b>	<b>% (GMW) Peso bruto de la máquina</b>
<b>1-3</b>	<b>14%</b>
<b>3-5</b>	<b>21%</b>
<b>5-7</b>	<b>38%</b>
<b>7-10</b>	<b>56%</b>
<b>+11</b>	<b>75%</b>

Nota. CAT (2019) publicación N° 33266

### **2.10.3 Productividad**

La reducción del tiempo de funcionamiento del camión como consecuencia de los mayores tiempos de viaje para la misma distancia, además de los mayores costes de mantenimiento que son consecuencia del mayor desgaste asociado a cada tonelada de material

transportado, contribuyen a un aumento de los gastos. Ambos factores contribuyen a un aumento de los gastos. Debido a la reducción de la resistencia a la rodadura, se acortará el tiempo del ciclo de transporte, lo que finalmente dará como resultado una mejora en el rendimiento del material que se transporta con el vehículo.

#### 2.10.4 Vida útil de los componentes

Al evaluar el desgaste total del camión de transporte, se tienen en cuenta dos criterios: la resistencia a la rodadura de la superficie de la carretera y la suavidad de la misma. En consecuencia, la vida útil del equipo y los gastos relacionados con su mantenimiento se ven afectados como consecuencia de esto. Durante el proceso de viajar por terrenos irregulares a alta velocidad, la cantidad de desgaste que se produce en casi todos los componentes de la máquina aumenta significativamente durante todo el funcionamiento. El uso constante de los frenos para evitar los desniveles del terreno hace que el material que constituye la fricción de los frenos se degrade a un ritmo más rápido. Cuando el polvo se acumula en exceso, puede desgastar piezas importantes como filtros de aire, cilindros hidráulicos, frenos y otras, cuya limpieza o sustitución puede resultar costosa. Este puede ser un proceso costoso y que requiere mucho tiempo.

**Figura 16**

*un mando final producto de la sobrecarga de un camión CAT*



Nota. CAT



## 2.11 Deterioro en las vías de acarreo

El deterioro de los caminos de transporte se debe a tres elementos principales: las condiciones meteorológicas, los derrames y el seguimiento, que se produce cuando el equipo sigue los mismos caminos o caminos comparables en los carriles de transporte. Estas tres variables son los principales contribuyentes al estado de los caminos de transporte. El control de los vehículos es el factor más importante que contribuye a la degradación de las carreteras de transporte. Debido a que estas características son prácticamente reconocibles al instante, es de suma importancia que se enfatizen las medidas preventivas por encima de los esfuerzos correctivos cuando se trata del mantenimiento de las carreteras. Se pueden adoptar una serie de medidas básicas para reducir la cantidad de daños en las carreteras. Las cunetas y alcantarillas que se encuentran a los lados de las carreteras deben inspeccionarse periódicamente y limpiarse de cualquier obstrucción para garantizar que el drenaje se realice de la manera adecuada. Como consecuencia de esta protección, el desbordamiento, la erosión de la superficie y la saturación del material de la subbase se reducen a niveles más manejables. Para disminuir la probabilidad de que se formen surcos, es esencial alentar a los operadores a que utilicen las diferentes zonas disponibles dentro de la vía de transporte siempre que sea posible hacerlo. Cuando se conduce un neumático en una carretera que tiene varios surcos, aumenta la probabilidad de que se dañen los flancos y la carcasa se expone a tensiones a medida que el neumático pasa por el surco. Todos estos factores contribuyen a que el neumático se dañe.

Es muy importante establecer reglas que impidan que los camiones excedan su capacidad para reducir la cantidad de derrames que se producen. Es necesario rescatar el material que se ha derramado en caso de que se produzca un derrame. Esto se hace para evitar la creación de grumos o montículos que no son necesarios. Se recomienda utilizar camiones cisterna equipados con sistemas de rociado especiales para manejar con éxito los problemas

de polvo. Esto se debe a que estos vehículos están equipados con sistemas de rociado. Cuando hay una acumulación sustancial de polvo, es probable que se necesiten aditivos químicos. Pueden ser necesarios en determinadas circunstancias. Con el fin de mantener las pendientes transversales de manera uniforme, evitar derrames y rellenar y nivelar las depresiones de la superficie a medida que se producen, se recomienda utilizar equipos de apoyo como motoniveladoras o topadoras

## Figura 17

*Imágenes de los defectos en las vías de acarreo*



Nota. CAT (2019) "Basic of Haul road Design and Maintenance (Latin American Spanish)" publicación N° 33266)

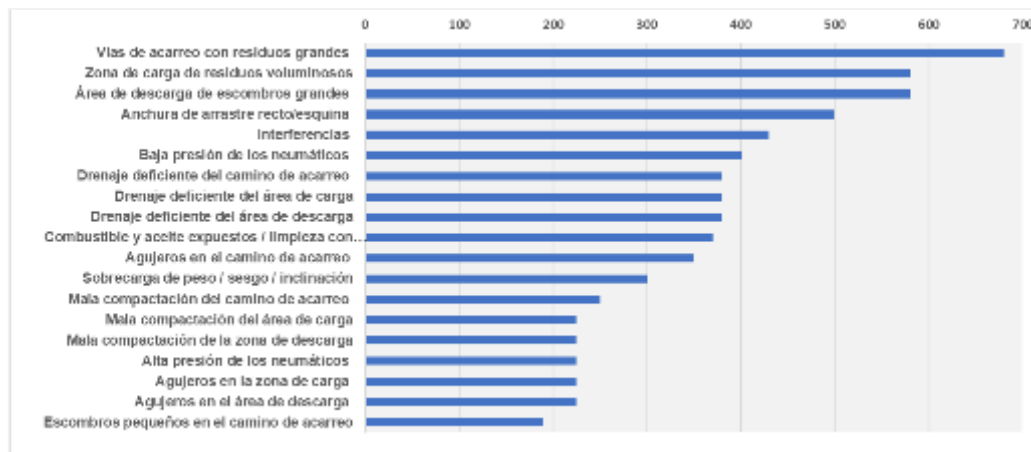
**Las deficiencias como baches, ondulaciones, deflectores, escombros sueltos, polvo, rocas, fracturas, resistencia al deslizamiento (tanto en condiciones húmedas como secas) y drenaje (tanto en carretera como fuera de ella) son un ejemplo de algunas de las deficiencias que se muestran en la Figura 17. Además, las rocas, las fracturas y la rocosidad se consideran vulnerabilidades.**

CAT ha establecido que existen varias causas clave que pueden contribuir a la falla de los neumáticos. La Figura 18 proporciona un resumen de estos elementos. El factor más importante que contribuye a este problema es la basura que todavía ensucia las carreteras que

se utilizan para transportar basura. Como consecuencia de esto, es necesaria una gestión vial eficaz para proteger estos recursos, que requieren importantes gastos asociados con el mantenimiento de los camiones.

### Figura 18

*Principales causas de falla de los neumáticos en camiones CAT*



Nota. CAT, Administración en Neumáticos, pág. 172

## 2.12 Desempeño de los camiones de acarreo en la vía de acarreo

### 2.12.1 Gestión de información vital (VIMS)

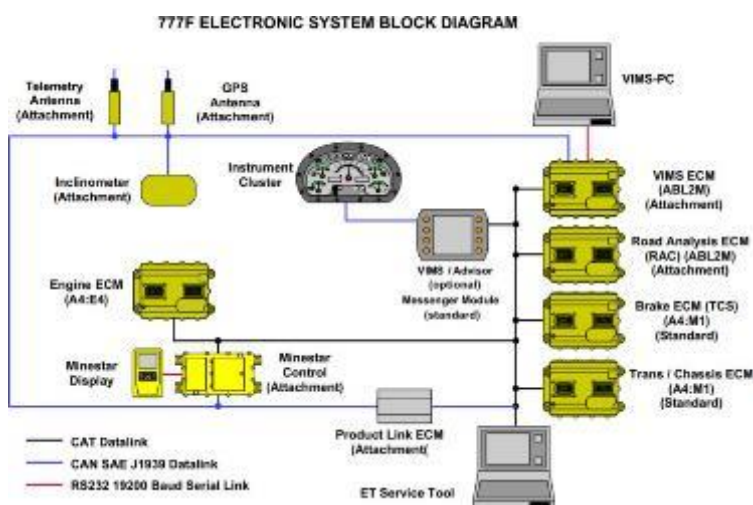
El departamento de Tecnología de la Información Crítica (CAT) ha recibido el encargo de construir un sistema integrado que se conocerá como el importante Sistema de Gestión de la Información (VIMS). El objetivo de este sistema es supervisar el funcionamiento de las máquinas y proporcionar información importante en tiempo real. Es posible aplicar esta estrategia para ofrecer a los mineros ayuda para centrarse en mejorar la producción y, al mismo tiempo, reducir el coste por tonelada. Esto se puede lograr mediante el uso de este método. CAT es responsable del desarrollo de las tecnologías que utiliza el programa VIMSTM. Además de la sincronización de los segmentos del ciclo, la longitud de esos segmentos, así como la fecha y la hora de cada ciclo, este sistema supervisa la presión de los puntales, lo que permite una estimación exacta del peso de la carga útil. Además, mantiene un

registro de la duración de cada ciclo. Como resultado de esto, la oficina de la mina está en una mejor posición para gestionar adecuadamente la producción de las máquinas y cumplir con la regla 10/10/20.

El registrador de datos, que es un componente del software VIMS, toma una instantánea de más de 250 parámetros. Esta instantánea se toma durante la duración de un ciclo completo que dura treinta minutos. Este ciclo, que comienza con la fase de carga, continúa hasta llegar a su conclusión con el procedimiento de descarga. Esta información se obtiene mediante una tecnología denominada Análisis de Gravedad (ASA), que se utiliza para evaluar qué aspectos de los caminos de transporte se pueden modificar con el fin de simplificar el proceso de lograr mejoras en la duración de los ciclos. El Control de Análisis de Caminos (RAC) es responsable de realizar evaluaciones continuas de los puntos críticos de los caminos de transporte las veinticuatro horas del día, los siete días de la semana, una vez que se ha completado la construcción del perfil ASA. Esto se hace con el fin de garantizar que la torsión, el cabeceo y el desplazamiento lateral del bastidor se controlen continuamente mediante la acción de los cilindros de suspensión.

**Figura 19**

*Conexión de los Módulos Electrónicos en el camión minero de acarreo 777F CAT.*

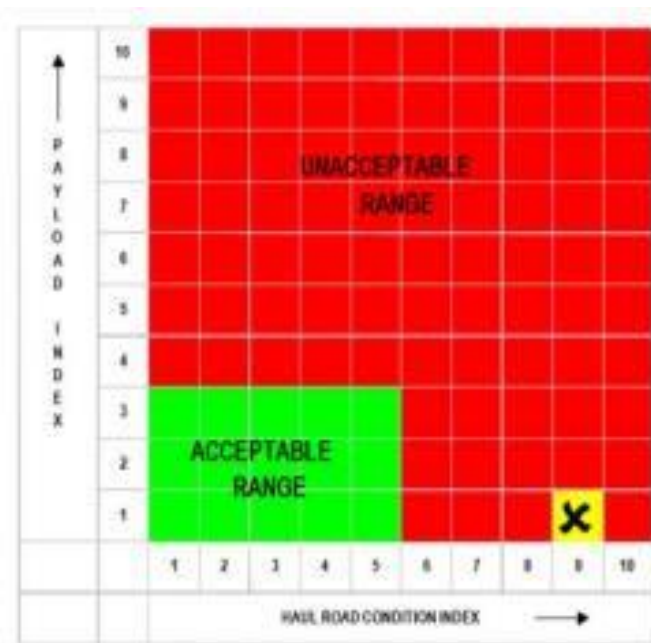


### 2.12.2 Producción y costos de la flota (FPC)

CAT es responsable del desarrollo y mantenimiento de un paquete de software conocido como FPC. Este paquete de software ofrece a los clientes la capacidad de comparar y anticipar la producción total, el costo unitario y la cantidad de tiempo que se necesita para completar un proyecto. Para lograr este objetivo, esta aplicación de software está diseñada para simular la programación de máquinas. En este programa se incluyen simultáneamente una variedad de operaciones mineras, incluidas las flotas de movimiento de tierras y la transferencia de minerales entre sitios en una variedad de estratos. Estas actividades incluyen flotas de movimiento de tierras. Cuando se trata de compatibilidad con FPC, cualquier máquina que se clasifique como "transportista" y tenga una curva de velocidad-empuje que se pueda usar para calcular la capacidad de rendimiento se considera accesible. Esto demuestra que FPC es compatible con cualquier máquina, lo que es una capacidad significativa. Hay una variedad de vehículos que entran en esta categoría. Algunos de los vehículos que entran en esta categoría son camiones articulados, cargadores de ruedas, mototraíllas y camiones volquete de plataforma profunda. Estos vehículos se utilizan para tareas de carga y transporte. Todos estos automóviles entran en el ámbito de esta categoría. Además, la colección incluye algunas máquinas subterráneas CAT que están incluidas en la base de datos de máquinas de FPC con la colección. La Figura 10 ilustra el Índice de Severidad de Minas (MSI) para el estado de las carreteras que se utilizan para cargas y transportes de camiones. Las presiones en los cilindros de suspensión, así como RACK, PITCH y BIAS, tienen un impacto en el MSI. Como otro ejemplo, la Figura 10 ilustra la relación entre el MSI y el estado de la carretera. Esto sirve como una función que se muestra en toda la imagen.

**Figura 20**

El programa CAT FPC se utilizó para elaborar el índice de estado de las carreteras.



Nota. FPO User Version 2 - 22 October 2004

La idea del Índice de Severidad de Minas (MSI) reconoce el vínculo entre la severidad de la aplicación de la máquina, las condiciones de la carretera y la carga útil de la máquina, como se indica en la Guía de Aplicación de FPO Mining Fleet Productivity Optimization Versión 11 - 26 de noviembre de 2004. Este concepto fue desarrollado por la FPO. A lo largo del ensayo, el autor hace que este argumento sea bastante evidente. En un primer momento, cada uno de estos criterios se clasificó según una escala que variaba de 1 a 10. Para determinar la severidad de la mina, se comparan entre sí los índices HRC y PLD para generar el Índice de Severidad de la Mina (MSI). Esto se hace con el fin de llevar a cabo la determinación. Pág. 22.

### 2.12.3 Control de análisis de carreteras (RAC)

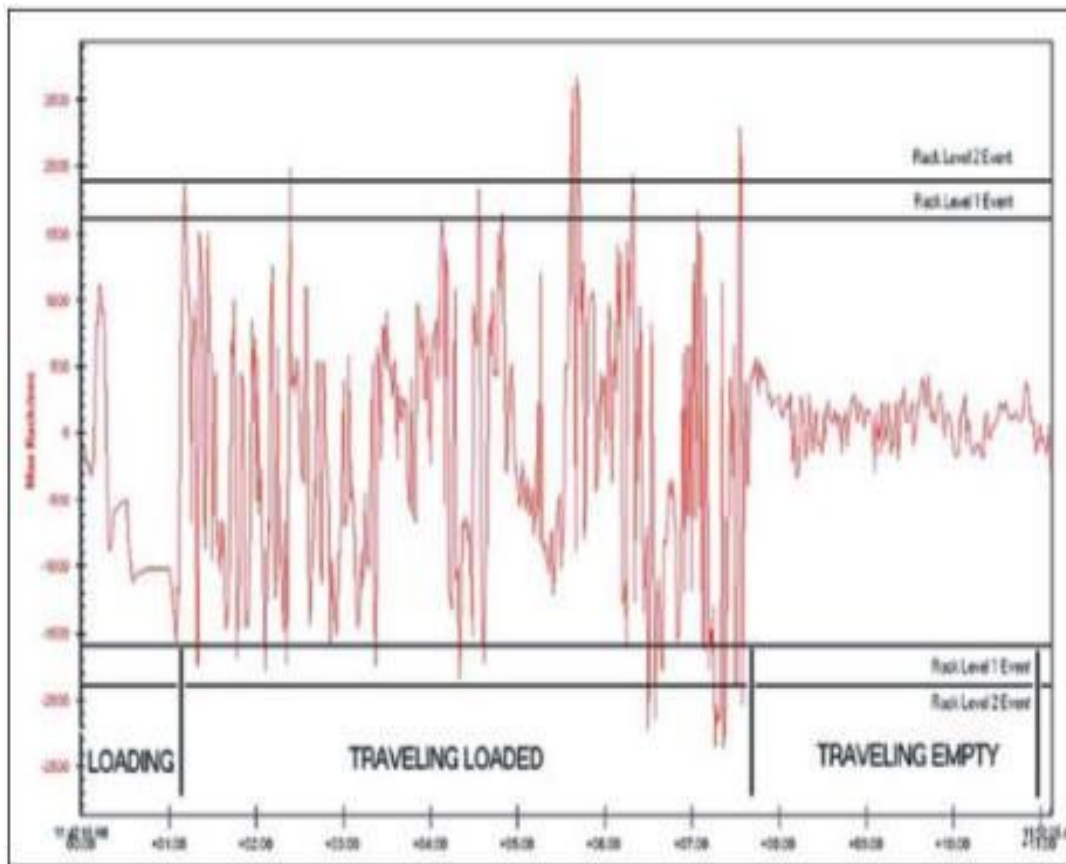
La información que se suministra en el Boletín Técnico CAT N° RENR8284-07, emitido en el año 2020, señala que el Control de Análisis de Carreteras (RAC) es una solución de tecnología de información a bordo para camiones mineros que está diseñada para evaluar



y analizar las condiciones de las carreteras que se utilizan para el transporte. El componente RAC, que es un componente de conexión, está conectado al Sistema de Gestión de Información Vital (VIMSTM), lo que lo convierte en un componente de conexión. A través del uso de una red de radio, transmite esta información al operador, así como a la oficina de la mina en tiempo real. Para ello, lo hace monitoreando la carga y el impacto de cada componente por separado. El RAC proporciona a los administradores de minas datos y estadísticas que les permiten monitorear, analizar y administrar la calidad de las carreteras durante la vida útil del vehículo. Esto finalmente se traduce en una disminución del costo por tonelada de material que se transporta, lo que es un beneficio significativo. La tarea de recopilar datos de presión de manera sistemática a partir de sensores que se colocan en cada pluma a intervalos establecidos se ha delegado al RAC. Estos sensores monitorean la presión a ciertos intervalos. Durante el proceso de cálculo de las duraciones de los ciclos y los pesos de la carga útil, esta información es necesaria para el cálculo. La cremallera, el paso y la inclinación son las tres características que se tienen en cuenta al evaluarla. La inclinación del vehículo se determina mediante sensores que monitorean los cambios en las presiones de los puntales que se producen entre las ruedas del eje delantero y trasero. Para identificar mejor la cremallera, se miden las presiones diagonales de los puntales y se estudian las discrepancias entre la izquierda y la derecha para detectar la inclinación. Ambos factores se tienen en cuenta. Identificar los lugares de la carretera que tienen el potencial de causar daños graves a un vehículo, ya sea de forma inmediata o por exposición repetida durante un período de tiempo, es responsabilidad del Comité de Impacto de Carreteras (RAC), que es responsable de determinar dónde se encuentran estos lugares. Se han asignado designaciones de eventos que están vinculados con estos impactos. Estas designaciones han sido asignadas. Los ajustes de fábrica se pueden ajustar a uno de tres niveles únicos: RAC1, RAC2 o RAC3. Esto permite que la fábrica se adapte a una amplia variedad de circunstancias mineras.

