



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES



**PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VIA DE ACARREO EN
UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR
EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA
DE CAMIONES CAT 777F**

TESIS PRESENTADA POR:
PAVEL LENIN REYNALDO ROSAS ZEGARRA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**

JULIACA – PERÚ
2024




UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

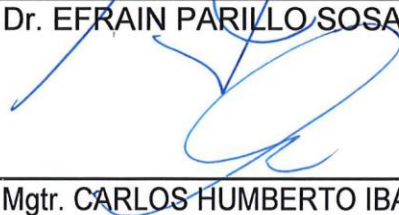
**PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VIA DE ACARREO EN
UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR
EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA
DE CAMIONES CAT 777F**

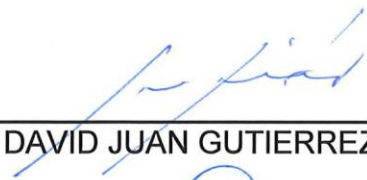
TESIS PRESENTADA POR
PAVEL LENIN REYNALDO ROSAS ZEGARRA


PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

APROBADA POR:

PRESIDENTE DE JURADO : 
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

MIEMBRO DEL JURADO : 
Mgtr. CARLOS HUMBERTO IBARCENA DURAND

MIEMBRO DEL JURADO : 
Dr. DAVID JUAN GUTIERREZ MAYTA

ASESOR DE TESIS : 
Dr. SEGUNDO ORTIZ CANSAYA

LINEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50



UNIVERSIDAD ANDINA

"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 049-2024-D-EPG-UANCV/J

Juliaca, 01 de abril del 2024

VISTOS:

El expediente N° 2023-A-01949, presentado por el (la) Bachiller **ROSAS ZEGARRA PAVEL LENIN REYNALDO**, con número de DNI. **29729819**, asignado (a) con código de matrícula **1921000087**, de la **Maestría en INGENIERÍA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de la Filial Arequipa.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bach. **ROSAS ZEGARRA PAVEL LENIN REYNALDO**, con número de DNI. **29729819**, asignado (a) con código de matrícula **1921000087**, de la **Maestría en INGENIERÍA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, ha solicitado fecha, hora y modalidad de sustentación de la Tesis titulada: **PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VIA DE ACARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50** y;

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 22 de marzo del 2024. Establece la fecha de sustentación; habiéndose para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento para la Obtención del Grado Académico de Magíster/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítica, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado; y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR EXPEDITO para la Sustentación de la Tesis titulada: **PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VIA DE ACARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F** Elaborado por el (la) Bachiller **ROSAS ZEGARRA PAVEL LENIN REYNALDO**. Integrado por los siguientes docentes:

Presidente del Jurado	:	Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
Miembro del Jurado	:	Mgr. CARLOS HUMBERTO IBARCENA DURAND
Miembro del Jurado	:	Dr. DAVID JUAN GÜTIERREZ MAYTA
Asesor de Tesis	:	Dr. SEGUNDO ORTIZ CANSAYA

ARTÍCULO SEGUNDO. - El proceso de la Sustentación de la Tesis en mención, se llevará a cabo:

Fecha	:	Jueves, 18 de abril del 2024
Hora	:	11:00 a.m.
Modalidad	:	Aula Virtual Cisco Webex

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Maestría con el grado **MAESTRO** de los estudiantes que ingresaron posterior a la aprobación de la ley Universitaria N° 30220.

ARTÍCULO TERCERO. - Elévese la presente Resolución al Rectorado, Vicerectorado Académico, Vicerectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
Juliaca, 01 de abril del 2024
Dr. Leopoldo Mercedes Córdova Corti
DIRECTOR (6)

Cc./Anexo EPG (01)
Instituto (01)
Carga (01)
Juliaca (01)
Asesor (01)
Ejecutiva (01)
LWCC/AMMA



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 0081-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 13 Marzo del 2024

VISTOS:

El expediente N°. A - 0121, Presentado por el (a) Bach. ROSAS ZEGARRA PAVEL LENIN REYNALDO, con número de DNI 29729819 y con Código de matrícula N° 1921000087, quien solicita cambio del asesor del Proyecto de Tesis titulado: **PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VÍA DE ACARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F** Líneas de Investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50. Para optar el Grado Académico de MAESTRO en INGENIERIA CIVIL mención en GEOTECNIA Y TRANSPORTES de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez", Sede Arequipa.

CONSIDERANDO:

Que, mediante expediente No. A - 0121, el Bach. ROSAS ZEGARRA PAVEL LENIN REYNALDO, solicita el cambio del asesor aprobado con Resolución Directoral N.º 1177-2021-USA-EPG/UANCV, de fecha 04 de octubre del 2021, en el que se le asignó como asesor al Mgtr. Rodolfo Yana Laura, el mismo que se cambia por no tener vínculo laboral con la UANCV.

Que, el referido Dictamen de Tesis fue aprobado por los jurados el 23 de agosto del 2021, registrado en el Folio N° 2740 del Libro de Registro de Proyectos de Investigación de Maestría, establece que se encuentra apto para ser desarrollado a lo establecido en el reglamento de Grado de Investigación conducente al Grado Académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca;

Que, en el Reglamento General de la escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad y de alto valor científico.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO.- ACEPTAR EL CAMBIO DEL ASESOR para su revisión de la Tesis titulada: **PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VÍA DE ACARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F** presentado por el (a) Bach. ROSAS ZEGARRA PAVEL LENIN REYNALDO, de la Maestría en: **INGENIERÍA CIVIL**, conformado por los siguientes docentes:

Presidente	: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
Primer Miembro	: Mgtr. CARLOS HUMBERTO IBARCENA DURAND
Segundo Miembro	: Dr. DAVID JUAN GUTIERREZ MAYTA
Asesor	: Dr. SEGUNDO ORTIZ CANSAYA

SEGUNDO- AUTORIZAR el desarrollo de Tesis, de acuerdo al Reglamento de Investigación conducente al Grado Académico de MAESTRO de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

TERCERO.- ELEVAR al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento, así como a la Oficina de Economía, para cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Leopoldo Wenceslao Condori Cani
DIRECTOR (e)



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

Mg. PERCY GONZALO PUSCA FUJIMA
SECRETARIO ACADÉMICO

Cc./CARGO (01)
ARCHIVO EPG - 2024 (01)
INTERESADO (01)
LWCCleIVRCH



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCION DIRECTORAL N° 1177 - 2021-USA-EPG/UANCV

04 de octubre del 2021.

VISTOS:

El expediente N° 517 de fecha 02 de setiembre del 2021, presentado por el (la) **BACHILLER ROSAS ZEGARRA PAVEL LENIN REYNALDO**, con DNI N° **29729819**, código de matrícula **1921000087**, quien solicita resolución de aprobación de proyecto de tesis titulado: **PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VÍA DE ACARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F**. Línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50**, para optar el grado de **MAESTRO** en: **INGENIERÍA CIVIL** mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES** de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez Sede Arequipa.

CONSIDERANDO:

Que, en el Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad de alto valor científico.

Que, según Resolución N° 0555-2019-UANCV-CU-R, de fecha 08 de noviembre del 2019, se aprueba el Reglamento para la obtención del grado académico de Magister, Maestro, Doctor y Titulación de los Programas de Segunda Especialidad Profesional de la Escuela de Posgrado.

Que, el **Art. 17**, establece que la aprobación del proyecto de investigación de tesis para la obtención de grados académicos de Magister, Maestro, Doctor se inicia con la presentación del proyecto de investigación de tesis según corresponda, en forma individual y conforme a las recomendaciones de la Escuela de Posgrado y estándares de la investigación científica, tecnológica y humanística.

Que en el **Art.60**, señala que la fecha límite para la presentación del borrador de tesis es de 02 años contados desde la emisión de la resolución de aprobación del proyecto de tesis, vencido el plazo máximo el candidato a Magister, Maestro o Doctor deberá presentar un nuevo proyecto de investigación de tesis.

Que el **Art. 21**, establece que el Director de la Escuela de Posgrado y el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, nominarán por sorteo a 03 docentes miembros del comité de investigación.

Que mediante oficio circular N° 1150-2021-USA-EPG/UANCV-J, de fecha 03 de Junio del 2021, se nombra al Comité de Investigación del proyecto de tesis conformado por los siguientes docentes:

Presidente	:	Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
Primer miembro	:	Mgr. CARLOS HUMBERTO IBARCENA DURAND
Segundo miembro	:	Dr. DAVID JUAN GUTIERREZ MAYTA

Que, con registro N° 2740 de fecha 23 de agosto del 2021, el Comité de Investigación del proyecto de tesis titulado: **PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VÍA DE ACARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F**, presentado por el (la) **Bachiller ROSAS ZEGARRA PAVEL LENIN REYNALDO**, cumple con los lineamientos y contenidos establecidos en reglamento de grado de investigación conducentes al grado académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado y en el artículo 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO: APROBAR, el Proyecto de investigación de Tesis de maestría y **AUTORIZAR** el desarrollo de la Tesis, titulado: **PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VÍA DE ACARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F**, presentado por el (la) **Bachiller ROSAS ZEGARRA PAVEL LENIN REYNALDO**, para obtener el grado académico de **MAESTRO** en: **INGENIERÍA CIVIL** mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES** de la UANCV, asesorado por el (la) **Mgr. RODOLFO YANA LAURA**.