**Figura 21**

*Informe del Sistema RAC visualizado a través del registrador de datos VIMS*



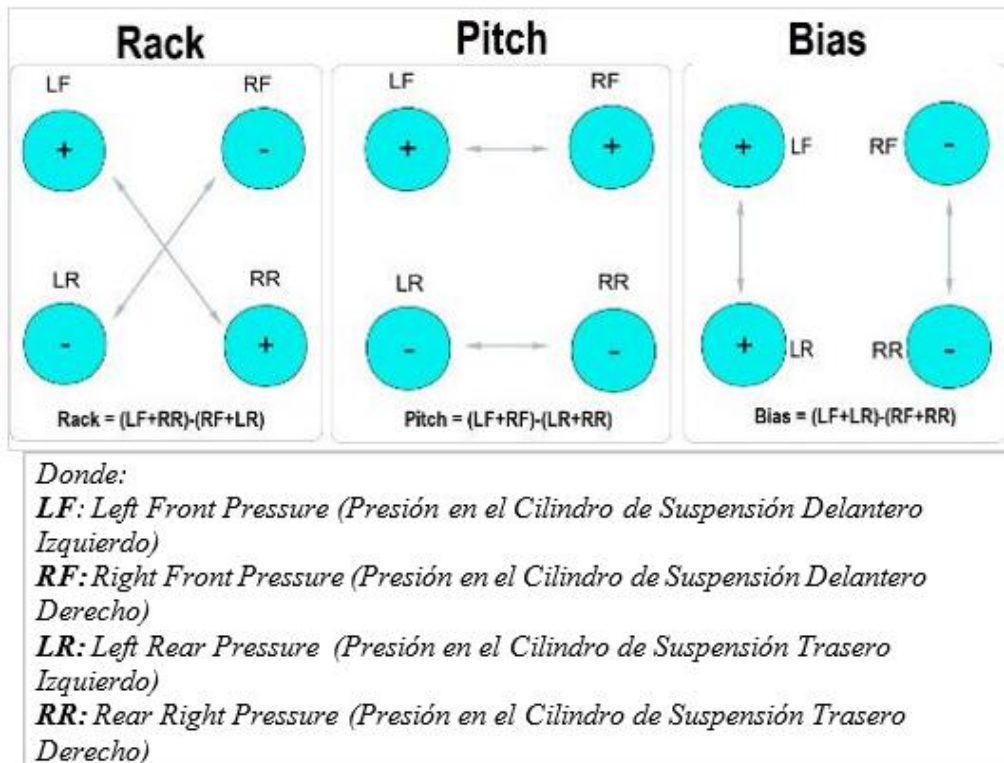
Nota. (CAT Salesgram CAT® Road Analysis Control (RAC) for CAT F Series Mining Trucks TEKQ1265 August 2015)

El RAC pone a disposición dos niveles distintos de información sobre incidencias de inclinación y de cabeceo, a los que se puede acceder mediante el uso del sistema de gestión de información visual (VIMS) integrado.

"Se han medido los límites máximos de inclinación y de cabeceo: reduzca la velocidad" se mostrará en el mensaje y la luz de alerta del VIMS en caso de que se emita una advertencia de Nivel 01. Esta advertencia se mostrará en caso de que. Cuando algo realmente sucede, es una prueba de que tiene el potencial de causar daños durante un período de tiempo. Esta prueba se ofrece por el hecho de que el evento realmente ocurre.

**Figura 22**

*Cálculo de los Indicadores del estado de la Vía de Acarreo: Rack, Pitch y Bias,*



Nota. CAT® Haul Road Design and Management

Se requiere que el conductor del camión reduzca su velocidad cinco millas por hora para cumplir con la solicitud. Observe al supervisor que está a cargo del turno de día.

Cuando el usuario se enfrenta a una advertencia de Nivel 02, el mensaje y la luz de alerta del VIMS le transmitirán la siguiente información: "Las mediciones de inclinación y de cabeceo han sido excesivamente altas: reduzca la velocidad y evite esta área". Esta advertencia se mostrará en la pantalla. Es probable que la integridad estructural del vehículo se haya visto comprometida como consecuencia de la existencia de esto, lo que indica que se ha producido un evento que tiene el potencial de causar daños. Es posible que se requiera una acción inmediata en respuesta a la observación realizada por el operador, que fue la siguiente: "Deje de operar el camión". Es imperativo que la notificación se dé al supervisor de turno o al superintendente de minería lo antes posible.



## 2.13 Indicadores en el proceso de acarreo del mineral

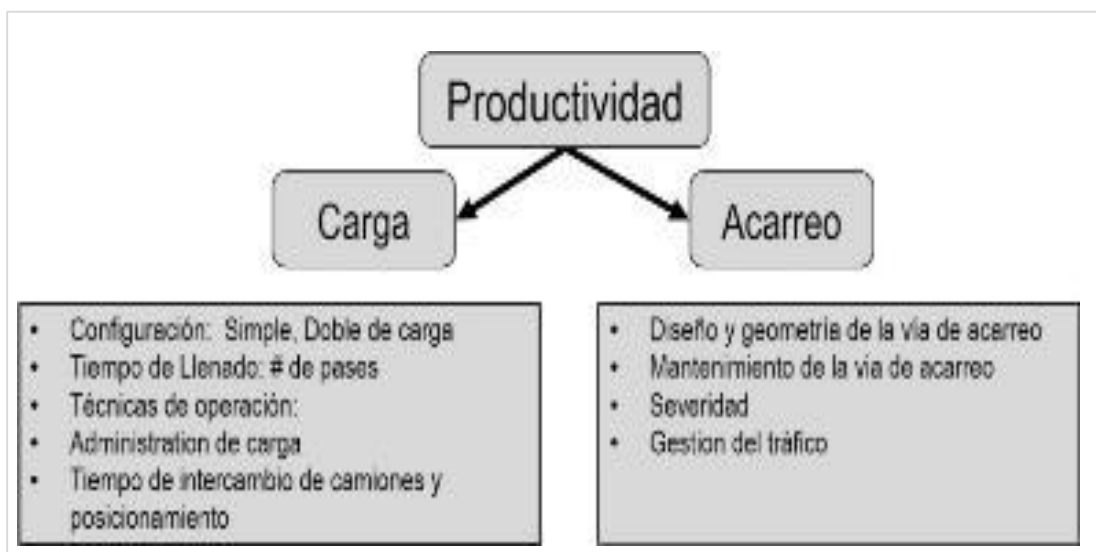
### 2.13.1 Productividad del equipo de acarreo

John Hoffman de CAT mencionó en su ensayo titulado "Mejores prácticas y mejora continua", que se publicó en 2011, que existen dos áreas distintas que tienen el potencial de mejorarse para aumentar la productividad de los camiones de transporte. Si observamos la figura 23, resulta muy evidente que el enfoque principal de esta investigación está en el proceso de transporte y, más específicamente, en mejorar el diseño y la geometría del camino de transporte.

Es necesario hacer uso del Sistema de medición de carga útil de camiones (TPMS) para recopilar datos sobre la cantidad de producción de mineral que transporta la flota de camiones. En el Boletín Técnico CAT RENR8284-07, al que se puede acceder en línea, se señala que el Sistema de Medición de Carga Útil de Camiones (TPMS) es un componente del Sistema de Gestión de Información Vital (VIMS). Esta información se puede encontrar en el Boletín Técnico CAT. Además de realizar funciones como las que se enumeran a continuación, el sistema de monitoreo de presión de neumáticos (TPMS) es responsable de realizar cálculos sobre los datos asociados con el ciclo de carga útil, almacenar la información asociada con el ciclo de carga útil y mostrar los diversos elementos del ciclo de carga útil. Otra característica del TPMS que lo distingue de otros sistemas es el hecho de que tiene documentación de datos para cada ciclo de carga. Es posible lograr una precisión de  $\pm 0,5\%$  en sus mediciones. El software FPC también simulará la carga que se transportará en el caso de que la carga se transporte en camión por la ruta de transporte mejorada. Esto se hará con el fin de garantizar que la carga se transporte correctamente.

**Figura 23**

*Incremento de la Productividad en el Camión de acarreo CAT*



*Nota.* CAT John Hoffman, 2011, pag 13.

### 2.13.2 Costos de posesión del equipo de acarreo

Según el Manual de Rendimiento CAT (2015), para lograr el máximo grado posible de eficiencia, los propietarios de máquinas deben encontrar una forma de lograr un equilibrio entre la cantidad de producto que producen y la cantidad de dinero que gastan. Además, para proteger la inversión en el aparato y facilitar su reemplazo, el usuario debe recuperar, a lo largo de la vida útil de la máquina, una suma comparable a la depreciación en el momento de la reventa, además de los gastos adicionales relacionados con la propiedad. Esto se hace con el fin de maximizar la probabilidad de que el usuario pueda reemplazar el aparato. En el proceso de realización de un análisis de gastos, es de suma importancia tener en cuenta lo siguiente: los costos de entrega, el valor que queda después del reemplazo, el valor que se puede recuperar a través de mano de obra, intereses, seguros e impuestos. Consulte el Anexo 04 para obtener más información para estudiar las ecuaciones para cada parámetro. Con la ayuda del programa FPC, cálculos como este se realizarán de una manera más rápida y sencilla.

### **2.13.3 Costos de operación del equipo de acarreo**

El consumo de combustible, el mantenimiento programado (mp), los aceites lubricantes, los filtros, las grasas, la mano de obra, las llantas, los costos de reparación, los componentes de desgaste específicos y los pagos de compensación al operador están todos contemplados en el Manual de Desempeño CAT (2015). Además, el manual establece que se incluyen los siguientes gastos. Consulte el Anexo 04 para obtener más información con el fin de estudiar las ecuaciones para cada parámetro.

Se debe tener en cuenta que el sistema VIMS monitoreará la cantidad de combustible que utiliza cada vehículo en galones por hora. El número total de revoluciones del motor y la cantidad total de combustible consumido son dos de las características que se registran mediante este sistema. Este sistema también captura otros datos importantes. El software FPC se encargará de simular la cantidad de combustible que utiliza el camión mientras recorre la ruta más económica para el transporte. Esta será la tarea del programa.

### **2.13.4 Costo horario del equipo de acarreo**

En conclusión, el costo por hora del camión de transporte se determina sumando los costos asociados con la propiedad del vehículo, así como los costos asociados con la operación del vehículo.

## **2.14 Normas de seguridad en la vía de acarreo**

Es fundamental que se incorporen precauciones de seguridad específicas en la construcción de caminos de transporte para evitar las posibles consecuencias que podrían surgir como resultado de que se haya retirado una pieza de equipo. Esto se debe a que existe la posibilidad de que los frenos y retardadores fallen en rutas de transporte con pendientes elevadas. La razón de esto se da en la oración anterior.

Algunos ejemplos incluyen medianas o bermas para evitar colisiones, rutas de escape,



señalización adecuada, caminos construidos para automóviles pequeños y una selección de marchas que sea segura y óptima. Otros ejemplos incluyen rutas de escape.

Se recomienda que la señalización se coloque en el camino de transporte a una altura y ubicación que le permita permanecer dentro de la línea de visión del equipo que tiene visión restringida. Esto se puede lograr colocando la señalización de tal manera que esté ubicada en el propio camino de transporte.

Las señales más habituales en la minería son los límites de velocidad, las señales de stop, las señales de advertencia en cruces y curvas, las señales de alcantarillas, las señales de gestión del tráfico, las señales de acceso restringido y las indicaciones de acceso seguro. Existen muchos otros tipos de señales para la minería.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Descripción del problema

El objetivo principal de esta investigación es aumentar la eficiencia de una flota de camiones mineros y, al mismo tiempo, reducir los costos asociados con su operación y mantenimiento. La ruta de transporte esencial en este sitio minero es el enfoque principal de esta investigación. En la literatura se muestra el gráfico correspondiente al proyecto, que se puede ver en la siguiente imagen.

Un diseño adecuado de la vía de acarreo y su optimización beneficiaran a los camiones de acarreo en:

- Reducir sus tiempos de ciclo
- Reducir el consumo de combustible
- Reducir el desgaste de los componentes

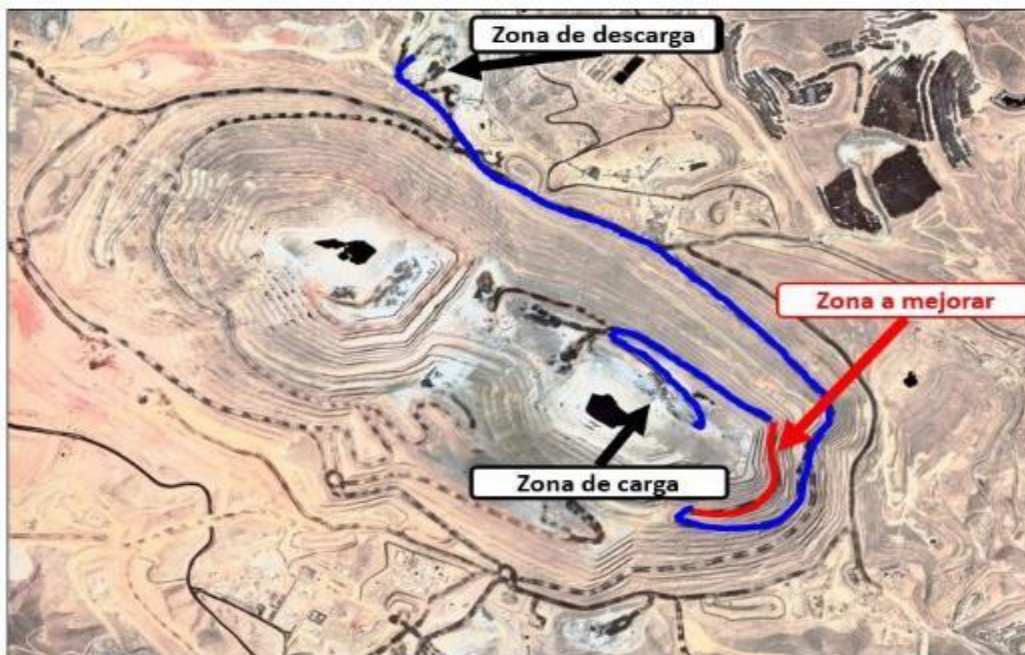
#### 3.2 Análisis del diseño actual de la vía de acarreo

La ruta de transporte que se está utilizando actualmente se encuentra a una altura de 2.600 metros sobre el nivel del mar y tiene una superficie compuesta de grava en lugar de asfalto pavimentado. La construcción de esta estructura se llevó a cabo utilizando suelo

arcilloso y ha estado en funcionamiento durante un período de cuatro años. A continuación, se muestra una ilustración de la carretera principal en su configuración actual para su lectura. Una representación de la ubicación del objeto que se realizó con la ayuda de la aplicación Google Earth se puede ver en la Figura 24.

**Figura 24**

*Vía principal de acarreo de la mina a cielo abierto.*

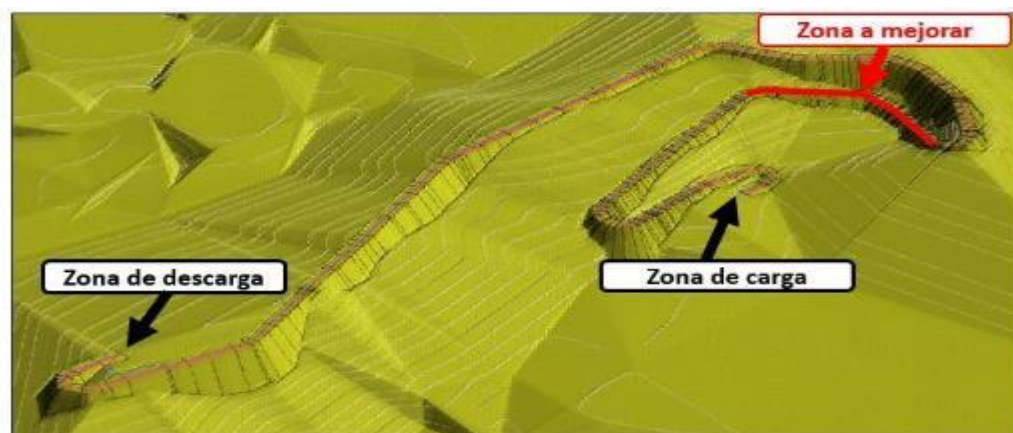


*Nota.* Google earth

La herramienta Road Eng se utilizó para simular el diseño de la vía de transporte de mercancías, y la Figura 25 muestra una ilustración del diseño capturado por la herramienta. Se pueden ver las zonas de carga de camiones, que son los lugares donde se ubica el equipo de carga (en particular, el cargador frontal CAT 993K), así como las secciones de descarga de camiones, que son los lugares donde se ubica la trituradora primaria. No solo eso, sino que también se ven claramente los lugares que están específicamente destinados para la carga de camiones.

**Figura 25**

*Diseño de la vía de acarreo de la mina a cielo abierto*

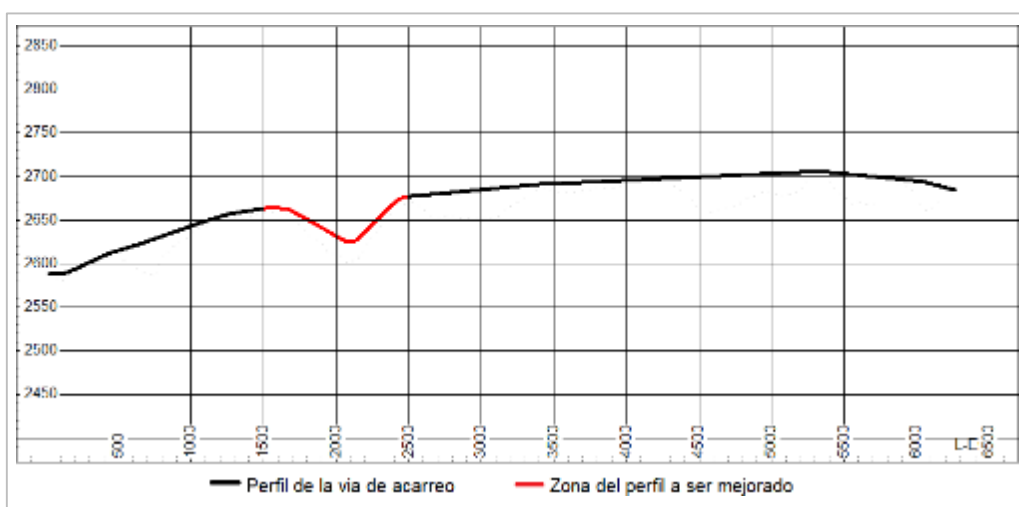


*Nota.* Elaboración propia a través del Software Road Eng

La Figura 26 muestra el perfil de la ruta de transporte, con especial atención a la ubicación que se seleccionó para el cambio. Esta ubicación, que se encuentra a una altura que varía de 1604 metros a 2425 metros, se distingue por la pendiente pronunciada que se puede notar a lo largo del camino. Esta es una característica que la distingue de otras regiones.