SEGUNDO: ELEVAR al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo, Vicerrectorado de Investigación, Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento y cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese



 UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 ESCUELA DE POSGRADO
 Dr. Félix C. Ochotoma Paravicino
 DIRECTOR (a)

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 ESCUELA DE POSGRADO

 Mgtr. LUIS CHAYNA AGUILAR
 SECRETARIO ACADÉMICO



PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VIA DE ACARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

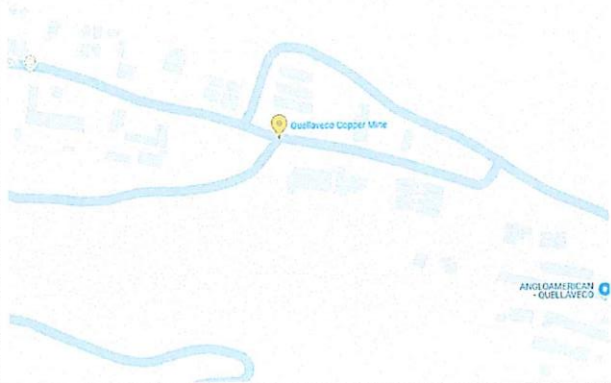
1	vsip.info Fuente de Internet	3%
2	moam.info Fuente de Internet	1%
3	edoc.pub Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	documents.mx Fuente de Internet	1%
6	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
8	archive.org Fuente de Internet	<1%



Metadatos complementarios - UANCV

TITULO	
PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VIA DE ACARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F	
Datos de autor	
Nombres y Apellidos	PAVEL LENIN REYNALDO ROSAS ZEGARRA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	29729819
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-8381-6404
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	SEGUNDO ORTIZ CANSAYA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	29309750
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-0224-8651
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres Y Apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7567-039X
Miembro del jurado 1	
Nombres Y Apellidos	CARLOS HUMBERTO IBARCENA DURAND
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02444402
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7773-8789



Miembro del jurado 2	
Nombres Y Apellidos	DAVID JUAN GUTIERREZ MAYTA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02409816
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6187-1497
Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Dirección: UNA MINA A TAJO ABIERTO País: Perú Departamento: Moquegua Provincia: Mariscal Nieto Distrito: Torata -17.10270, -70.61405 https://maps.app.goo.gl/oEa9hNzL2NYNfGQr8</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023 - 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03



UNIVERSIDAD INGENIERA "HECTOR CÁCERES VELÁZQUEZ"
 ESCUELA DE POSTGRADO

Dr. Segundo Ortiz Cansaya
 DIRECTOR
 DE INVESTIGACIÓN - EPG



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo Pael Lenin Reynaldo Rosas Zegarra, identificado con DNI Nro. 29729819 en mi condición de egresado de:

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

Estado de Postgrado Maestría en Ingeniería Civil Inmediación: Geotécnica y Transportes

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

" Propuesta para mejorar una vía de acarreo en una mina a tajo abierto con el fin de optimizar el traslado de mineras en la flota de camiones CAT 777F "

Asesorado por: Dr. Segundo Ortiz Cansaya

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 10 de DICIEMBRE del 2024

FIRMA DEL ASESOR

FIRMA (obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A Dios que es mi guía y camino, por la dicha y felicidad en mi vida.

Para mis padres: Rina y Jordán por su amor, ejemplo y sabiduría.

Para mis hijos: Adrianita y Aleksei.

Para mis hermanos y sus familias:
Jordán y Vladimir.



AGRADECIMIENTO

Al consejo, motivación y apoyo de la Asistente Social Sra. Rina Zegarra Espinoza y al doctor Sr. Jordán Rosas Valdivia y que sin ellos no hubiésemos tenido el impulso para realizar esta investigación.

A la orientación y conocimiento de mi asesor, Mg. Sr. Rodolfo Yana Laura por el tiempo dedicado que me ha permitido culminar la presente tesis.

A la Escuela de Posgrado de la Maestría en Ingeniería Civil de la Universidad Andina Néstor Cáceres que me ha brindado la preparación y exigencia académica.

A la Compañía donde actualmente laboro, que me permite seguir desarrollándome profesionalmente.

Nuestra gratitud y aprecio a todos ellos.