**Figura 26**

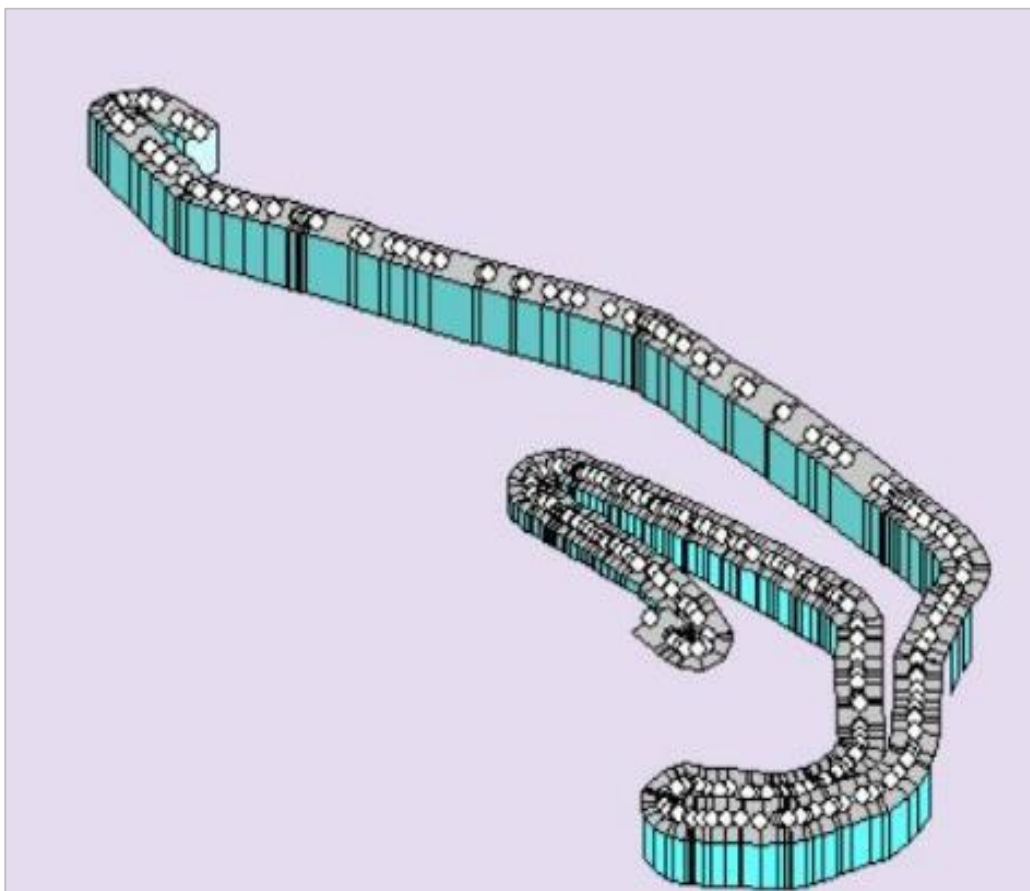
*Perfil principal de la vía de acarreo de la mina a cielo abierto, zona a mejorar.*



*Nota.* Elaboración propia a través del Software Road Eng.

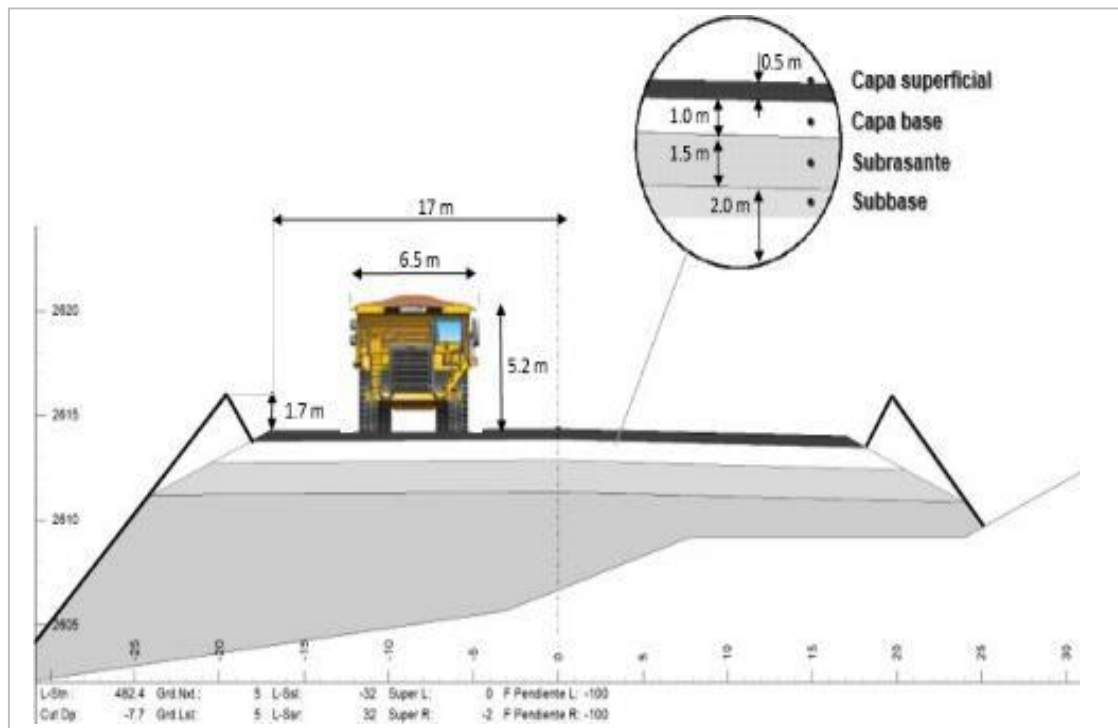
**Figura 27**

*Diseño de la vía de acarreo de la mina a cielo abierto.*



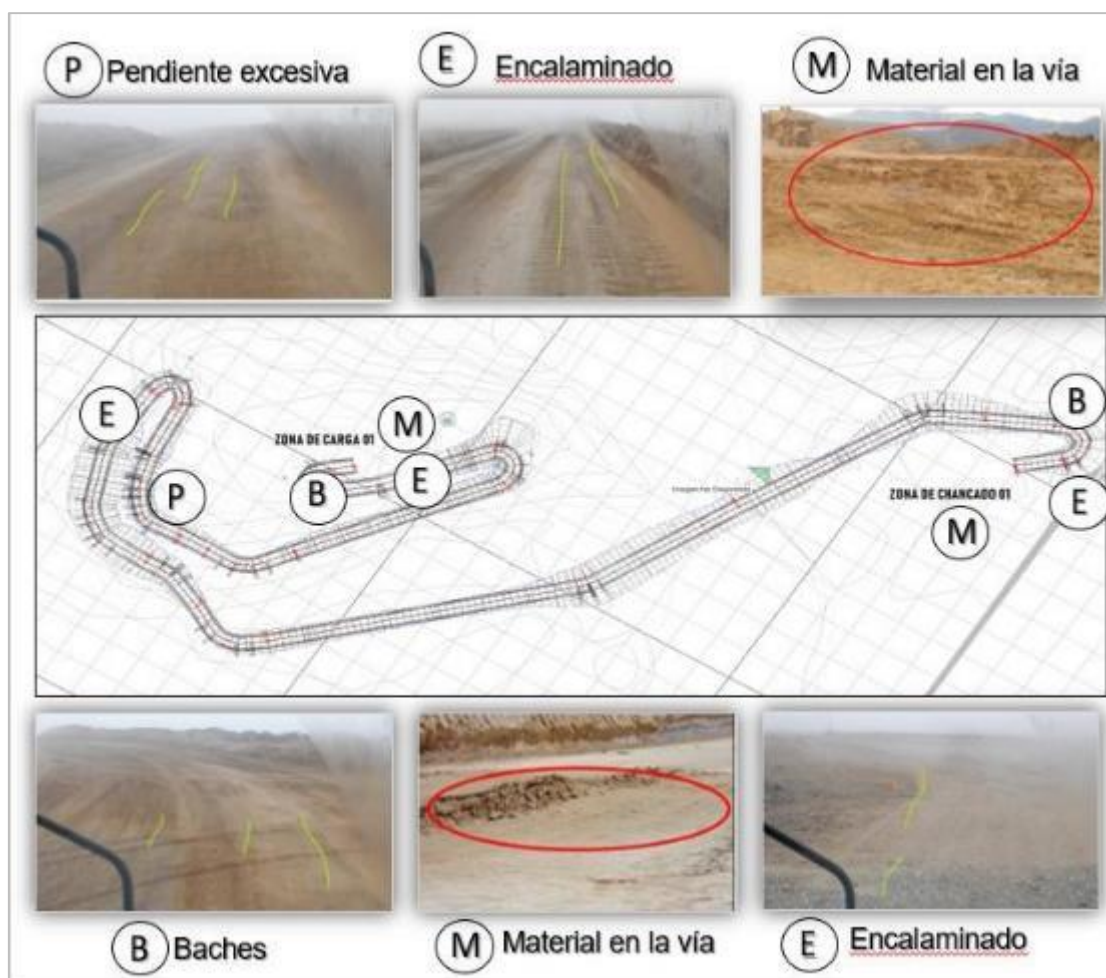
Nota. Elaboración propia través del Software Fleet Production & Cost Analysis (FPC).

La sección transversal de la vía de transporte, que se muestra en la figura 3.5, demuestra que las dimensiones actuales están de acuerdo con las regulaciones que controlan el ancho de la carretera con respecto a los tramos rectos y las curvas. El camión CAT 777F, con un ancho de 6,5 metros, puede cumplir con los requisitos necesarios para la circulación. Según la normativa, el ancho de la vía no debe ser inferior a 22,75 metros y, en caso de tener curvas, debe ser de al menos 26 metros. Esta restricción se aplica tanto a vías rectas como curvas. Para obtener más información, consulte la Tabla 2. Con un ancho de 34 metros, la vía de transporte que ya está en funcionamiento en la mina cumple con este criterio y permite facilitar el transporte de equipos de transporte de mayor tamaño.

**Figura 28***Diseño de la sección transversal de la vía de acarreo*

*Nota.* Elaboración propia a través del software FPC

La vía en los tramos 01 (Zona de carga) y 12 (Zona de descarga) se encuentra en mal estado debido a la presencia de lodos y baches. Esto se debe a las malas condiciones de la vía. Debido a esto, los conductores de camiones que operan sus vehículos en ciertas regiones se ven obligados a ajustar la configuración de las marchas de sus vehículos y reducir la velocidad a la que viajan. Por ello, se requiere que aumenten la velocidad de los vehículos, lo que a la larga conlleva un aumento en la cantidad de combustible que se utiliza. A continuación, hablaremos de los problemas posteriores que se asocian con la ruta de transporte que se utiliza actualmente. Dentro del quinto sector, se ha identificado una pendiente que es mayor al diecisiete por ciento. Se recomienda que la pendiente sea del 10%, como lo afirman Tannant y Regensburg (2001, pág. 04). La firma que se encarga de la fabricación de automóviles, CAT, es quien hizo esta sugerencia.

**Figura 29***Defectos de la vía de acarreo*

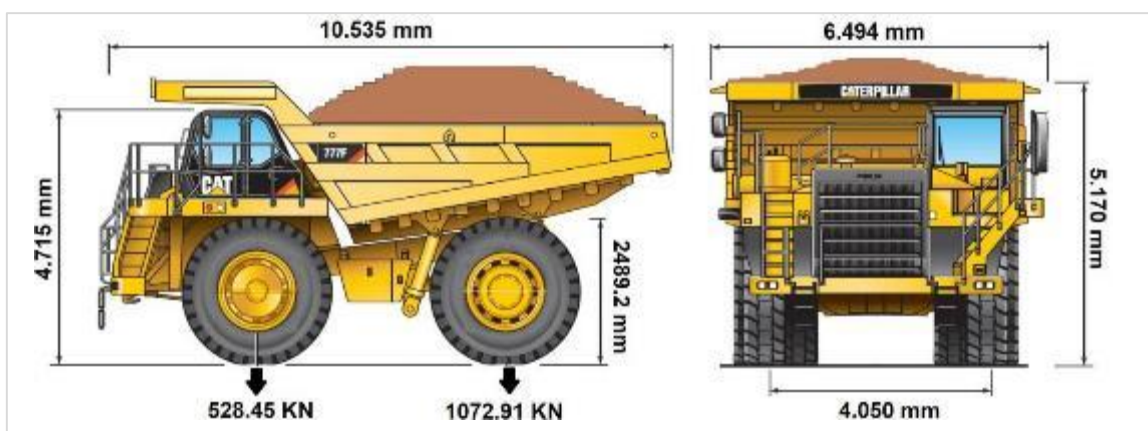
Nota. Elaboración propia en base a la información de la vía actual a través del software Road Eng.

### 3.3 Características de la flota de camiones de acarreo

Para ponerlo en perspectiva, cada uno de los doce camiones de transporte que están ahora en la carretera tiene un peso bruto de 163.293 kg. Cada vehículo tiene una distribución del peso del 33 por ciento, lo que equivale a 53.886 kilogramos, y del 67 por ciento, lo que equivale a 109.406 kilogramos. Esta es la distribución del peso del eje delantero. El eje delantero del vehículo cargado, que tiene una capacidad nominal de 91 toneladas, está sometido a una fuerza de 528,45 kilonewtons (kN), mientras que el eje trasero está sometido a una fuerza de 1071,91 kilonewtons (kN) durante la duración de la ruta de transporte.

**Figura 30**

*Medidas y fuerza ejercida en el suelo por el camión de acarreo CAT 777F*



*Nota.* Folleto de Camión 77F CAT N° ASHQ5749-01

La información detallada sobre las características del equipo de carga se proporciona en la tabla que se puede ver a continuación. En base a los hallazgos de nuestro estudio, se ha seleccionado el cargador frontal CAT 993K como objeto de nuestro análisis. Esta información se obtuvo de la base de datos del software FPC.

Los datos recopilados nos permiten acceder a la base de datos del software FPC, donde podemos obtener detalles sobre el equipo de carga, en este caso una pala cargadora CAT 993K.

La fuerza de tracción que ejerce el vehículo CAT 777F se ve en la Figura 31 y se expresa en unidades métricas de kilogramos. El camión puede arrastrar un máximo de aproximadamente 60.000 kg de mercancías en cualquier momento. El vehículo es capaz de alcanzar una velocidad máxima de 65 kilómetros por hora y genera una fuerza de tracción de alrededor de 5.000 kg cuando está en séptima marcha. Además, el vehículo es lo suficientemente rápido como para alcanzar su velocidad máxima.

**Figura 31**

*Fuerza de tracción del camión CAT 777F*

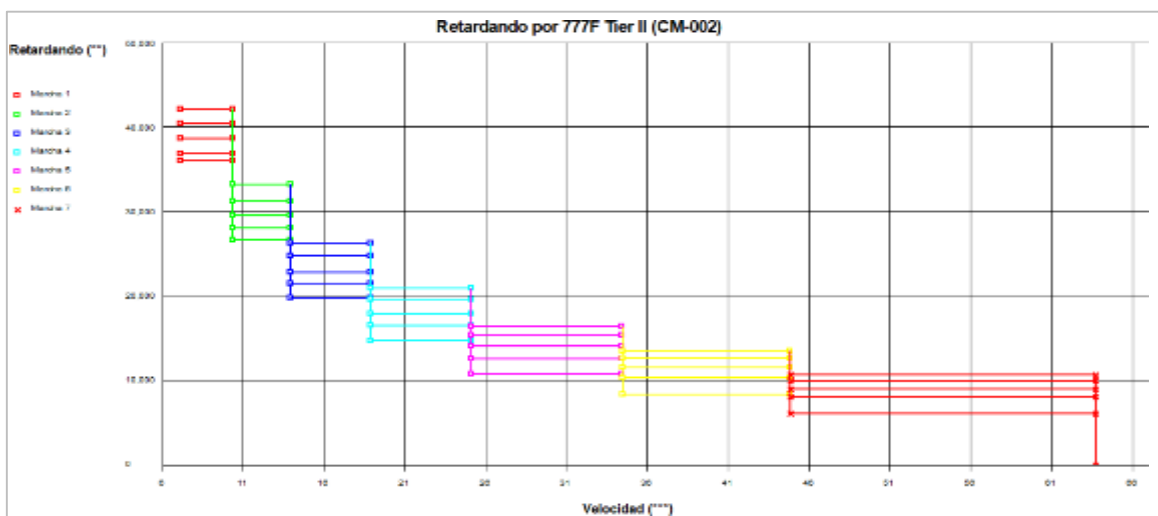


*Nota.* Elaboración propia en base al software FPC.

El camión CAT 777F es capaz de crear una fuerza de retardo máxima de 40.000 kilogramos a su velocidad máxima mientras se desplaza a velocidades que van desde menos de 11 kilómetros por hora hasta más de 11 kilómetros por hora. Consulte la figura 32 para obtener más información.

**Figura 32**

*Retardo del camión CAT 777F*



*Nota.* Elaboración propia en base al software FPC.

### 3.4 Indicadores del desempeño de los camiones en la vía de acarreo

La herramienta de análisis de productividad y costos de la flota, a menudo conocida como (FPC), se carga con los indicadores de rendimiento de la flota para camiones de transporte una vez que se han obtenido del sistema de gestión vital de camiones (VIMS). Estos indicadores se colocan luego en la herramienta. En los próximos párrafos se analizarán en mayor profundidad los detalles de este plan:

#### 3.4.1 *Distancia recorrida en el ciclo de acarreo*

Para calcular la distancia media del ciclo de transporte, se suman las longitudes totales de los viajes, que incluyen las distancias con carga y sin carga, y luego se dividen por el recuento de carga real transportado durante el período de tiempo especificado. Este proceso se repite hasta obtener el resultado promedio. Por el momento, se prevé que la vía tenga una longitud de 6.244 metros.

#### 3.4.2 *Velocidad en ciclo de acarreo*

El sistema VIMS se utilizó para determinar la velocidad media actual del ciclo de transporte del camión, que se encontró en 32 kilómetros por hora. Esta velocidad se adquirió mediante la utilización del sistema. Se determinó que los automóviles descargados regresaron a una velocidad media de 49,74 kilómetros por hora mientras viajaban a la mayor velocidad observada. Esta fue la velocidad que se registró como la más rápida.

#### 3.4.3 *Tiempos de ciclo de acarreo*

Michelin, el fabricante del vehículo CAT 777F, ha dicho que el neumático todoterreno, que también se conoce como neumáticos OTR (neumáticos Off the Road), es un 27.00R49 (E4) y tiene un TKPH (toneladas por kilómetro por hora) especificado de 400. Esta información se proporcionó en el momento de la producción del vehículo. Cuando la máquina está funcionando a su velocidad máxima, la relación entre el peso y el límite de velocidad de



los neumáticos traseros es de 3425,3 TKPH. Este es el momento en el que la máquina está trabajando a su velocidad máxima. El umbral que se activa es este valor en particular. Este folleto técnico presenta el camión de construcción CAT 777F, que se puede identificar por su número de identificación, ASHQ5749-01. Se incluye una presentación de este camión en el folleto. Según el software FPC, el tiempo actual del ciclo de transporte es de veintiséis minutos y la duración total del ciclo es de cuarenta y nueve y cincuenta y cuatro minutos. Estos datos se obtuvieron del software que se estaba analizando. Además, teniendo en cuenta que la capacidad de carga del vehículo es de 86,17 toneladas, como se muestra en la tabla 11, la carga que se coloca sobre los neumáticos es mayor que la capacidad de TKPH que se les asignó; por lo tanto, el software recomienda que los neumáticos se enfríen durante unos diez minutos debido a esto.