INDICE

INDICE i

INDICE DE TABLAS v

INDICE DE FIGURASvii

RESUMEN x

ABSTRACT xi

INTRODUCCIONxii

CAPÍTULO I

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes De La Investigación 1

1.2 Formulación Del Problema 2

1.2. Diseño De La Metodología De La Investigación 3

1.3. Hipótesis De La Investigación 3

1.3.2. Hipótesis Especifica..... 3

1.4. Variables De La Investigación 3

1.4.2. Variable Dependiente 4

1.5. Población Y Muestra..... 5

1.5.2. Muestra 5

1.6. Objetivos 5

1.6.2. Objetivos Específicos 5

1.7. Justificación De La Investigación 5

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..... 8

2.3 Operaciones En Minería A Cielo Abierto..... 9

2.3.1 Perforación Y Voladura..... 9

2.3.2 Carguío 9

2.3.3 Acarreo 10

2.3.4 Tratamiento Del Mineral 10

2.4 Selección Del Sistema De Acarreo Para La Minería A Cielo Abierto ... 12

2.5.1 Distancia Del Ciclo De Acarreo 15



2.5.2	Tiempo Del Ciclo De Acarreo	15
2.5.3	Velocidades De Ciclo De Acarreo	16
2.6	Diseño De La Vía De Acarreo	16
2.6.1	Distancia De Parada De La Máquina	17
2.6.2	Distancia De Visibilidad En Curvas	17
2.6.3	Diseño Del Ancho	17
2.6.4	Patrón Del Tráfico	18
2.6.5	Diseño De La Pendiente Transversal	18
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	24
2.6.9	Diseño Del Peralte	25
2.6.10	Diseño De Los Radios De Giro	26
2.6.11	Diseño De Bermas	28
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
2.10.1	Consumo De Combustible	39
2.10.2	Neumáticos	40
2.10.3	Productividad	42
2.10.4	Vida Útil De Los Componentes	43
2.10.5	Vida Útil De Los Componentes	44
2.11	Deterioro En Las Vías De Acarreo	45
2.12.3	Control De Análisis De Carreteras (Rac)	50
2.13	Indicadores En El Proceso De Acarreo Del Mineral	53
2.13.2	Costos De Posesión Del Equipo De Acarreo	54
2.13.3	Costos De Operación Del Equipo De Acarreo	54
2.13.4	Costo Horario Del Equipo De Acarreo	55

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1	Descripción E Identificación Del Problema	57
3.2	Análisis Del Diseño Actual De La Vía De Acarreo	58
3.3	Características De La Flota De Camiones De Acarreo	62
3.4	Indicadores Del Desempeño De Los Camiones En La Vía De Acarreo	65



3.5	Distancia Recorrida En El Ciclo De Acarreo	65
3.5.1.	Velocidad En Ciclo De Acarreo	66
3.5.2.	Tiempos De Ciclo De Acarreo	66
3.5.3.	Producción De Los Camiones	68
3.5.4.	Consumo De Combustible.....	69
3.5.5.	Resistencia A La Rodadura En La Vía De Acarreo.....	72
3.5.6.	Efectos Del Estado De La Vía En Los Camiones (Rac)	72
3.5.6.1.	Desviación Transversal De La Carga Sobre El Camión (Pitch).....	72
3.5.6.2.	Esfuerzo Torsional Sobre El Camión (Rack).....	72
3.5.6.3.	Desviación Longitudinal De La Carga En El Camión (Bias)	73
3.5.7.	Índice De Severidad De La Vía De Acarreo (Msi).....	73
3.6.	Análisis De Los Costos De La Flota De Acarreo En La Vía De Acarreo ..	
3.6.2.	Costo Horario De La Flota De Carguío	77

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DE MEJORA

4.1.	Nuevo Diseño Para Mejorar La Actual Vía De Acarreo	80
4.2.	Proceso Para Efectuar Las Mejoras En La Vía De Acarreo	81
4.3.	Desempeño Los Camiones En Vía De Acarreo Mejorada.....	82
4.3.1.	Distancia Recorrida	82
4.3.2.	Resistencia A La Rodadura.....	83
4.3.3.	Velocidad De Los Camiones	83
4.3.4.	Consumo De Combustible.....	85
4.3.5.	Producción De Los Camiones	86
4.3.6.	Ciclos De Acarreo De Los Camiones.....	87
4.3.7.	Capacidad De Los Neumáticos (Tkph)	88
4.3.8.	Efectos De La Vía De Acarreo En Los Camiones.....	89
4.3.9.	Costo De La Flota De Carguío Y Acarreo	90
4.4.	Costos Para Implementar La Propuesta De Mejora En La Vía.....	90
4.4.1	Costo Del Transporte Del Material De Relleno	90
4.4.2	Costo De La Carga Y Descarga Del Material De Relleno.....	91
4.4.3	Costo De Excavación	91
4.4.4	Costo De Nivelación	91
4.4.5	Costo De Compactación.....	91



CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Análisis De La Producción De Los Camiones..... 92

15.2 Análisis De Los Costos De Operación De Los Camiones..... 94

5.3 Análisis De Los Costos Del Proyecto 96

5.4 Análisis Del Retorno De La Inversión Sobre La Propuesta De Mejora . 97

5.4.1 Retorno Sobre La Producción De Los Camiones 97

5.4.2 Retorno Sobre La Operación Y Posesión De Los Camiones..... 97

5.4.3 Tasa Interna De Retorno Y Valor Actual Del Proyecto 98

OBSERVACIONES

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ANEXO III:



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 4

Tabla 2 *Variable de la investigación* 4

Tabla 3 *Dimensiones recomendadas para la vía de acarreo donde transitan camiones de acarreo CAT.* 18

Tabla 4 *Super elevación en curva y radio de giro recomendado para la vía de acarreo donde transitan camiones de acarreo CAT.*..... 27

Tabla 5 *Velocidad máxima en curvas para diversos grados de super elevación con coeficiente lateral de tracción de $0,20 <<$* 28

Tabla 6 *Factores Típicos de Tracción para neumáticos.*..... 36

Tabla 7 *Porcentaje mínimo de resistencia a la rodadura en Camiones CAT que usan Lona radial en sus neumáticos.*..... 37

Tabla 8 *Tabla del consumo de combustible de un camión CAT 793F según el grado de la pendiente y su duración del trayecto.*..... 40

Tabla 9 *Carga transferida en los neumáticos por efecto de la velocidad.*.. 42

Tabla 10 *Impacto de la aplicación en las vías de los componentes del camión de acarreo* 43

Tabla 11 *Límites de Presión en las Suspensiones (Kpa) de los Camiones Mineros CAT para activar las advertencias en el sistema RAC*... 52

Tabla 12 57

Tabla 13 63

Tabla 14 64

Tabla 15 66

Tabla 16 67

Tabla 17 68

Tabla 18 68

Tabla 19 69

Tabla 20 70

Tabla 21 83

Tabla 22 83

Tabla 23 85

Tabla 24 86

Tabla 25 87



Tabla 26	.....	88
Tabla 27	.....	88
Tabla 28	.....	89
Tabla 29	.....	90
Tabla 30	.....	91
Tabla 31	.....	96
Tabla 32	.....	98



INDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Dibujo del Ciclo de acarreo realizado por los camiones mineros.</i>	10
Figura 2	<i>Diagrama de Flujo del Ciclo de Acarreo</i>	11
Figura 3	<i>13Diagrama del proceso de Selección del Sistema de Acarreo ..</i>	13
Figura 4	<i>Gráfica de la distribución típica del tiempo de ciclo de acarreo para flotas de camiones grandes CAT, obtenidas del sistema VIMS...</i>	16
Figura 5	<i>Grafica del grado longitud vs la inclinación para vías de acarreo recomendadas para camiones CAT.</i>	20
Figura 6	<i>Grafica del rendimiento del retardo para el camión 777F CAT, con una longitud de la pendiente de 600m.</i>	22
Figura 7	<i>Grafica de la fuerza de tracción, la velocidad y la inclinación de un 793D MA1 camiones de acarreo CAT.</i>	23
Figura 8	<i>Parámetros a considerar en el diseño de vías de acarreo.....</i>	30
Figura 9	<i>Sección transversal típica de una vía de acarreo para camiones de 320 Ton</i>	31
Figura 10	<i>Tipos de Diseño de Pavimento</i>	34
Figura 11	<i>Sección transversal típica de una vía de acarreo para camiones de 320 Ton.....</i>	34
Figura 12	<i>Espesor de la sección de la vía, base para una presión de 800Kpa</i>	35
Figura 13	<i>Tensión de compresión vertical límite de la capa de pavimento valores para el diseño estructural de carreteras de transporte de minas.....</i>	35
Figura 14	<i>Grafica del costo de operación por tonelada métrica acarreada para camiones grandes CAT.</i>	39
Figura 15	<i>Factores que afectan a la vida de los neumáticos en camiones CAT.</i>	41
Figura 16	<i>Falla en un mando final producto de la sobrecarga de un camión CAT</i>	44
Figura 17	<i>Imágenes de los defectos en las vías de acarreo</i>	46
Figura 18	<i>Principales causas de falla de los neumaticos en camiones CAT</i>	47
Figura 19	<i>Conexión de los Módulos Electrónicos en el camión minero de acarreo777F CAT.....</i>	48