Una explicación de los criterios que determinan el tiempo del ciclo de carga para el CAT 993K para cada ciclo. Además, también se incluye en esta tabla el equipo que se utiliza para cada ciclo.

#### **3.4.4 Producción de los camiones**

Toda la información que se utilizó en el proceso de construcción del ciclo de transporte se originó a partir del Sistema de Gestión de Carga Útil del Camión (TPMS) o de los informes VIMS-TPMS.

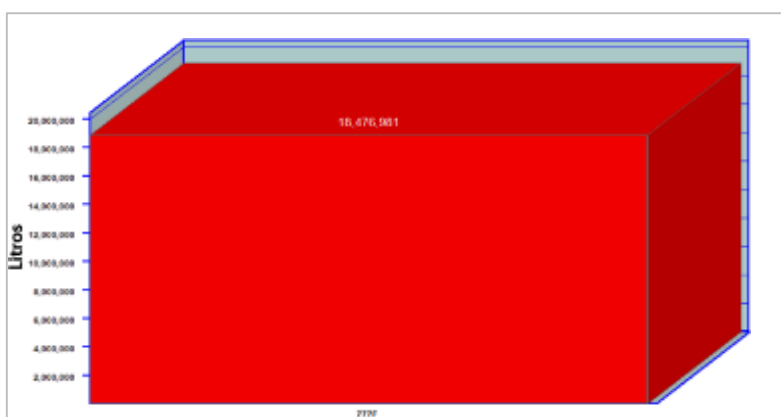
#### **3.4.5 Consumo de combustible**

En este momento, se prevé que los camiones utilizarían 53,68 litros de combustible durante cada ciclo, lo que equivale a 14,18 galones. Por cada hora del programa, hay un consumo de 1.031,60 litros, lo que equivale a 272,5 galones. Además, el consumo anual de combustible del vehículo es de 5.157.998 litros, lo que equivale a 1.362.598,9 galones. Por favor, eche un vistazo a las tablas 3.9 y 3.10, gracias. Para completar el proyecto de transporte, cuyo valor se estima en 30 millones de toneladas (consulte la figura 3.10), se prevé que la

flota utilice 18.476.981 litros de gasolina, lo que equivale a 4.881.101,9 galones. Además, se prevé que el proyecto de transporte se complete. para obtener más información. Después de tomar en consideración el hecho de que cada galón de combustible diésel emite 2,65 kilos de monóxido de carbono a la atmósfera, se puede concluir que el proyecto finalmente resultará en la emisión de 129 toneladas de monóxido de carbono a la atmósfera

**Figura 33**

*Consumo de combustible anual de la flota*

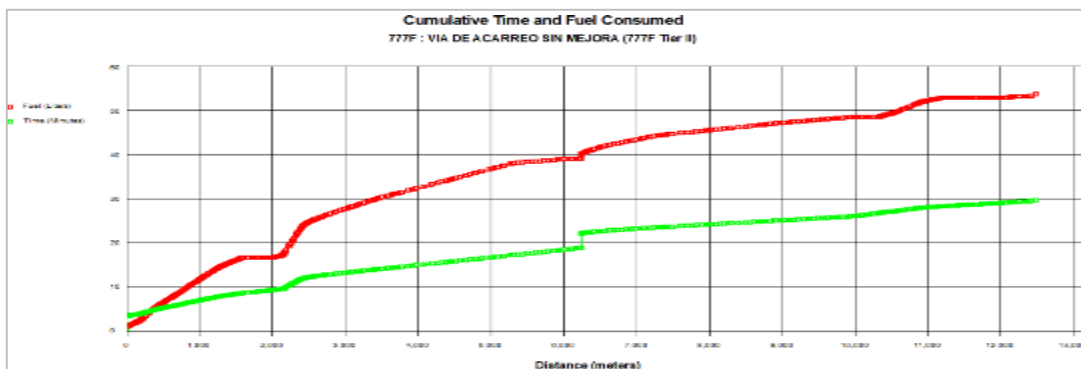


*Nota.* Elaboración en base al FPC propia software

El gráfico que sigue es una ilustración de la relación entre la cantidad de combustible que consume un camión y la distancia que recorre a lo largo de la ruta de transporte actual.

**Figura 34**

*Diagrama del acero*



*Nota.* Elaboración propia en base al software FPC

### 3.4.6 Resistencia a la rodadura en la vía de acarreo

La resistencia a la rodadura está estimada en 2.5%.

### 3.4.7 Efectos del estado de la vía en los camiones (RAC)

Los siguientes datos se han recopilado con el fin de reducir los gastos de transporte mediante el Control de Análisis de Carreteras (RAC), una herramienta de gestión de carreteras de transporte de CAT que informa al operador sobre las condiciones de las carreteras, clasifica la gravedad de estas condiciones y permite a la dirección de la mina tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento de las carreteras de transporte. El objetivo de recopilar estos datos es reducir los gastos de transporte en general.

#### 3.4.7.1 Desviación transversal de la carga sobre el camión (Pitch)

$$PICH = (LF + RF) - (LR + RR)$$

El vehículo está siendo expuesto a un estrés que es mayor que el límite de gestión, como lo demuestra la presencia de picos de 1500 psi en la zona de alerta amarilla. Alternativamente, la variación transversal promedio (inclinación) de la carga del camión mientras viaja por la carretera es de -105 libras por pulgada cuadrada. Este punto en particular se muestra en el gráfico que se puede encontrar en la sección 1, que se encuentra al comienzo del viaje. Ver figura 34.

#### 3.4.7.2 Esfuerzo torsional sobre el camión (Rack)

$$RACK = (LF + RR) - (RF + LR)$$

Como se puede observar en la figura 3.6 del apartado 1, el esfuerzo torsional promedio (Rack) que soporta un vehículo mientras se desplaza por la carretera es de -41 libras por pulgada cuadrada. Este dato se hace evidente cuando el camión está en movimiento. El vehículo está experimentando niveles de esfuerzo superiores al límite de gestión, con picos que superan las 1600 libras por pulgada cuadrada, y mientras se encuentra dentro de la zona

de alerta amarilla, el vehículo está experimentando niveles de esfuerzo. Ver figura 34

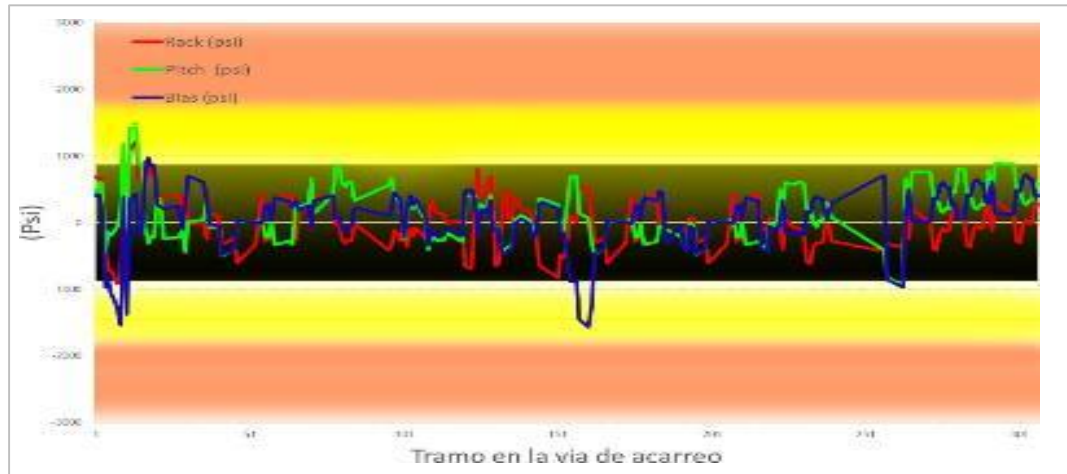
### 3.4.7.3 Desviación longitudinal de la carga en el camión (Bias)

$$\text{BIAS} = (\text{LF} + \text{LR}) - (\text{RF} + \text{RR})$$

La carga del camión que ahora circula por la carretera tiene un sesgo de sesenta y cinco libras por pulgada cuadrada. En términos de la desviación longitudinal promedio, este sesgo es indicativo del promedio. La Figura 35 demuestra que el vehículo está expuesto a niveles de estrés que son mayores que el límite de gestión. La zona de advertencia amarilla indica un máximo de 1600 libras por pulgada cuadrada de estrés, que es un nivel más alto que el límite de gestión. Específicamente, la imagen indica que esto es relevante para las secciones 1 y 4, respectivamente. Ver figura 34.

### Figura 35

*Grabación de datos de un camión en la vía de acarreo actual Parámetros: Rack, Pitch, Bias*



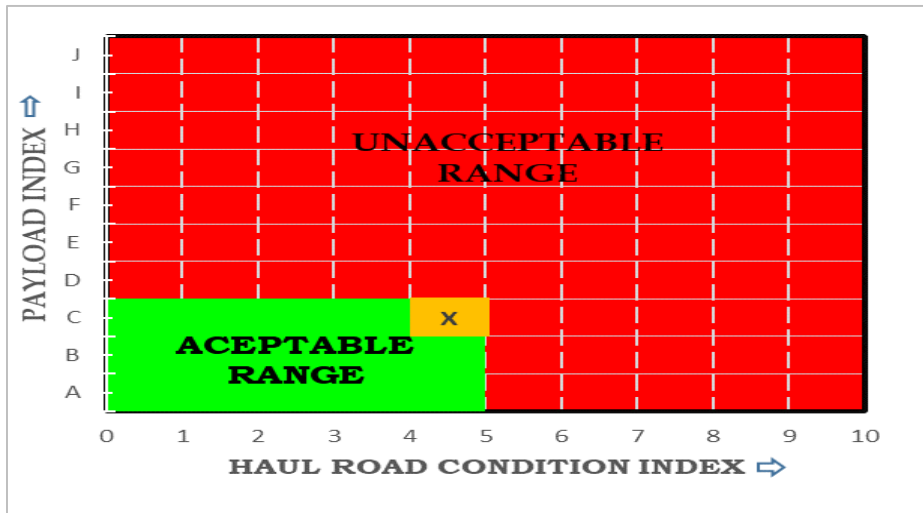
Nota. software FPC

### 3.4.8 Índice de severidad de la vía de acarreo (MSI)

El índice de la carretera de transporte (HRC) ahora está en el nivel de condición 5, lo que significa que la severidad de la carretera está dentro de un nivel que se considera aceptable. Este es el estado actual de la carretera. Ver la figura 36.

**Figura 36**

*Mapa de clasificación del índice de severidad de la vía de acarreo (MSI)*

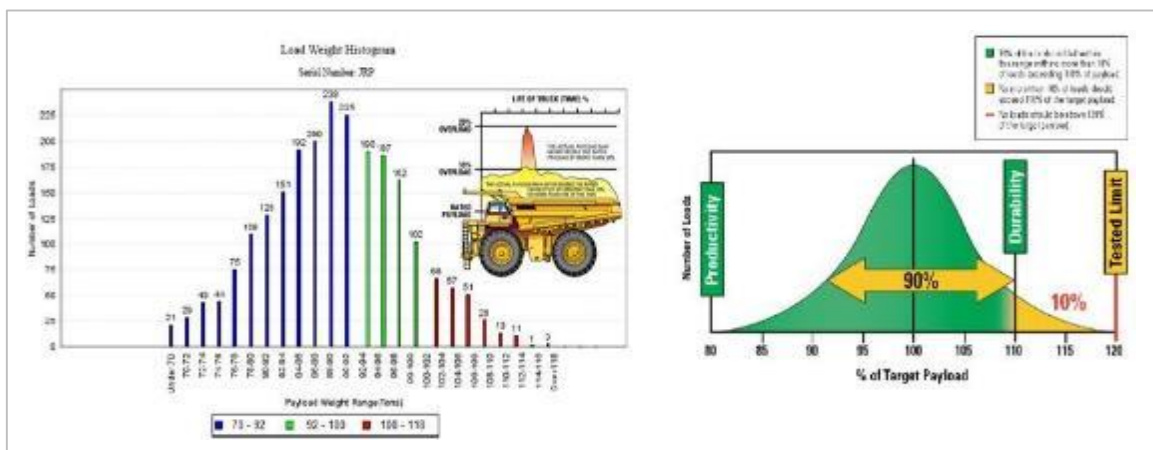


Nota. software FPC

En su ubicación actual + Condición B, el índice de distribución de la carga útil (PLD) indica que el 95 % de las cargas son inferiores al 110 % de la carga útil nominal y que ninguna carga supera el 120 % de la carga teórica. Esto indica que el PLD funciona correctamente en este momento. El camión CAT ha alcanzado el límite de peso y el fabricante del vehículo lo ha reconocido. El escenario se muestra gráficamente en la figura 37, que muestra la distribución de las cargas en la flota de vehículos.

**Figura 37**

*Distribución de la carga de un camión, con regla de pesaje*



Nota. Elaboración software VIMS

## 3.5 Análisis de los costos de la flota de acarreo en la vía de acarreo

### 3.5.1 Costo horario de la flota de acarreo

El vehículo CAT 777F se ha puesto en funcionamiento formalmente con una tarifa por hora de USD 137,04, que se estableció como parte del programa FPC y se ha ejecutado oficialmente. La forma en que se lleva a cabo la gestión de los gastos vinculados con la propiedad y el mantenimiento del vehículo se muestra con estos dos números, que son 37 y 38.

**Figura 38**

*Costo de posesión del camión CAT 777F*

Costos de renta		Costos de operación	
<b>Perfil de utilización</b>			
Período de propiedad:	5 Años	<b>Costos anuales</b>	
Utilización programada:	5,000.0 Horas por año	Interés:	100,000
Disponibilidad:	91.00 %	Seguro:	50,000
Utilización actual:	4,550.0 Horas por año	Impuesto a la propiedad:	10,000
<b>Costo total de vehículo</b>		<b>Costos por hora calculados</b>	
Precio entregado (Incluye adjuntas):	1,200,000	Precio de:	52.18 \$
Menos costo por reemplazo de neumático si se desea:	13,000	Interés:	21.90 \$
Menos valor de residuo al reemplazo:		Seguro:	10.99 \$
Valor a ser recuperado a través de trabajo:	1,187,000	Impuesto a la propiedad:	2.26 \$
		Costo total de renta:	87.34 \$

Nota. Elaboración software FPC

**Figura 39**

*Costo de operación del camión CAT 777F*

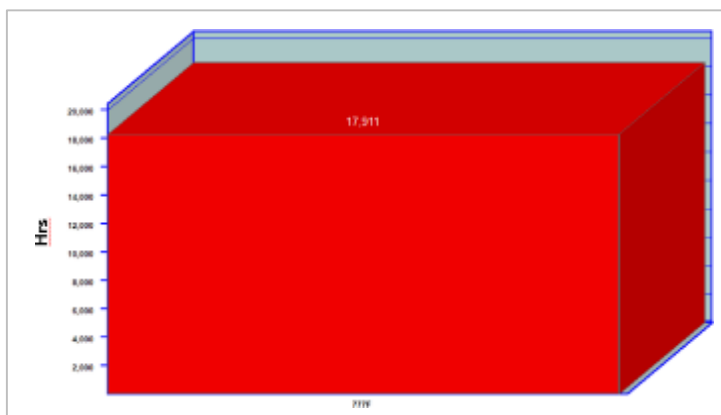


*Nota.* Elaboración software FPC

La Figura 39 ilustra el número total de horas que se prevé que produzca la flota de transporte. Se prevé que la flota de transporte cree un total de 17.911 horas.

**Figura 40**

*Horas programadas para producción*



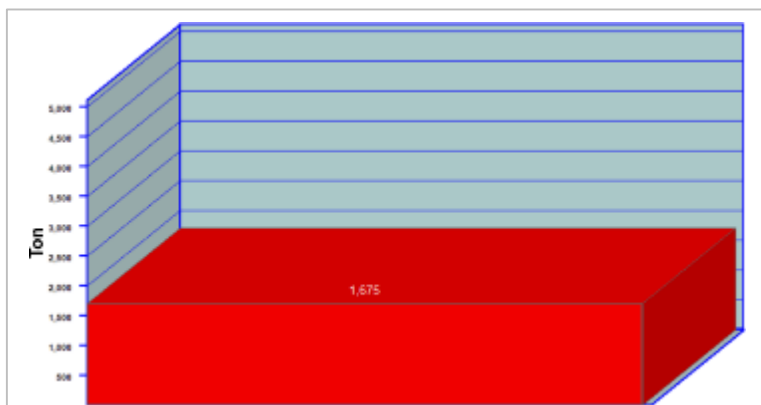
*Nota.* Elaboración propia en base al software FPC

La evaluación se llevó a cabo con la ayuda del software FPC y los resultados indican que la flota genera actualmente 1.675 toneladas por cada hora que se programó para ser

producida. Es posible encontrar esta información que se muestra en la Figura 41, que se puede encontrar en la página siguiente.

**Figura 41**

*Toneladas producidas por horas programadas*

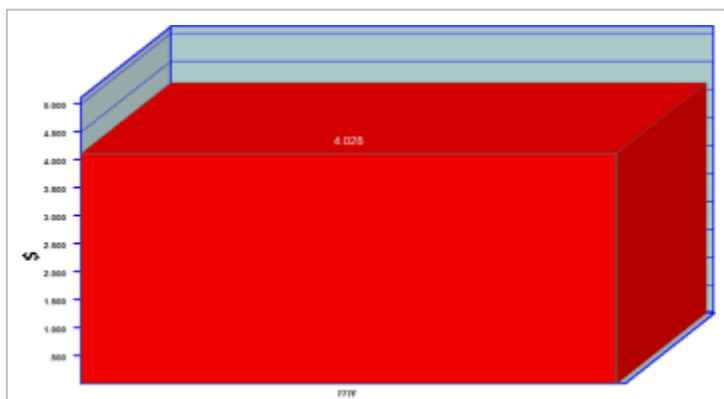


Nota. Elaboración propia en base al software FPC

Como se puede ver en la Figura 42, que se puede ver a continuación, los gastos relacionados con el transporte de mil toneladas de carga utilizando doce camiones 777F se desglosan en sus componentes. En total, el costo de esta terapia asciende a un total de cuatro mil veintiocho dólares.

**Figura 42**

*Costo operativo por mil toneladas acarreadas*



Nota. Elaboración propia en base al software FPC

### 3.5.2 Costo horario de la flota de carguío

Se ha determinado mediante el software FPC que el cargador CAT 993K tiene un costo por hora de 181,91 dólares estadounidenses. La revelación de esta información se hizo pública. Según los datos que se muestran en las figuras 43 y 44, el procesamiento de los gastos asociados con la propiedad y el mantenimiento del cargador también incluye lo siguiente.

**Figura 43**

*Costo de la flota de operación del cargador 993K*

Costos de renta		Costos de operación	
Perfil de utilización:		Costos anuales:	
Período de propiedad:	5 Años	Interés:	180,000
Utilización programada:	6,000.0 Horas por año	Seguro:	70,000
Disponibilidad:	91.00 %	Impuesto a la propiedad:	15,000
Utilización actual:	5,460.0 Horas por año		
Costo total de vehículo:		Costos por hora calculados:	
Precio entregado (incluye ajustes):	1,800,000	Precio de:	65.13 \$
Menos costo por reemplazo de neumático si se desea:	22,000	Interés:	32.97 \$
Menos valor de residuo en reemplazo:	0	Seguro:	12.82 \$
Valor a ser recuperado a través de trabajo:	1,778,000	Impuesto a la propiedad:	2.75 \$
		Costo total de renta:	113.66 \$

*Nota.* Elaboración propia en base al software FPC

**Figura 44**

*Costo de la flota de operación del cargador 993K*

Costos de renta				Costos de operación			
Componente	Total \$	Valor (horas)	Por hora \$	Artículo de vestimenta especial			
Multa	150,000.00	15,000.00	9.375				
Tranmisión	90,000.00	15,000.00	5.625				
Mandos lineales	100,000.00	15,000.00	9.250				
Hidráulicas	65,000.00	15,000.00	4.063				
Grasa	15,000.00	15,000.00	0.938				
Filtros	40,000.00	15,000.00	2.500				

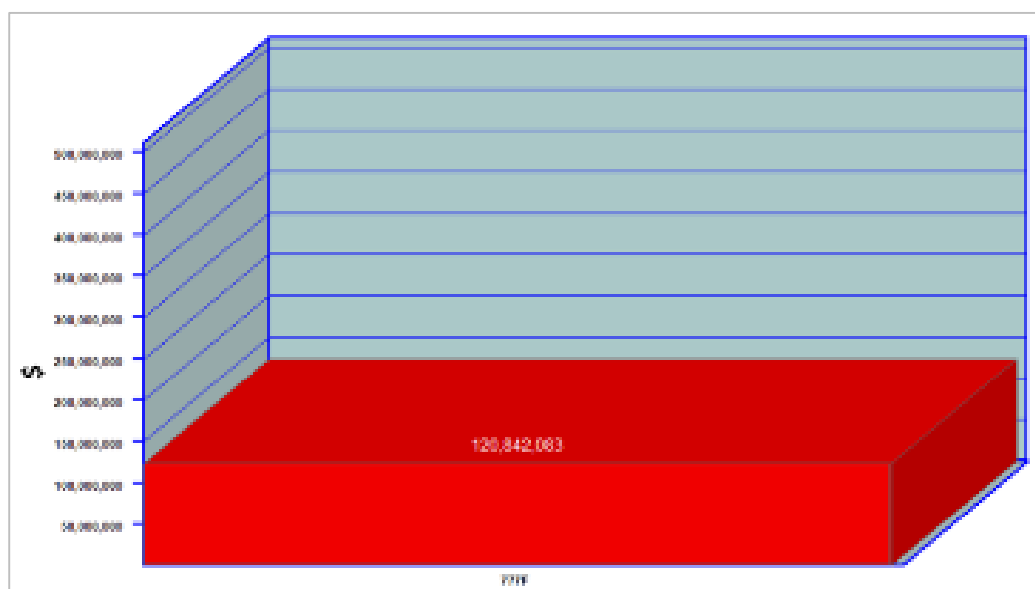
Costos de operación por hora en \$		Resumen de costos	
Operador	5.00	Costo de operación por hora	86.25
Combustible	4.50	Costo de renta por hora	113.66
Lubricante, Aceites, Grasa	28.75	Costo total por hora	181.91
Neumáticos	5.00		
Chasis	5.00		
Reserva por reparación	20.00		
La energía eléctrica externa			
Artículo de vestimenta especial			

*Nota.* Elaboración propia en base al software FPC

Los Datos ofrecen una descripción general de los gastos generales relacionados con el mantenimiento de las flotas de transporte y carga que son necesarias para la finalización del proyecto que incluirá el transporte de treinta millones de toneladas de material durante un período de cuatro años y medio. Estos gastos son necesarios para la finalización del proyecto. Según los datos que se muestran en la figura 45, la cantidad total de dinero que se gastó en este proyecto es de 120.842.083 dólares estadounidenses. Los resultados se obtuvieron utilizando el programa FPC, que produjo los resultados deseados.

**Figura 45**

*Costo total de operación y posesión de la flota de carguío y acarreo*



Nota. Elaboración propia en base al software FPC



## CAPÍTULO IV

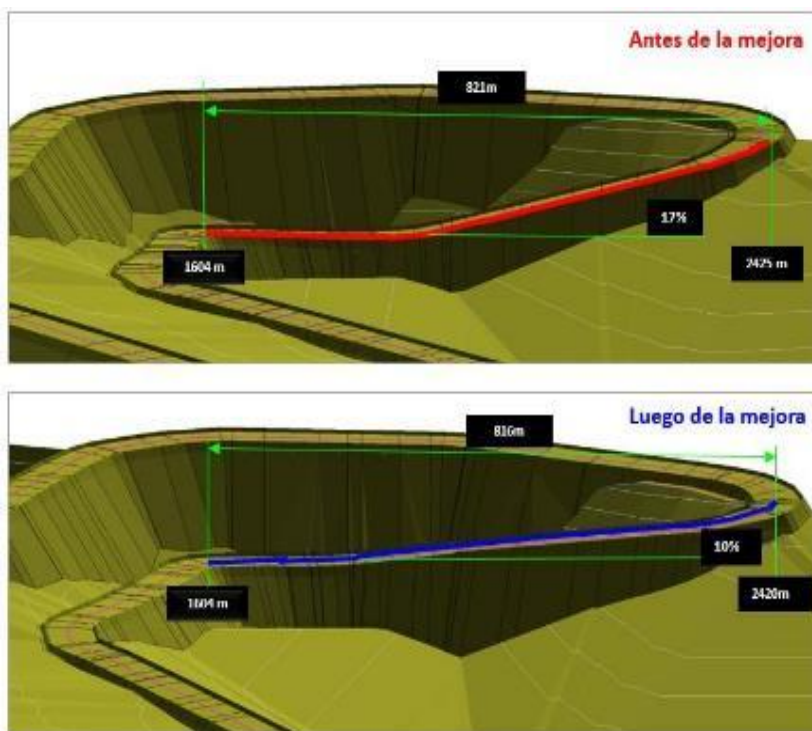
### PROPUESTA DE MEJORA

#### 4.1 Nuevo diseño para mejorar la actual vía de acarreo

Esta mejora incluirá la disminución de la pendiente de los tramos 4 y 5 de la vía, de 1604 metros a 2425 metros, lo que se traducirá en una disminución de la pendiente del 17% al 10%. La Figura 46 ilustra esta posible mejora. Se recomienda encarecidamente que examine el ANEXO para obtener información detallada sobre las características de la vía tanto antes como después de la mejora, así como el impacto que ha tenido en la eficiencia de los camiones.

**Figura 46**

*Tramo propuesto de la vía de acarreo para implementar la mejora.*

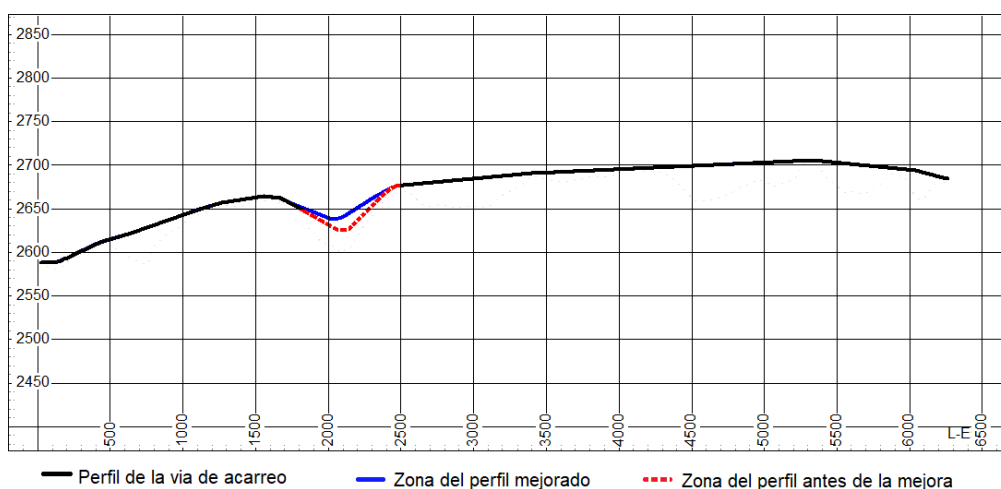


Nota. Elaboración software RoadEng

La Figura 47, que se puede ver a continuación, ilustra el perfil de la ruta de transporte que se ha determinado como adecuada para la ejecución de la mejora, (1604m a 2425m).

**Figura 47**

*Perfil de la vía de acarreo antes y después de la mejora. Software RoadEng*



Nota. Elaboración software RoadEng

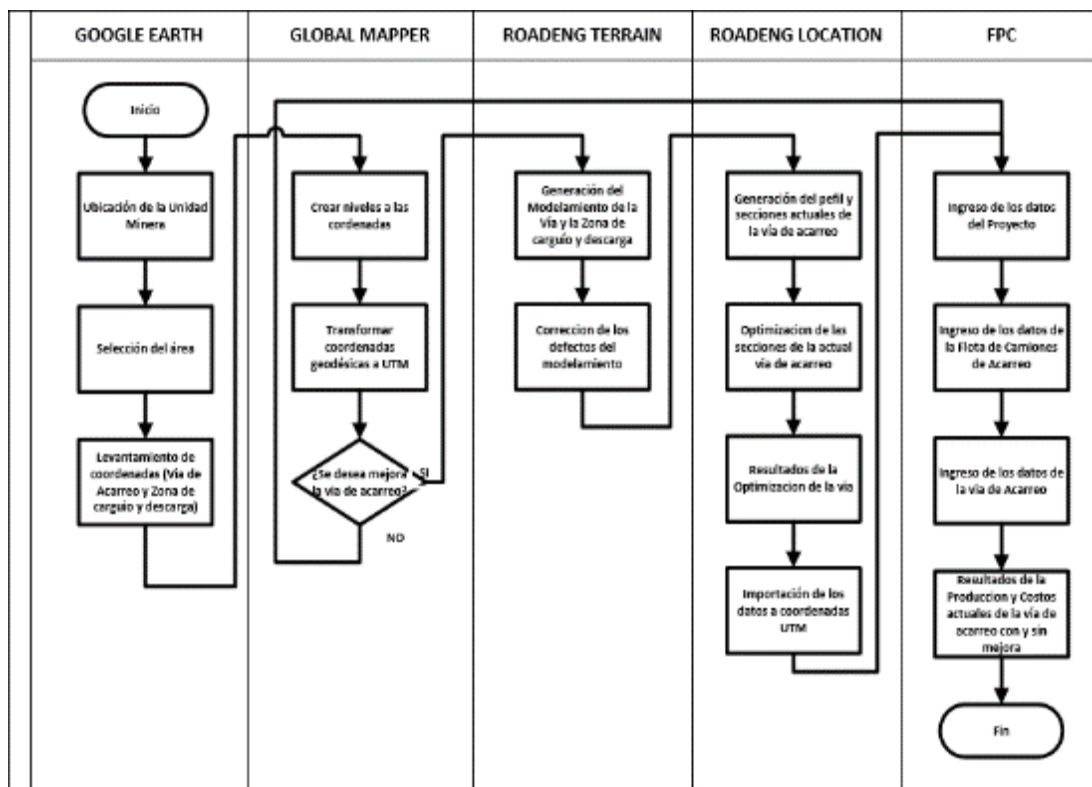
## 4.2 Proceso para efectuar las mejoras en la vía de acarreo

Podremos identificar áreas que no se ajusten a los requisitos de construcción y las recomendaciones ofrecidas por CAT para la circulación de camiones de transporte si mejoramos la vía de transporte que se desarrolló como consecuencia de este estudio. Esto nos permitirá mejorar la vía.

Hicimos uso de software como Google Earth, Global Mapper, Road ENG y CAT FPC para realizar esta tarea de la manera más eficiente posible. Un ejemplo de este método se muestra en la Figura 48, que ilustra el procedimiento de alterar una ruta de transporte mediante el uso de las aplicaciones que se mencionaron anteriormente.

**Figura 48**

*Proceso del modelamiento y análisis de la vía actual y la vía mejorada.*



### 4.3 Desempeño de los camiones en vía de acarreo mejorada

A continuación, se presentan los resultados del análisis de datos que se llevó a cabo para comparar el rendimiento de la flota actual de camiones de transporte que operan en la carretera actual con el de la ruta mejorada que se construyó con la ayuda del software FPC. El propósito de esta comparación fue determinar cuál de los dos sistemas funcionaría mejor.

#### 4.3.1 *Distancia recorrida*

El siguiente gráfico ilustra que la distancia total de la ruta de transporte no ha cambiado independientemente de si la mejora se realizó antes o después de que comenzara. Este es el caso de acuerdo con los datos que se muestran en la figura. Dado que la pendiente de la carretera reparada se ha reducido en siete metros, es posible que la brecha restante pueda atribuirse a esta transformación. Esta versión en particular es la única que se ha realizado. Para obtener más información, consulte la información de la literatura.

#### 4.3.2 *Resistencia a la rodadura*

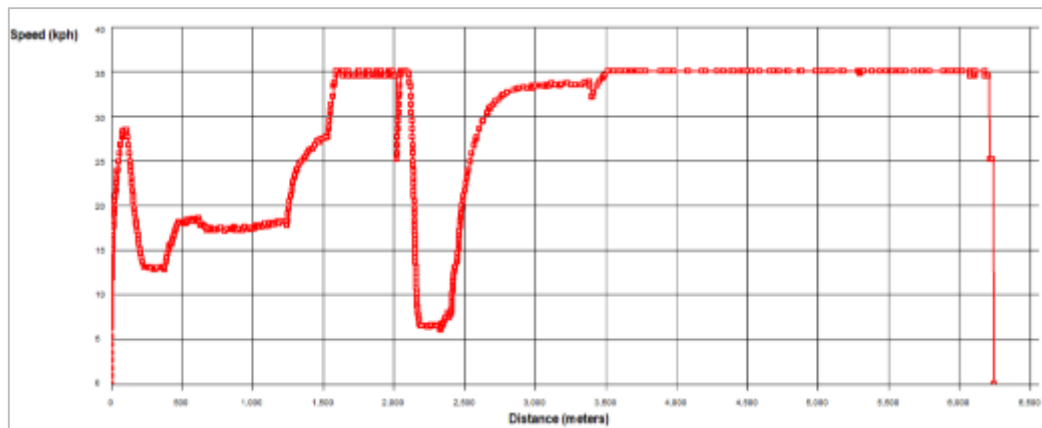
A lo largo de toda su historia, la resistencia a la rodadura siempre se ha mantenido relativamente constante en torno al 2,5%.

#### 4.3.3 *Velocidad de los camiones*

Para restaurar la carretera a una condición en la que permita que los automóviles circulen a una velocidad promedio de 34,44 kilómetros por hora, se restauraría la carretera. Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 49 y 50, que se encuentran en la sección 5 entre las distancias de 2000 y 2500 metros, representan la diferencia de velocidad que se produjo inmediatamente antes y después de la instalación de la mejora. Estas figuras se encuentran entre ellas.

**Figura 49**

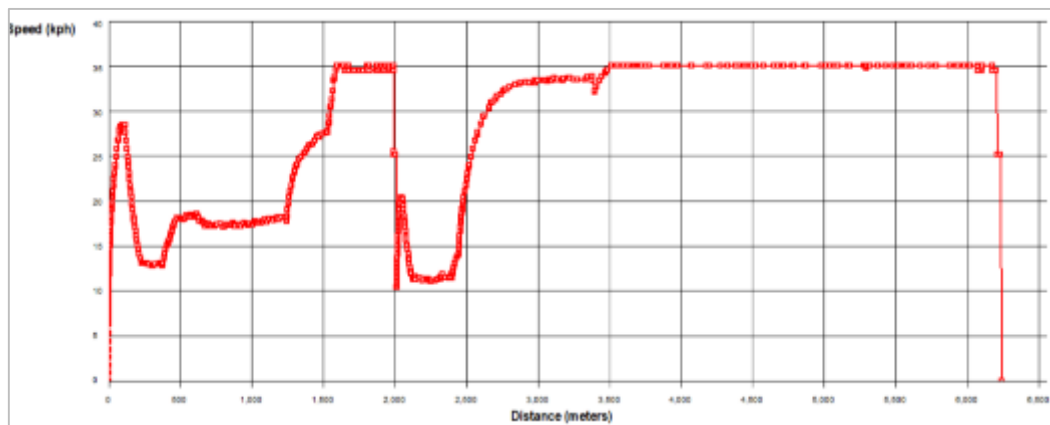
*Velocidad de los camiones en la actual vía de acarreo*



*Nota.* Elaboración software FPC

**Figura 50**

*desarrollarían los camiones en la vía de acarreo mejorada.*



*Nota.* Elaboración software FPC

#### **4.3.4 Consumo de combustible**

Si se toma en cuenta la indicación del ciclo de combustible previsto y se utiliza la ruta de transporte ampliada, entonces la cantidad de gasolina que consume cada camión se reducirá en 2,2 litros, lo que equivale a 0,6 galones por hora. Además, los vehículos funcionan con diésel B5 S-50, cuyo precio actual en el mercado de los Estados Unidos de América es de 4,5 dólares por galón.

Los resultados de la simulación que se llevó a cabo dentro del programa FPC indican que el costo operativo por hora de cada camión que recorra la ruta mejorada se reduciría en USD 2,42. Esta es la conclusión que se puede extraer de la simulación. Si desea obtener más información, consulte la información de los catálogos para este tipo de equipo mecánico.

#### **4.3.5 Producción de los camiones**

La información que se adquirió del programa FPC indica que se anticipa que la producción de camiones en la ruta mejorada aumentaría de 1.675 toneladas por hora a 1.738 toneladas por hora. Esto representa un crecimiento del 3,62%, lo que equivale a 63 toneladas por hora.

#### **4.3.6 Ciclos de acarreo de los camiones**

El uso de la ruta de transporte mejorada resultó en una disminución de un minuto y ocho segundos en la cantidad total de tiempo requerido para el ciclo de transporte. La duración del ciclo de transporte disminuyó de 31 minutos y 2 segundos a 29 minutos y 54 segundos como resultado de esto. Dado que se utilizará el mismo equipo de carga, un cargador frontal CAT 993K, el tiempo necesario para la descarga y el transporte seguirá siendo el mismo. Esto se debe a que el equipo se utilizará simultáneamente.

Debido a que la simulación indica que enfriar los neumáticos necesitaría más tiempo, el TKPH de los neumáticos, que se mide en toneladas-kilómetros por hora, no se ha incluido (consulte la Tabla 24 del manual). Esto se debe a que la simulación muestra que enfriar los neumáticos requeriría tiempo adicional.

#### **4.3.7 Capacidad de los neumáticos (TKPH)**

Es en su posición más alta antes de que se realice la alteración de la ruta de transporte que la cantidad máxima de toneladas por kilómetro por hora que un neumático es capaz de transportar está en su punto más alto. Según la Tabla 26, el total de kilómetros por hora

(TKPH) de los neumáticos traseros es de 399, mientras que el de los delanteros es de 324. Esta información se muestra en la tabla. Según el fabricante, los neumáticos tienen una capacidad de hasta 400, que es la mayor capacidad de la que son capaces. Por ello, es muy recomendable dejar enfriar los neumáticos durante un periodo de diez minutos y seis segundos después de cada ciclo de transporte, ya que de esa forma es más probable que se dañen. Durante la simulación, el incidente exacto tiene lugar cuando los neumáticos giran en la pista en mejor estado. Debido a la mayor cantidad de material que se proporcionó en un periodo de tiempo más corto, el periodo de enfriamiento tuvo que prolongarse a un minuto y seis segundos, a diferencia de la pista que no había sido alterada de ninguna manera. El TKPH es un componente vital en el proceso de mejora de la pista de transporte, según los hallazgos de este estudio, lo que indica que es un componente crucial.