Figura 20	Índice de las condiciones de la Vía de Acarreo obtenidas a través del Software FPC, de CAT.....	49
Figura 21	Informe del Sistema RAC visualizado a través del registrador de datos VIMS	51
Figura 22	Cálculo de los Indicadores del estado de la Vía de Acarreo: Rack, Pitch y Bias,	52
Figura 23	Incremento de la Productividad en el Camión de acarreo CAT ...	54
Figura 24	Vía principal de acarreo de la mina a cielo abierto.....	58
Figura 25	Diseño de la vía de acarreo de la mina a cielo abierto.....	59
Figura 26	Perfil de la principal de acarreo de la mina a cielo abierto, zona a mejorar.	60
Figura 27	Diseño de la vía de acarreo de la mina a cielo abierto.	60
Figura 28	Diseño de la sección transversal de la vía de acarreo	61
Figura 29	Defectos de la vía de acarreo.....	62
Figura 30	Medidas y fuerza ejercida en el suelo por el camión de acarreo CAT 777F.....	63
Figura 31	Fuerza de tracción del camión CAT 777F	64
Figura 32	Retardo del camión CAT 777F.....	65
Figura 33	Consumo de combustible anual de la flota.....	71
Figura 34	.....	71
Figura 35	Grabación de datos de un camión en la vía de acarreo actual Parámetros: Rack, Pitch, Bias.....	73
Figura 36	Mapa de clasificación del índice de severidad de la vía de acarreo (MSI).....	74
Figura 37	Distribución de la carga de un camión, regla de pesaje "10/10/20"	74
Figura 38	Costo de posesión del camión CAT 777F	75
Figura 39	Costo de operación del camión CAT 777F.....	75
Figura 40	Horas programadas para producción	76
Figura 41	Toneladas producidas por horas programadas	76
Figura 42	Costo operativo por mil toneladas acarreadas	77
Figura 43	Costo de la flota de operación del cargador 993K.....	77
Figura 44	Costo de la flota de operación del cargador 993K.....	78
Figura 45	Costo total de operación y posesión de la flota de carguío y acarreo	



	<i>para efectuar el proyecto minero.....</i>	<i>79</i>
Figura 46	<i>Tramo propuesto de la vía de acarreo para implementar la mejora.</i>	<i>80</i>
Figura 47	<i>Perfil de la vía de acarreo antes y después de la mejora. Software RoadEng</i>	<i>81</i>
Figura 48	<i>Proceso del modelamiento y análisis de la vía actual y la vía mejorada.</i>	<i>82</i>
Figura 49	<i>Velocidad de los camiones en la actual vía de acarreo.....</i>	<i>84</i>
Figura 50	<i>Velocidad que desarrollarían los camiones en la vía de acarreo mejorada.</i>	<i>84</i>
Figura 51	<i>Toneladas producidas por hora programada.....</i>	<i>93</i>
Figura 52	<i>Horas programadas para producción</i>	<i>93</i>
Figura 53	<i>Consumo de combustible anual de la flota antes y después de la mejora, software FPC.....</i>	<i>94</i>
Figura 54	<i>Costo Total de operación y posesión de la Flota de carguío y acarreo para efectuar el proyecto minero.....</i>	<i>94</i>
Figura 55	<i>Costo operativo por mil toneladas acarreadas</i>	<i>95</i>



RESUMEN

La presente investigación es llevada a cabo en una unidad minera ubicada al sur Perú, a 2500 m.s.n.m. dedicada a la extracción y procesamiento del mineral de cobre, donde se pretende demostrar el incremento de la productividad de una flota camiones de acarreo CAT modelo 777F mediante el perfeccionamiento de la vía de acarreo por donde transitan estos equipos; mejorando aquellos tramos que no cumplen con las recomendaciones ni criterios de rendimiento, especificadas por el fabricante de estos camiones de acarreo.

El diseño, la construcción y el mantenimiento de la vía de acarreo desempeña un papel importante en la rentabilidad para este proyecto minero; teniendo un impacto directo en los costos de mantenimiento y la productividad de los camiones de acarreo.

En el estudio, se consigna información de las características de la geometría de la vía de acarreo, además de los indicadores del proceso de acarreo del mineral como son: los costos de operación y producción de la flota, cuyos resultados muestran la factibilidad de lograr una mayor eficiencia en su operación la unidad minera, lo que se traducirá en mayores volúmenes de producción y en ahorro de costos.

Palabras clave: *Vías de acarreo en minas, Camiones de acarreo mineros*



ABSTRACT

The present investigation is carried out in a mining unit located in southern Peru, at 2500 m.a.s.l. dedicated to the extraction and processing of copper ore, where it is intended to demonstrate the increase in productivity of a fleet of CAT haul trucks model 777F through the improvement of the haul road where this equipment travels; improving those sections that do not meet the recommendations and performance criteria specified by the manufacturer of these haul trucks.

The design, construction and maintenance of the haul road plays an important role in the profitability of this mining project; having a direct impact on the maintenance costs and productivity of the haul trucks.

The study includes information on the characteristics of the haulage road geometry, as well as indicators of the ore haulage process such as: operating costs and fleet production, whose results show the feasibility of achieving greater efficiency in the operation of the mining unit, which will result in higher production volumes and cost savings.

Keywords: *Mine haulage roads, Mining haulage trucks.*



INTRODUCCION

En el sector minero, el proceso del transporte de minerales puede llegar a representar el 50% de sus costos operativos; las carreteras de acarreo que forman parte de dicho proceso son consideradas un activo importante para una operación minera, de la misma manera que los camiones y las palas, por lo tanto, las buenas prácticas de construcción y mantenimiento de las vías de acarreo son factores críticos en la operación minera.

Las vías de acarreo correctamente diseñadas y optimizadas pueden ayudar a reducir los tiempos de ciclo, reducir el consumo de combustible, el desgaste de los componentes y por ende aumentar las ganancias.

Mediante el proceso de optimización de vías se identifica los tramos y condiciones que no cumplen con los criterios de rendimiento para obtener un tiempo de ciclo excelente de producción y a su vez generar ahorro de combustible de los camiones.

Para lograr esta mejora en el proceso de acarreo de materiales no sólo participa la ingeniería de minas también suele ser el producto de un planeamiento donde interviene la ingeniera civil y de la ingeniería de mantenimiento de equipos. Sin embargo, actualmente, son escasas las herramientas que permiten realizar el análisis de diversos parámetros brindados por estas ingenieras, en función a la eficiencia y productividad del acarreo de materiales.

Por este motivo, en la presente investigación se ha explorado la combinación de diversas herramientas de la ingeniera de mantenimiento y de la ingeniera de construcción de vías para encontrar los beneficios del aumento de la producción y la reducción de los costos operativos de los equipos de acarreo, a través de la



mejora de sus vías.

En este proyecto se tiene como enfoque el desarrollo de una metodología de evaluación del estado actual y diseño de una vía de acarreo de mineral de en una minera ubicada en el sur del Perú y su impacto en la producción del acarreo del mineral realizado por sus camiones mineros; evalúa la práctica actual y la transitabilidad de la vía de acarreo a partir de la producción de los equipos y los correlaciona con los datos obtenidos a través de las herramientas de la ingeniería de vías en nuestro caso el software Road ENG, así como la ingeniería de transporte con el software FPC de CAT, proporcionando el impacto en la producción del mineral que tiene la vía de acarreo, estimando las ganancias y beneficios que se podrían obtener a través de la mencionada optimización.



CAPÍTULO I

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes de la investigación

En Perú tiene gran variedad de operaciones mineras en donde transitan diversos equipos que realizan el acarreo del mineral a través de las vías de tránsito llamadas "Haul Road", cuyo diseño y estado representan un impacto directo en los costos de mantenimiento y la productividad de estos equipos.

Las características de los camiones fuera de carretera de gran envergadura, (Off Highway Truck o OHT por sus siglas en inglés), efectúan el acarreo del mineral en las grandes unidades mineras, afectando directamente el diseño del camino de acarreo y sus procedimientos de construcción.

La geometría del camino de acarreo se compone de muchos factores que incluyen: la pendiente máxima, pendientes transversales del camino, ancho de carrera, etc. El tipo de neumático utilizado en los camiones de acarreo también afecta el diseño de las carreteras de acarreo; la presión de inflado y el tamaño del neumático determinan el tamaño, la forma y la magnitud del bulbo de tensión en las capas de una vía de acarreo.

Otro factor que influye el diseño y la construcción de caminos de acarreo es determinado por las condiciones climáticas del lugar de operación de la unidad



minera; considerando la gran altitud donde se ubican, la mayoría de las minas en nuestro país se encuentra están a más de 4000 msnm y experimentan congelación y descongelación de la calzada durante gran parte del año.

Por lo tanto, el uso de materiales es un factor crítico a considerar en el diseño de las vías de acarreo en la industria minera, el mismo que debe soportar grandes precipitaciones pluviales y cargas constantes ejercidas

por millones de toneladas producto de la circulación de los equipos mineros.

Los caminos de acarreo correctamente diseñados y optimizados pueden ayudar a reducir los tiempos de ciclo, reducir el consumo de combustible, reducir el desgaste de los componentes y aumentar las ganancias.

El proceso de optimización de caminos de acarreo está diseñado para identificar las características que no cumplan con los criterios de rendimiento para los equipos de acarreo y de esta manera obtener su rendimiento óptimo.

1.2 Formulación del problema

Según Caterpillar en su publicación N° 33266 (2019); Los caminos de acarreo bien diseñados y mantenidos son la clave para minimizar los peligros y costos de los vehículos de acarreo, así como para aumentar su productividad.

Sin embargo; el diseño y la gestión de un camino de acarreo para un rendimiento óptimo a menudo es difícil de lograr. Por ejemplo, las vías mal diseñadas y construidas que exhiben una alta resistencia a la rodadura, el incremento del 1% puede reducir la velocidad en rampas hasta en un 10% y acelerar el desgaste de los neumáticos en un 26%. Es decir, afectan directamente a los costos de producción.

Por otra parte, según Thompson (2019), los diseños y mejoras también deben



ser acompañados por la necesidad de minimizar los peligros del transporte. Si bien el diseño mejorado de las carreteras para el transporte de minas reduce los accidentes de transporte, también es necesario reconocer los factores humanos que contribuyen significativamente a los accidentes de transporte como: los componentes de diseño geométrico, estructural y funcional.

Considerando lo descrito nos hemos planteado la siguiente pregunta: ¿Es factible aumentar la productividad, reducir los costos de operación y mantenimiento de una flota de camiones mineros mediante la mejora a su vía de acarreo?