#### ***4.3.8 Efectos de la vía de acarreo en los camiones***

Debido a que la mejora de la ruta de transporte no tendrá ningún efecto en la clasificación, se proyecta que la calificación de ruta de transporte (HRC) se mantendrá en la posición 5 en el futuro previsible.

Mientras las condiciones sigan siendo las mismas, el índice de distribución de carga útil (PLD) se mantendrá en el mismo nivel que cuando la condición B estaba en vigor. Esto se debe a que los vehículos siguen cumpliendo con el estándar de carga 10/10/20, que les permite circular por la ruta de transporte aumentada sin reducir su capacidad de carga. Esta es la razón por la que esto es así.

#### ***4.3.9 Costo de la flota de carguío y acarreo***

Se muestra una comparación de los costos por hora en los que incurrió la flota de transporte y carga antes y durante la implementación de la ampliación. En esta tabla se presenta un desglose de las variaciones en estos costos. Tras la conclusión de la operación de transporte, se logró un ahorro de 4.699.990 dólares.



#### **4.4 Costos para implementar la propuesta de mejora en la vía**

A continuación, se detalla una lista de gastos adicionales relacionados con la implementación de la mejora, que son los siguientes: Debido a que es esencial, la reducción de la pendiente de 17 grados a 10 grados se está llevando a cabo en los tramos 4 y 5 de la ruta de transporte existente:

##### **4.4.1 Costo del transporte del material de relleno**

El coste previsto para transportar el material de relleno hasta la carretera de transporte es de 4,10 USD por metro cúbico.

##### **4.4.2 Costo de la carga y descarga del material de relleno**

El costo para cargar el material antes del traslado y después del traslado ha sido estimado en USD 2.30 x m<sup>3</sup>.

##### **4.4.3 Costo de excavación**

En el caso del presente proyecto no se realizará corte de material, por lo tanto, será nulo.

##### **4.4.4 Costo de nivelación**

Es el costo de nivelación del tramo de 816 m. donde se efectuará la mejora, ha sido estimado en USD 1.60 x m<sup>2</sup>.

##### **4.4.5 Costo de compactación**

El costo proyectado de compactación para la longitud de 816 metros que se ha designado para la mejora es de ciento setenta dólares por metro cuadrado. Este costo se ha asignado para la mejora.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Análisis de la producción de los camiones

En esta mina en particular, la proporción de mineral de desecho es de 3,6 y la ley promedio del mineral de cobre se puede determinar en alrededor de 1,5%. En vista de esto, se deben transportar alrededor de trescientas toneladas de material para adquirir una tonelada de metal de cobre a través de los medios de transporte. Se predice que el costo de fabricación del concentrado de cobre será de 1,5 dólares por libra, lo que resultará en un costo total de producción de 3.300 dólares por tonelada de concentrado de cobre para esta mina. Esta mina está ubicada en los Estados Unidos. El material que se utilizó en esta investigación provino de las cotizaciones del mercado de valores que estaban accesibles durante el tiempo en que se creó este estudio. Para ponerlo en perspectiva, se proyecta que la venta de una tonelada de concentrado de cobre puede resultar potencialmente en un ingreso de 4.285 dólares en los Estados Unidos.

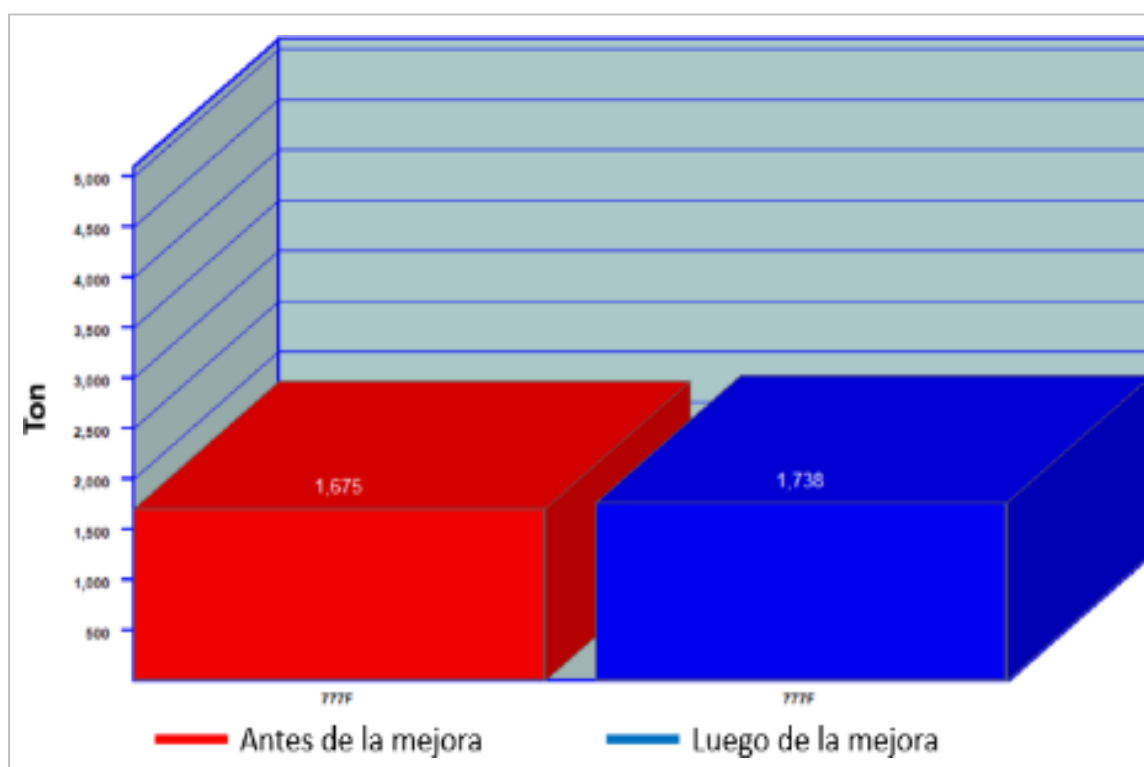
Con un ritmo de 63 toneladas por hora, la Figura 47 ilustra un aumento en la cantidad de material que se transporta. Este incremento se ha implementado a partir de la producción de una flota de doce camiones que actualmente circulan por la ruta de transporte mejorada. Además, se logrará un aumento en la producción superior a las 500.000 toneladas de material

que se extraen anualmente. El hecho de que esto sea así significa que la unidad minera generará 1.686,3 toneladas adicionales de concentrado de cobre, lo que se traducirá en un aumento previsto de los ingresos anuales de USD 7.225.795 al considerar el costo de producción del cobre.

La Figura 52 ilustra que la ruta de transporte mejorada permitirá que los camiones reduzcan el número de horas que están activos sin dejar de entregar la misma cantidad de productos. Esto será posible porque la ruta será más eficiente. Como consecuencia de esto, el transporte de la sustancia será más eficaz.

**Figura 51**

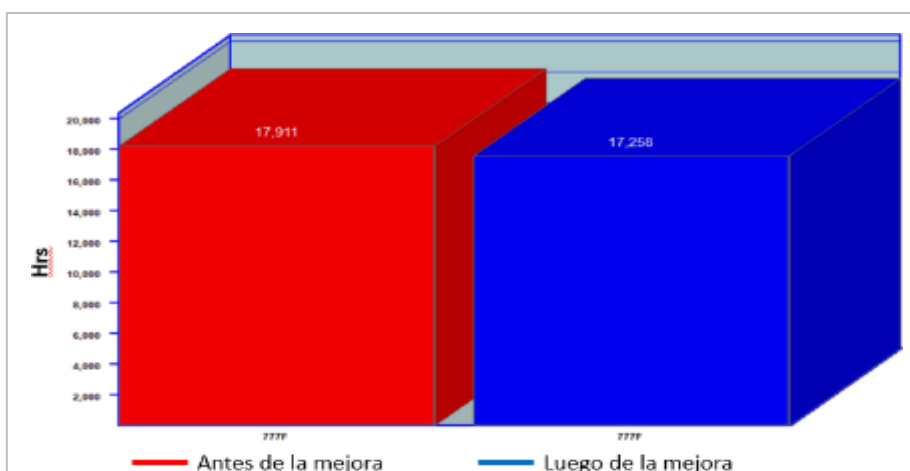
*Toneladas producidas por hora programada*



*Nota.* Elaboración software FPC

**Figura 52**

*Horas programadas para producción*



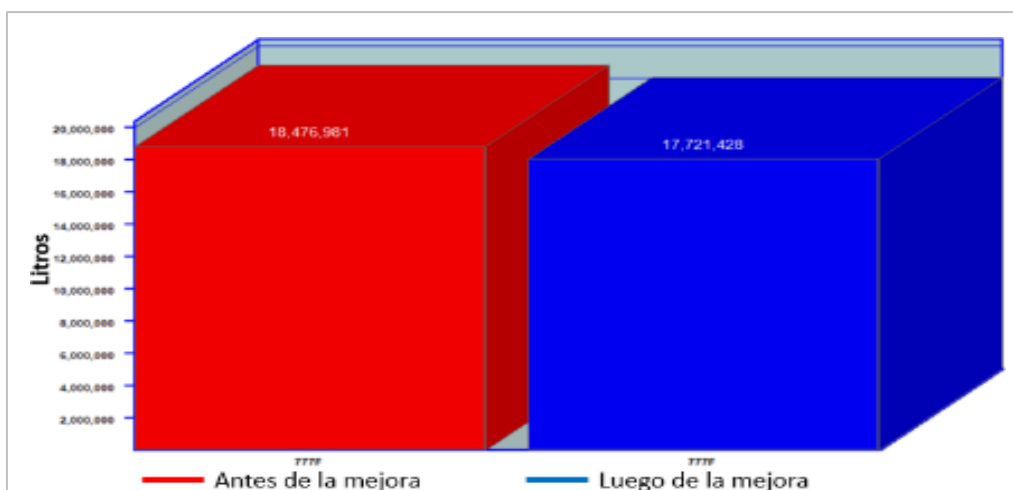
Nota. Elaboración software FPC

## 5.2 Análisis de los costos de operación de los camiones

La variación en el consumo anual previsto de la flota de camiones que se produjo después de la puesta en marcha del programa FPC se puede ver en la Figura 46. Con base en el precio actual del diésel B5 S-50, que es de 4,5 dólares el galón, esta es la conclusión que se puede sacar. Se anticipa que la diferencia asciende a 755.153 litros (199.490,318 galones), lo que resulta en un ahorro de alrededor de 900.000,00 USD anuales.

**Figura 53**

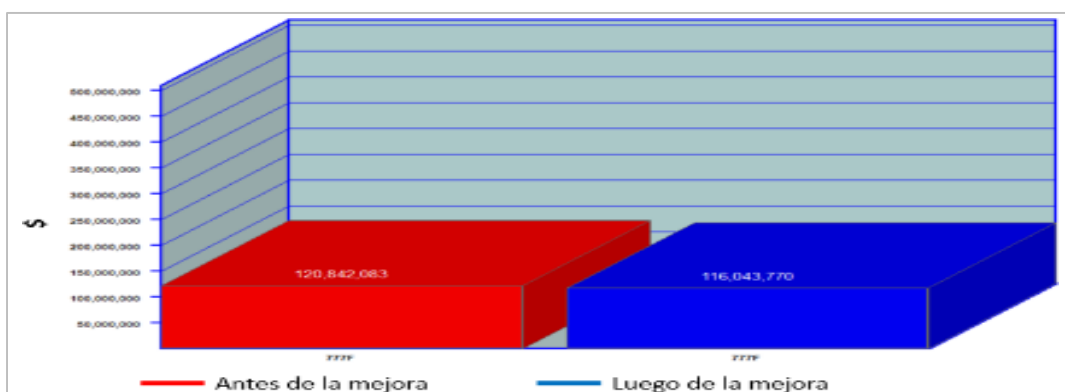
*Consumo de combustible anual de la flota antes y después de la mejora, software FPC*



Nota. Elaboración software FPC

**Figura 54**

*Gastos de explotación y propiedad de la flota de transporte y fletamento del proyecto minero.*

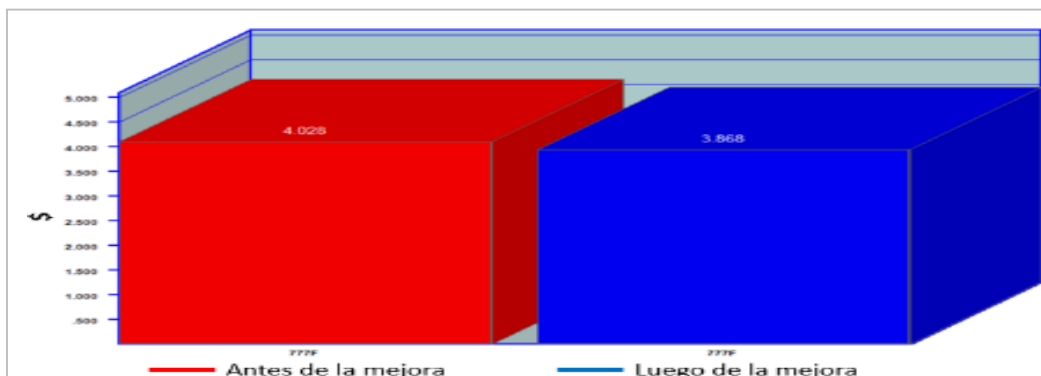


Nota. Elaboración software FPC

Con el propósito de ilustrar los gastos operativos y de propiedad, la Figura 54 presenta los gastos que realizó la flota de transporte, que está compuesta por doce camiones CAT 777F y un cargador frontal CAT 993K. Al final del proyecto minero, que se prevé transportar treinta millones de toneladas de material, se prevé que el uso de la ruta de acarreo mejorada resulte en un ahorro de cuatro mil setecientos noventa y trescientos trece dólares en los gastos asociados al transporte de material. De manera análoga, la siguiente figura muestra los gastos operativos que experimentan los camiones que trasladan mil toneladas de producto por la ruta que es la más eficiente para el acarreo. Se ahorrarán aproximadamente 160 dólares, según los cálculos que se han proporcionado.

**Figura 55**

*Costo operativo por mil toneladas acarreadas*



Nota. Elaboración software FPC



### 5.3 Análisis de los costos del proyecto

Un resumen del monto total de USD 5.302.793,09, se desglosan los costos en que se incurrió para el proyecto. Estos gastos incluyen tanto los gastos directos como los indirectos.

### 5.4 Análisis del retorno de la inversión sobre la propuesta de mejora

En esta investigación se presenta el retorno de la inversión que se obtiene de la fabricación de camiones, así como el retorno de la inversión que se obtiene de la operación y propiedad de vehículos comerciales. Ambos retornos se presentan en este documento.

#### 5.4.1 Retorno sobre la producción de los camiones

Adicionalmente, se prevé que la unidad minera incrementará la producción de concentrado de cobre en 1,686.3 toneladas, lo que resultará en un aumento estimado en los ingresos anuales de USD 7,225,795.5. Este es un desarrollo positivo. La evaluación de los costos relacionados con la fabricación de cobre es necesaria para determinar este factor. En cuanto a la cantidad de gasolina que utilizan los vehículos, se anticipa que habría una reducción en el consumo de 755,153 litros (199,490.318 galones), lo que resultaría en un ahorro de alrededor de \$900,000 al año. Esto se explica teniendo en cuenta que el precio del galón de diésel B5 S-50 acaba de aumentar a \$4.50.

#### 5.4.2 Retorno sobre la operación y posesión de los camiones

Se prevé que la flota de transporte, que consta de doce camiones CAT 777F y un cargador frontal CAT 993K, podrá soportar el movimiento de treinta millones de toneladas de material cuando concluya la operación minera. Los costos operativos y de propiedad también se incluyen en los gastos vinculados con la inversión en la flota de transporte. La cantidad de dinero que se ahorrará como consecuencia de esto será de \$478,313 en el transcurso de cuatro años y medio, lo que es comparable a un ahorro de un millón de dólares.

El monto total de USD 7,802,793, es una indicación de los gastos generales de



inversión que se realizaron con el propósito de desarrollar el proyecto de la carretera de transporte. Hay un costo de USD 5,302,793 para rellenar el tramo de 821 metros, y el costo que se proyecta incurrir para desviar temporalmente el tráfico de camiones durante un período de seis meses es de USD 2,500,000. Según las previsiones financieras, se espera que la mejora de la ruta de transporte aporte un ingreso total de 9.125.796 dólares estadounidenses para el proyecto.

### **5.4.3 Tasa interna de retorno y valor actual del proyecto**

A pesar de que el rendimiento del mercado es de tan solo el 15%, el proyecto de restauración de la vía minera arroja un rendimiento del 120% si se tiene en cuenta un periodo de recuperación de la inversión de dos años. Por lo tanto, resulta rentable continuar con la renovación de la vía.

## **5.5 Análisis de resultados**

1. En cuanto al estado de la vía minera, también es cierto lo siguiente:
  - 1.1. En lo que respecta al Índice de Severidad de la Mina (MSI), las pruebas que se realizaron con la ayuda del software CAT FPO indicaron que el índice de distribución de carga de los vehículos está clasificado como "B", lo que se encuentra dentro del rango autorizado según la normativa de carga CAT. Esta información se obtuvo de las pruebas que se realizaron. El índice de severidad de la vía minera está clasificado como nivel 5C, que se encuentra dentro del rango aceptable de severidad.
  
2. Lo siguiente es correcto, tomando en cuenta la geometría de la vía de transporte:
  - 2.1. La vía de transporte cumple con los criterios creados por el fabricante de



camiones CAT, así como con los lineamientos establecidos por la Asociación Americana de Oficiales de Transporte de Carreteras Estatales (AASHTO, por sus siglas en inglés) en términos de ancho, peraltes, altura de seguridad de bermas y relación de rodamiento de California (CBR, por sus siglas en inglés). Como resultado de esta causa específica, el proyecto de reparación de la vía no recomienda realizar ninguna modificación a las características que se presentan dentro de la ruta.

3. Específicamente en lo que respecta a los costos que experimentan los camiones mientras operan en la vía mejorada.

- 3.1. La mejora de la vía provocará un aumento en la velocidad de los camiones, lo que, a su vez, tendrá una influencia en el índice TKPH de los neumáticos como consecuencia de las temperaturas elevadas detectadas en los neumáticos. Esto será así ya que las velocidades de los vehículos aumentarán. En caso de que no se tomen medidas para implementar medidas para restringir este aumento, la consecuencia de esto es que será necesario comprar una mayor cantidad de neumáticos.

4. En particular, en lo que se refiere a la producción de automóviles en la infraestructura vial de nueva construcción.

- 4.1. El programa FPC que elaboró CAT es el que ha sido responsable de identificar que la pendiente de la vía de transporte ha disminuido, lo que ha llevado a un aumento en la producción de vehículos de transporte.



## 5. Sobre el impacto al medio ambiente de los camiones en la vía mejorada

- 5.1. El aumento significativo en la velocidad de los camiones que es el resultado de la mejora de la ruta de transporte tendrá un impacto más evidente en el medio ambiente. Esto se debe a que las mayores cantidades de polvo que se liberan a la atmósfera serán una consecuencia de la mejora.
- 5.2. La disminución en el consumo de combustible de 755.153 litros dará como resultado una reducción de 526 toneladas de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de los camiones que operan en la ruta de transporte mejorada. Esta reducción se producirá como consecuencia de la reducción en el consumo de combustible.



## CONCLUSIONES

1. Para el propósito de esta investigación, se utilizó una flota de doce camiones mineros CAT 777F. Los hallazgos de este estudio indican que existe un potencial de aumento de la productividad de 3.62%, lo que equivale a 63 toneladas por hora. Estos equipos lograron realizar mejoras en la ruta que utilizaban y se redujo la pendiente de los tramos 04 y 05 del 17% al 10% en una distancia de 821 metros. La realización de esta tarea se llevó a cabo en una mina que se encuentra a una altura de 2.600 metros sobre el nivel del mar.
2. Con base en el trabajo realizado, se prevé que la flota de camiones mineros verá una reducción en la cantidad de dinero que gasta en gastos operativos. El ciclo de acarreo se reducirá de 31:02 minutos a 29:54 minutos, lo que se traducirá en una reducción en el consumo anual de combustible de 199.490 galones, un ahorro anual de 900.000 dólares y una caída del costo por hora de la flota de 661,48 dólares a 529,6 dólares. Estas reducciones se producirán por la mejora en el ciclo de acarreo. Como consecuencia de ello, el valor del proyecto de acarreo se reducirá en 4.699.990 dólares de los Estados Unidos de América cuando esté finalmente terminado.
3. Como se prevé que el proyecto de modernización proporcione un retorno de la inversión del cien por ciento en un lapso de dos años, la minera podrá asegurar su rentabilidad en el corto plazo.



## RECOMENDACIONES

1. Como resultado de que las métricas que registran los camiones, como RACK, PITCH y BIAS, no se ajustan a los estándares que proporciona el fabricante del vehículo CAT, es absolutamente necesario que se realicen modificaciones en el mantenimiento de la vía en los tramos 01 y 12.
2. La pendiente máxima que recomienda el fabricante para el camión CAT es del 10%, sin embargo, existe una pendiente efectiva notable que va del 16,5% al 19,5% en los tramos 04 y 05. Esta pendiente es mayor que la pendiente máxima que el fabricante recomienda para el camión CAT. Dentro del alcance del proyecto de construcción de la vía que ahora se considera, el objetivo es disminuir la pendiente en cuestión.
3. En términos de los costos que incurren los camiones cuando circulan por la ruta mejorada, los gastos en los que incurren son considerables. El mantenimiento de una pendiente constante es esencial para lograr los objetivos de reducir la cantidad de combustible utilizado, maximizar la velocidad del vehículo y extender la distancia recorrida. En algunas localidades, las pendientes del camino de la mina son iguales o mayores al diez por ciento, y en otras localidades, son mucho mayores al quince por ciento.
4. Debido a que el índice TKPH es mayor que el umbral que se estableció previamente, proponemos que se coloque un sistema de monitoreo de temperatura de llantas en los automóviles para lograr una gestión más exacta de la capacidad de TKPH. Esta recomendación se basa en los resultados del programa FPC, que implican que los camiones deben detenerse durante siete minutos en varios puntos durante cada ciclo. El software resultante se utiliza para construir la propuesta que se presenta. La realización



de esta acción se realiza con la intención de reducir la temperatura de la llanta. Además, ponemos una restricción de sobrecarga en los camiones, lo que resulta en una disminución en la cantidad de llantas que se utilizan, lo que a su vez ayuda a reducir los gastos operativos que están vinculados con los vehículos correspondientes.

5. Debido al incremento de velocidad de los camiones que transitan por la ruta acondicionada, se sugiere realizar un estudio de “colas” mediante un software de simulación de procesos, con el fin de evaluar las posibles demoras que se podrían generar por la congestión vehicular en las zonas donde se realizan las operaciones de carga y descarga, con el fin de determinar si dichas demoras podrían evitarse. Esta actividad se realiza con la intención de evaluar las posibles demoras que se generan por la presencia de congestiones vehiculares.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Amstrong James R. y Raji Menon, 3ª edición (1998) “Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo”, Cap. 74 pág. 20 y 21.
- Bellotti, Mirta Liliana (2011) “Minería a cielo abierto versus glaciares en alerta roja en Argentina”, pag. 01 y 02.
- Caterpillar (2019) “Basic of Haul road Design and Maintenance (Latin American Spanish)” publicación N° 33266. Pag 04
- Caterpillar (2013) “Hauling System Selection Process”, pág. 03 – 06.
- Caterpillar Haul Road Design and Management, Pete Holman, 2006 Big Iron University, St. Charles, IL, pág. 31, 32
- Caterpillar Mejores Practicas y Mejora Continua, John Hoffman, 2011, pag 13.
- Folleto Técnico del Camión de Obra 777F CAT N° ASHQ5749-01 (5-07) (Traducción: 4-08), pág. 01, 20-27.
- Folleto Técnico Caterpillar: Road Analysis Control, Numero de Medio: RENR8284-07, (2020), pág 02
- Folleto Técnico del Camión de Obra 777F CAT N° ASHQ5749-01 (5-07) (Traducción: 4-08), pág. 01, 20-27.
- Folleto Técnico Caterpillar: publicación N° 06122019 edición 2019. “Administración de equipos de minería (MEM) Mediciones de rendimiento Caterpillar Inc.” pág. 33 - 34.
- Folleto Técnico Caterpillar: Guía de aplicación del VIMS N° SELD7006-02, edición 2007, pág. 07
- Guidelines for Mine Haul Road design, Dwayne D. Tannant & Bruce Regensburg, 2001, pág 29, 44
- Mine Haul Road Design, Construction & Maintenance Management, RJ Thompson, 2019,



pág. 59.

Manual AASHTO 2001

Manual de Rendimiento Caterpillar, edición N°45, 2015, capítulo 30, pág., 68. capítulo 21, pág., 12,

Presentación de Caterpillar, Proyecto de mejora en vías de acarreo, 2011, pág 168

Programas aplicados con fines académicos para el procesamiento de los datos de la presente investigación:

Fleet Production & Cost Analysis (FPC), versión 1.59, 2022

RoadEng, Softree Technical Systems Inc, versión 10, 2021

Google Earth Pro, versión, 2022

Global Mapper versión 24, 2018



# ANEXOS



### ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

## Título: MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL EN UNA UNIDAD MINERA

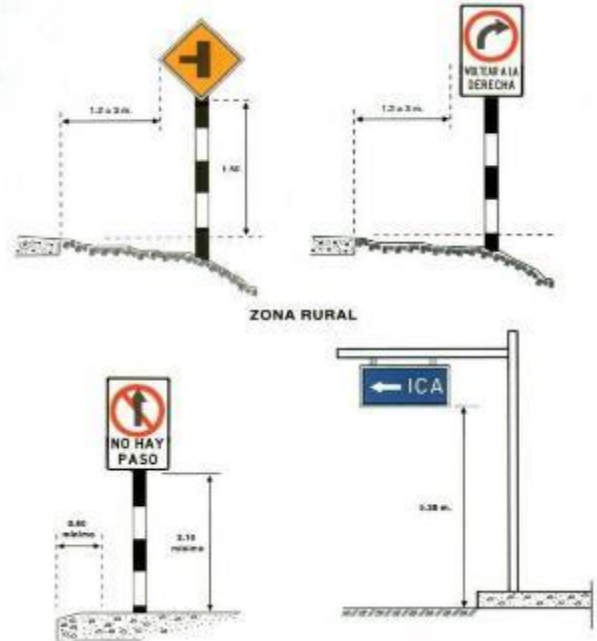
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Es factible aumentar la productividad, reducir los costos de operación y mantenimiento en la flota de camiones mineros CAT 777F mediante el mejoramiento de la actual vía de acarreo en su la Unidad Minera?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Proponer un modelo de mejora en la actual vía de acarreo para camiones en la unidad minera para aumentar la productividad y reducir costos de mantenimiento, operación y de una flota de camiones mineros CAT 777F.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>Es posible mejorar la vía de acarreo en la unidad minera para optimizar la productividad de la flota de camiones mineros CAT 777F.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Mejora en la vía de acarreo</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistencia a la rodadura en la vía de acarreo.</li> <li>- Índice de severidad en la vía de acarreo.</li> </ul>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> Cuantitativo</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACION</b> Experimental explicativo</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACION</b> Descriptiva Correlacional</p>
<p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cuáles son los impactos que tiene la actual vía de acarreo en la productividad, operación y mantenimiento en la flota de camiones mineros CAT 777F?</li> <li>2. ¿En qué medida se optimizará la producción la flota de camiones mineros con las mejoras propuestas de la vía de acarreo?</li> </ol>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar las ventajas y desventajas que posee actualmente la vía de acarreo respecto al desempeño de la productividad y mantén de la flota de camiones mineros</li> <li>2. Desarrollar el diseño de una nueva vía de acarreo. Validar Analizar sus ventajas y desventajas respecto a la anterior vía de acarreo a través del software Fleet Production &amp; Cost Análisis (FPC).</li> </ol>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>Si realizamos una mejora de la vía de acarreo en esta unidad minera se logrará reducir los costos de operación y mantenimiento y aumentará la productividad de una flota de camiones mineros.</p>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Desempeño de la Flota actual de los Camiones Mineros Fuera de Carretera</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicadores de Producción de los equipos.</li> <li>- Indicadores de mantenimiento de los equipos</li> </ul>	<p><b>POBLACION:</b> Las vías de tránsito y acarreo de Unidad Minera Peruana a tajo abierto</p> <p><b>MUESTRA:</b> La vía de acarreo principal, llamada Haul Road donde circulan los camiones 777F CAT que deseamos mejorar de la Unidad Minera.</p> <p><b>TECNICAS:</b> Simulación y procesamiento de datos a través de Softwares</p> <p><b>INSTRUMENTOS:</b> Sensoria de los camiones mineros.</p>

## ANEXO 2

### SEÑALIZACIÓN EN LA VÍA DE ACARREO

Clasificación	Clasificación	Orden e imagen de las señales	Significado
Señales relativas al derecho de paso	Señales de prevención	<p>Señal: Curva y contracurva (derecha a izquierda). (P-4A) (izquierda a derecha). (P-4B)</p>	<p>(P- 4A) Indica la presencia de dos curvas de sentido contrario para el lado derecho de la pista.</p> <p>(P-4B) Indica la presencia de dos curvas de sentido contrario para el lado izquierdo de la pista.</p>
		<p>Señal: Camino sinuoso. (P-5-1)</p>	<p>Indica una sucesión de tres o más curvas, evitando la repetición de señales de curva. Por lo tanto, se deben tomar precauciones.</p>
Señales prohibitivas o restrictivas	Señales de prevención	<p>Señal: Curva en U a la derecha. (P-5-2A) Señal: Curva en U a la izquierda. (P-5-2B)</p>	<p>(P-5-2A) Previene la presencia de una curva para el lado derecho de la pista con características geométricas sumamente pronunciadas.</p> <p>(P-5-2B) Previene la presencia de una curva para el lado izquierdo de la pista con características geométricas sumamente pronunciadas.</p>
		<p>Señal: Intersección rotatoria. (P-15)</p>	<p>Esta señal se utiliza para advertir al conductor la proximidad de una intersección rotatoria (óvalo o rotonda).</p>

Ubicación y altura de las señales



Nota. MTC R.M. N 210- 2000-MTC/15.02



ANEXO 3. DATOS DE LA VÍA Y SU PRODUCTIVIDAD EN LOS CAMIONES ANTES DE LA MEJORA

Table with columns: Ciclo de, Tramo, Coordenadas UTM/UPS, Pendiente, Longitud acumulada, Longitud, Resistencia a la Rodadura, Radio de curvas, Material de Relleno, Volumen de corte, Volumen de relleno, Costos mejoramiento, Velocidad de retardo, Velocidad camion, Velocidad max., Consumo de combustible, Tiempo de recorrido, Carga útil del Camion, Densidad del Material, Densidad del Banco, Producción, Costo de producción, Esfuerzos en el chasis / suspensión.





# TESIS UANCV



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN "OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

69	Retorno	8	8170070.1	224374.3	2694.8	3.5	1	-2	-2	3900	39.3	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.72	6.51	02.39	0	0	0	0	\$55.32	330	94	-443
70	Retorno	8	8169998.1	224443.7	2694	3.5	1	-2	-2	3800	100	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.76	6.68	02.44	0	0	0	0	\$55.32	322	66	-418
71	Retorno	8	8169978.8	224462.3	2693.8	3.5	1	-2	-2	3773.2	26.8	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.78	6.73	02.46	0	0	0	0	\$55.32	313	37	-393
72	Retorno	8	8169961.1	224479.3	2693.6	3.5	1	-2	-2	3748.6	24.6	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.79	6.77	02.47	0	0	0	0	\$55.32	305	8	-388
73	Retorno	8	8169951.4	224488.6	2693.5	3.5	1	-2	-2	3735.2	13.4	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.79	6.79	02.48	0	0	0	0	\$55.32	297	-21	-342
74	Retorno	8	8169947.7	224492.3	2693.5	3.5	1	-2	-2	3730	5.2	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.80	6.8	02.48	0	0	0	0	\$55.32	289	-49	-317
75	Retorno	8	8169939.4	224500.2	2693.4	3.5	1	-2	-2	3718.5	11.5	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.80	6.82	02.49	0	0	0	0	\$55.32	280	-78	-292
76	Retorno	8	8169926.1	224513	2693.2	3.5	1	-2	-2	3700	18.5	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.81	6.85	02.50	0	0	0	0	\$55.32	28	-274	-107
77	Retorno	8	8169916.9	224521.9	2693.1	3.5	1	-2	-2	3687.3	12.7	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.81	6.87	02.51	0	0	0	0	\$55.32	18	-299	-84
78	Retorno	8	8169895	224543	2692.9	3.5	1	-2	-2	3656.9	30.4	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.83	6.92	02.52	0	0	0	0	\$55.32	301	-31	-355
79	Retorno	8	8169868	224569	2692.6	3.5	1	-2	-2	3619.4	37.5	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.84	6.98	02.54	0	0	0	0	\$55.32	315	-31	-357
80	Retorno	8	8169852.9	224581.1	2692.5	3.5	1	-2	-2	3600	19.4	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.85	7.02	02.55	0	0	0	0	\$55.32	298	65	-391
81	Retorno	8	8169833.6	224596.4	2692.3	3.5	1	-2	-2	3575.3	24.7	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.87	7.06	02.57	0	0	0	0	\$55.32	366	-2	-338
82	Retorno	8	8169800.6	224618.9	2692	3.5	1	-2	-2	3555.3	40	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.88	7.13	02.59	0	0	0	0	\$55.32	617	-203	-152
83	Retorno	8	8169766.6	224627.8	2691.7	3.5	1	-2	-2	3500	35.3	2.5	-90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.90	7.18	03.01	0	0	0	0	\$55.32	590	-172	-198
84	Retorno	7	8169757.2	224627.8	2691.6	3.5	1	-2	-2	3490.6	9.4	2.5	-90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.90	7.2	03.01	0	0	0	0	\$55.32	189	-566	182
85	Retorno	7	8169735.8	224624.2	2691.4	3.5	1	-2	-2	3468.9	21.7	2.5	-90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.91	7.23	03.01	0	0	0	0	\$55.32	116	-607	141
86	Retorno	7	8169699.7	224607.3	2691.1	3.5	1	-2	-2	3428.9	40	2.5	-90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.93	7.3	03.05	0	0	0	0	\$55.32	82	-608	140
87	Retorno	7	8169690.8	224602.4	2691.1	3.5	1	-2	-2	3418.7	10.2	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	63.76	63.76	1.93	7.32	03.05	0	0	0	0	\$55.32	81	-577	171
88	Retorno	7	8169675.4	224593.7	2690.4	3.5	4	-2	-2	3401	17.7	2.5	0	0	0	0	\$0.00	63.76	63.76	1.93	7.32	03.06	0	0	0	0	\$55.32	41	-585	163	
89	Retorno	7	8169674.5	224593.2	2690.3	3.5	1	-2	-2	3400	1	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	63.76	63.76	1.93	7.32	03.07	0	0	0	0	\$55.32	1	-592	156
90	Retorno	7	8169644.3	224576.3	2689.8	3.5	1	-2	-2	3365.4	34.6	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.95	7.39	03.09	0	0	0	0	\$55.32	-39	-600	148
91	Retorno	7	8169627.2	224568.8	2689.6	3.5	1	-2	-2	3346.7	18.7	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.96	7.42	03.10	0	0	0	0	\$55.32	399	-171	-337
92	Retorno	7	8169584.5	224549.9	2688.9	3.5	1	-2	-2	3300	46.7	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.97	7.47	03.12	0	0	0	0	\$55.32	26	-504	-11
93	Retorno	7	8169559.9	224539.1	2688.5	3.5	1	-2	-2	3273.2	26.8	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.98	7.51	03.14	0	0	0	0	\$55.32	-40	60	115
94	Retorno	7	8169531.9	224528.6	2688	3.5	1	-2	-2	3243.2	30	2.5	90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.99	7.54	03.15	0	0	0	0	\$55.32	-56	34	86
95	Retorno	7	8169525.1	224527.1	2687.9	3.5	1	-2	-2	3236.3	69	2.5	90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	1.99	7.55	03.16	0	0	0	0	\$55.32	-72	7	56
96	Retorno	7	8169490.2	224516.6	2687.4	3.5	1	-2	-2	3217.4	40	2.5	90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.01	7.6	03.18	0	0	0	0	\$55.32	119	387	439
97	Retorno	7	8169488.9	224525.7	2687.4	3.5	1	-2	-2	3200	1.3	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.01	7.6	03.18	0	0	0	0	\$55.32	104	357	409
98	Retorno	7	8169480	224525.9	2687.3	3.5	1	-2	-2	3191.1	8.9	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.01	7.61	03.18	0	0	0	0	\$55.32	89	326	379
99	Retorno	7	8169448.7	224526.5	2686.8	3.5	1	-2	-2	3159.8	31.3	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.02	7.65	03.20	0	0	0	0	\$55.32	-419	285	-329
100	Retorno	7	8169424.9	224525.2	2686.4	3.5	1	-2	-2	3135.9	23.9	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.03	7.68	03.21	0	0	0	0	\$55.32	-407	297	-341
101	Retorno	7	8169406	224524.2	2686.2	3.5	1	-2	-2	3117	18.9	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.03	7.7	03.22	0	0	0	0	\$55.32	-395	309	-353
102	Retorno	7	8169389	224523.2	2685.9	3.5	1	-2	-2	3100	17	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.04	7.72	03.23	0	0	0	0	\$55.32	-383	321	-365
103	Retorno	7	8169379.8	224522.7	2685.8	3.5	1	-2	-2	3090.7	9.3	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.04	7.74	03.24	0	0	0	0	\$55.32	-371	333	-377
104	Retorno	7	8169348.5	224520.9	2685.3	3.5	1	-2	-2	3059.4	31.3	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.05	7.77	03.26	0	0	0	0	\$55.32	-3	-11	-33
105	Retorno	7	8169308.9	224515.8	2684.7	3.5	1	-2	-2	3019.2	40	2.5	-90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.07	7.82	03.28	0	0	0	0	\$55.32	253	216	-260
106	Retorno	7	8169292.7	224509.4	2684.5	3.5	1	-2	-2	3002	17.4	2.5	-90	0	0	0	\$0.00	0	63.76	63.76	2.07	7.85	03.29	0	0	0	0	\$55.32	280	214	-258
107	Retorno	6	8169291	224508.5	2684.4	3.5	1	-2	-2	3000	2	2.5	-90	0	0	0	\$0.00	63.76	63.76	2.07	7.85	03.29	0	0	0	0	\$55.32	-444	-55	11	
108	Retorno	6	8169260.3	224486.2	2683.9	3.5	1	-2	-2	2962	38	2.5	-90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.09	7.93	03.31	0	0	0	0	\$55.32	-63	-41	-3
109	Retorno	6	8169242.8	224471.7	2683.5	3.5	1	-2	-2	2939.3	22.7	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.10	7.95	03.32	0	0	0	0	\$55.32	318	-27	-17
110	Retorno	6	8169218.9	224440.9	2682.9	3.5	1	-2	-2	2900	39.3	2.5	-90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.11	8	03.35	0	0	0	0	\$55.32	366	-26	-18
111	Retorno	6	8169215.6	224432.8	2682.8	3.5	1	-2	-2	2891.3	8.7	2.5	-90	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.12	8.01	03.35	0	0	0	0	\$55.32	413	-25	-19
112	Retorno	6	8169207	224408.7	2682.4	3.5	1	-2	-2	2865.6	25.7	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.12	8.04	03.37	0	0	0	0	\$55.32	461	-24	-20
113	Retorno	6	8169192.7	224368.7	2681.8	3.5	1	-2	-2	2838.7	42.4	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.14	8.05	03.39	0	0	0	0	\$55.32	508	23	-23
114	Retorno	6	8169184.9	224346.9	2681.5	3.5	1	-2	-2	2800	23.2	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.15	8.13	03.40	0	0	0	0	\$55.32	556	-21	-23
115	Retorno	6	8169181.3	224336.9	2681.3	3.5	1	-2	-2	2789.5	10.5	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65	2.15	8.14	03.41	0	0	0	0	\$55.32	603	-20	-24
116	Retorno	6	8169171.2	224308.8	2680.9	3.5	1	-2	-2	2759.5	30	2.5	0	0	0	0	\$0.00	0	64.5	65											





ANEXO 4

DATOS DE LA VÍA Y SU PRODUCTIVIDAD EN LOS CAMIONES DESPUÉS DE LA MEJORA

Table with columns: #, Ciclo de acarreo, Tramo, Coordenadas (Nordeste), Elevation (m), Pendiente Efectiva %, Pendiente %, Inclinación %, Peralte %, Longitud acumulada (m), Longitud Tramo (m), Resistencia a la Rodadura %, Radio de curvas, Material de Relleno, Volumen de corte (m³), Volumen de relleno (m³), Costos mejoramiento de la vía (USD), Velocidad de retardo (km/h), Velocidad camión (km/h), Velocidad max. permitida, Consumo de Combustible, Consumo de combustible acumulado, Tiempo de recorrido (min), Carga útil del Camión (Tn), Densidad del Material Sueto (LCM), Densidad del Banco kg/BCM, Producción (Tn/hr), Costo de horario x Camión, Esfuerzo, chasi, /suspensión.



Table with 28 columns: ID, Description, Quantity, Unit, Price, Total, etc. It lists various transportation services (Transporte) and their associated costs and quantities.



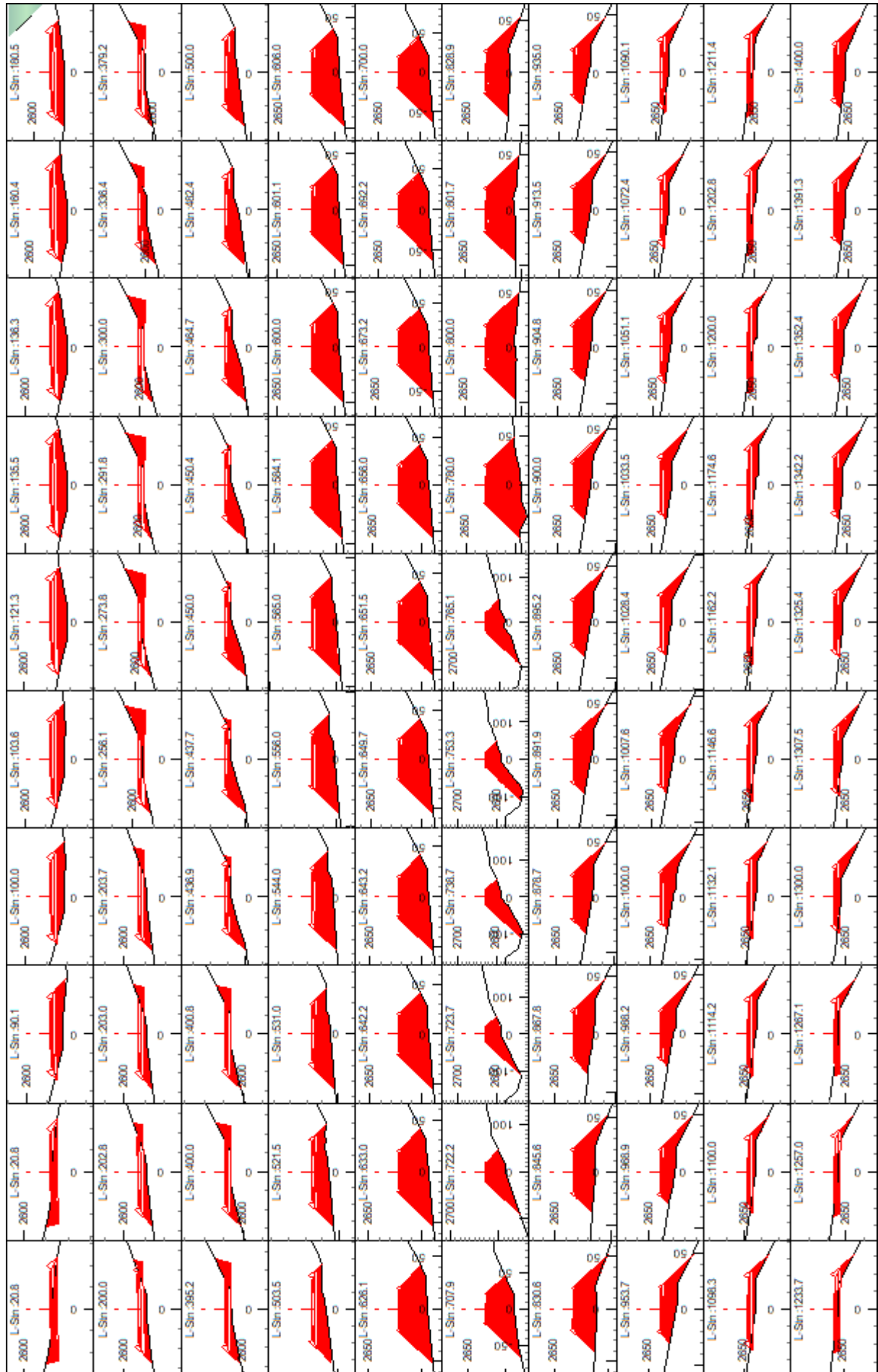


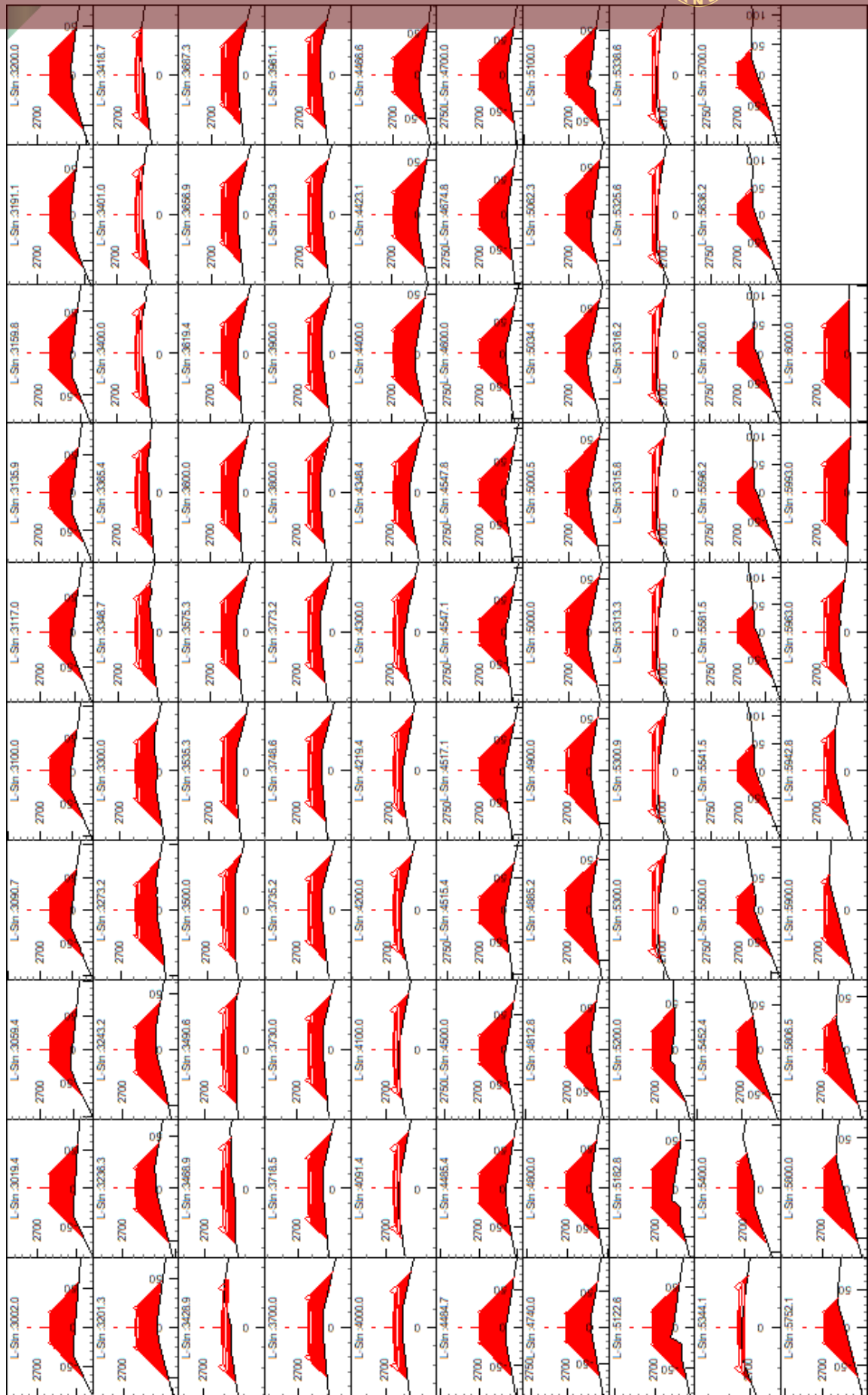






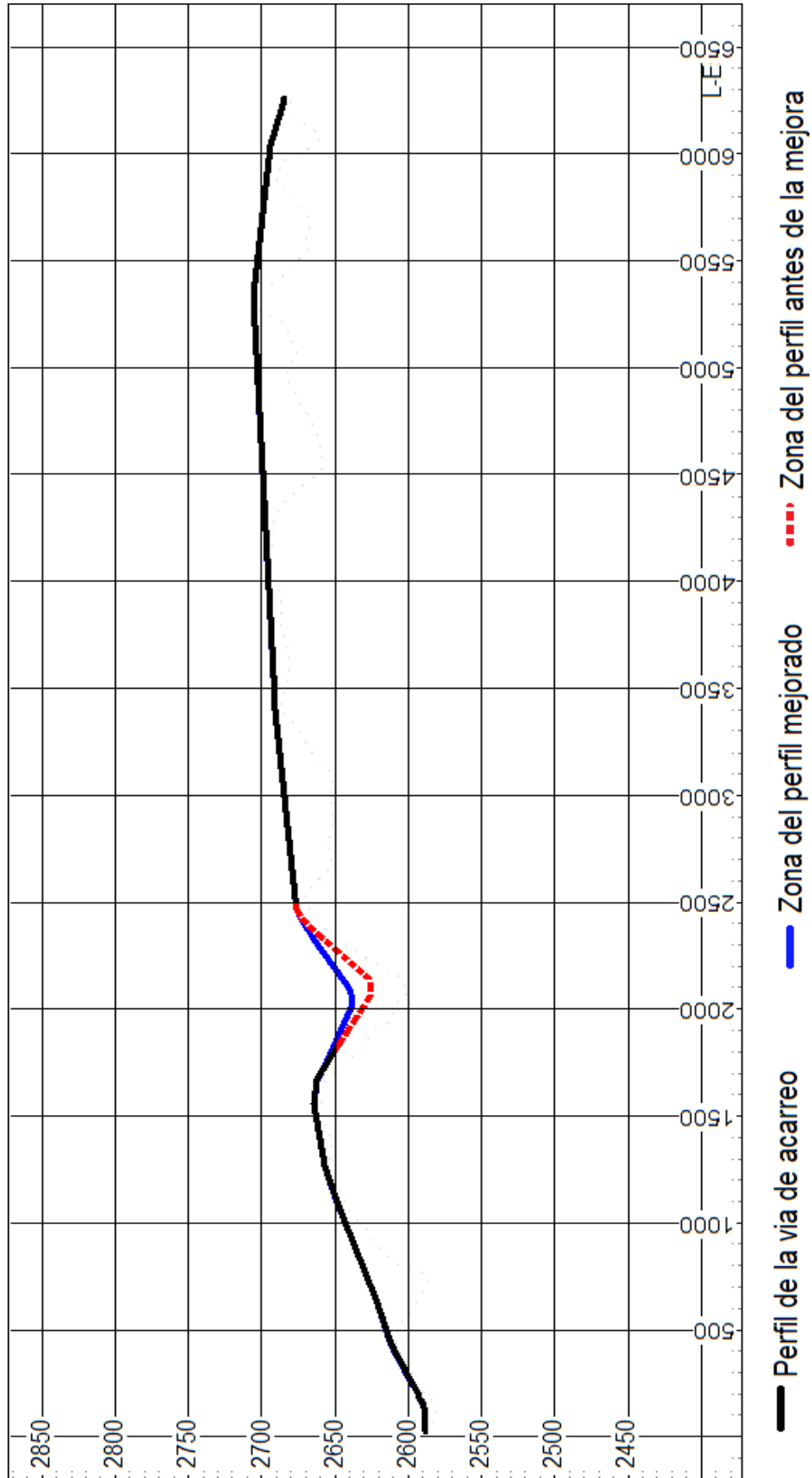
SECCIONES LA VÍA DE ACARREO (0 M @ 2650 M)



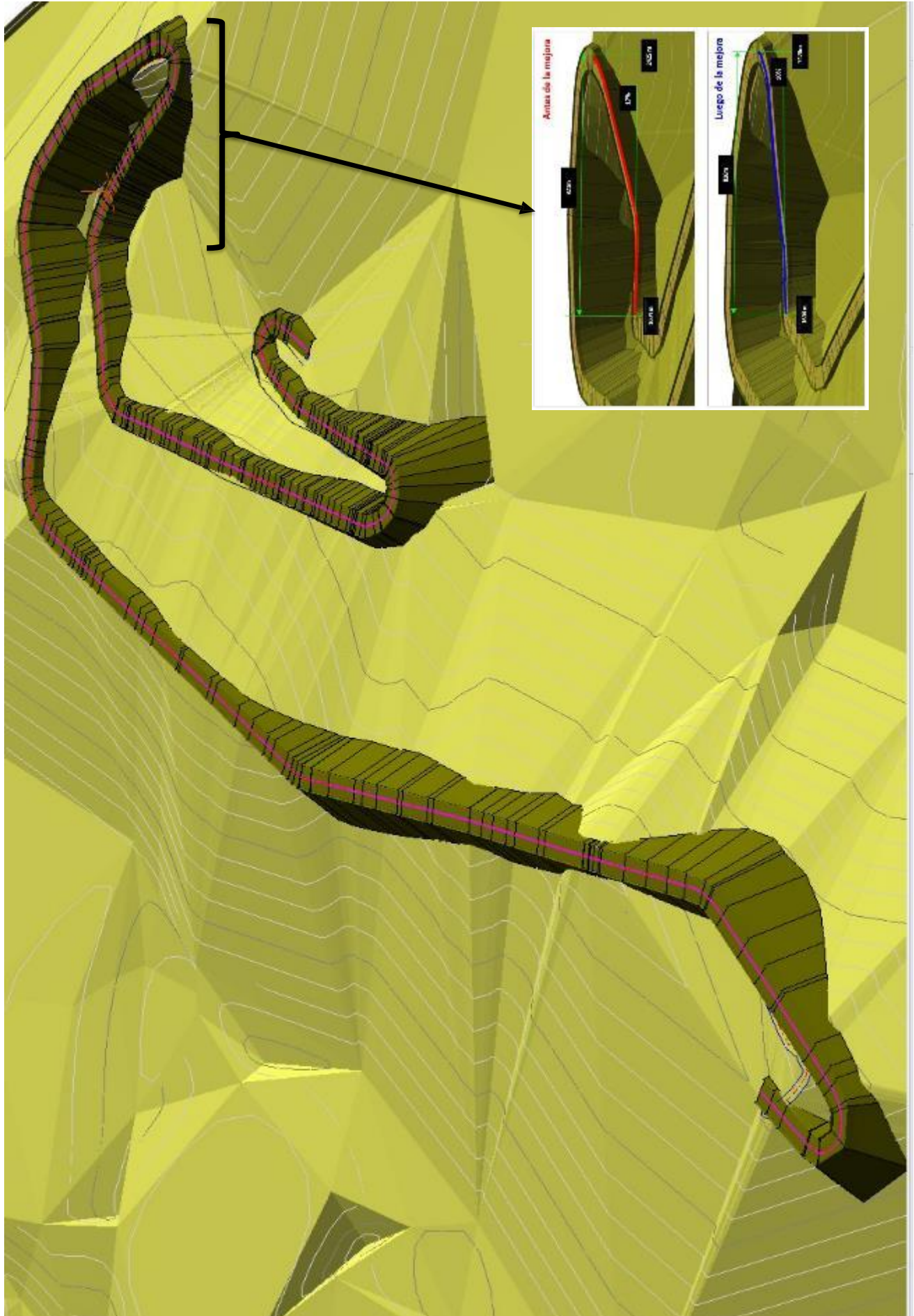




**PERFIL DE LA VÍA DE ACARREO ANTES Y DESPUÉS DE LA MEJORA SOFTWARE ROADENG**



### VÍA DE ACARREO EN 3D ANTES Y DESPUÉS DE LA MEJORA PROPUESTA





## ANEXO 1 FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

### AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 30 - 04 - 2025

#### 1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: RONALD JHASMANI PILCO MAQUERA

Dirección: ASC. APIAR ZN.2 MZ.A LT. 6

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 74205415

Teléfono: 997591783 email: pilcomr.2017@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: MEJORAMIENTO DE UNA VÍA DE ACARREO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE DE MINERAL

EN UNA UNIDAD MINERA

Palabras claves, (3 a 5 términos): Seguridad vial, Mantenimiento vial, conservación, Gestión, Pearson.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1, 2</sup>?

2

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Titulo  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.  
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_  
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo  
 No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

Firma de Autor



huella digital

30 DE ABRIL DEL 2025

Fecha