1.2. Diseño de la metodología de la investigación

En la presente investigación se usará el análisis cuantitativo experimental, dado que se analizará los datos históricos recolectados del producto bajo estudio. El tipo de investigación es descriptiva y correlacional.

1.3. Hipótesis de la investigación

1.3.1. Hipótesis general

Es posible mejorar la actual vía de acarreo donde transitan camiones mineros en esta unidad minera.

1.3.2. Hipótesis específica

Si realizamos la mejora de la vía de acarreo en esta unidad minera se logrará reducir los costos de operación y mantenimiento, aumentando la productividad de una flota de camiones mineros.

1.4. Variables de la investigación

1.4.1. Variable independiente



Tabla 1

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	COMPONENTES
Mejora de la actual vía de acarreo	Vía para el transporte de materiales en minas desde los sitios de excavación o producción, hasta los sitios de disposición o aplicación.	Situación Actual	<p>Información: Sistema de Gestión de la flota y condiciones de minas.</p> <p>Métodos: Procedimientos de reconstrucción de técnicos Internos.</p> <p>Procedimientos: Técnicos del Fabricante de las piezas.</p> <p>Maquinas: Herramientas, equipos del taller</p> <p>Personal: Capacitación, Evaluación del Desempeño</p>

Nota: Elaboración Propia

1.4.2. Variable dependiente

Tabla 2

Variable de la investigación

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES
Condición de la actual vía de acarreo	Procesos	Cumplimiento del procedimiento de recuperación del componente.
	Operativa	Baches, Corrugaciones, Pedregosidad, Grietas, pendientes excesivas.
	Tecnológica	Control de metrología y pruebas de funcionamiento en el componente reconstruido.
La Flota actual de los Camiones Mineros Fuera de Carretera	Administrativa	Galones de combustible consumido
	Financiera	Costos de mantenimiento
	Operativa	Toneladas métricas producidas Resistencia a la rodadura

Nota: Elaboración Propia



1.5. Población y muestra

1.5.1. Población

Para el presente proyecto de investigación la población está determinada por las vías de acarreo para camiones mineros que posee esta unidad minera.

1.5.2. Muestra

La muestra es la parte representativa de la población, en nuestro caso será una sola vía de acarreo donde transitan los Camiones 777F de la unidad minera.

1.6. Objetivos

1.6.1. 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.

1.6.2. Objetivos específicos

- Elaborar el marco teórico enfocado en el diseño y construcción en las vías de acarreo para camiones mineros.
- Describir las ventajas y desventajas que tienen actualmente la vía de acarreo respecto al desempeño de la flota de camiones mineros.
- Elaborar el diseño de la mejora en vía de acarreo.
- Realizar el comparativo entre la actual vía y vía de acarreo mejorada.
- Describir, sus ventajas y desventajas respecto al anterior diseño de la vía de acarreo a través del software Fleet Production & Cost Analysis (FPC).

1.7. Justificación de la investigación

En relación a lo económico, actualmente los costos de operación y mantenimiento de la flota de camiones son de 10 millones de dólares



anuales y la productividad de la flota es de 42 millones de toneladas anuales y mediante la optimización de vía de acarreo se desea reducir estos costos aumentar la productividad de esta flota.

Sobre el aspecto ambiental, al reducir el consumo de combustible de la flota de camiones mineros contribuirá a reducir las emisiones contaminantes producto de la combustión de los motores diésel.

En relación a lo tecnológico, se aplicará softwares de diseño de vías, así como simuladores del desempeño de la flota en la nueva vía de acarreo. Sobre el aspecto social, el nuevo diseño de vía de acarreo tendrá un impacto positivo en la seguridad de la operación de la flota de camiones mineros y en la unidad minera.

En relación al aspecto legal, el nuevo diseño de la vía de acarreo será realizada en base a lo estipulado en el marco legal del Ministerio de Energía y Minas y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así como los estándares internacionales de vías de tránsito.

1.9.- Limitaciones de la investigación.

El trabajo de investigación se tiene las siguientes limitaciones:

- Los acuerdos de confidencialidad de la información entre el investigador y la empresa donde actualmente laboramos que imposibilitan publicar en la presente investigación el origen de los datos obtenidos de la unidad minera.
- La escasa información en nuestro medio respecto a la productividad de los camiones mineros en relación al diseño y mantenimiento de sus vías de acarreo es una de las limitantes para el desarrollo óptimo de la presente investigación.
- La obtención de la información de campo como: el levantamiento topográfico de la actual vía es inviable por el momento para la unidad minera.



- En el desarrollo del presente proyecto de investigación para la consecución de los objetivos es imprescindible aplicar herramientas tecnológicas exclusivas del fabricante CAT como el VIMS y el FPC así como también softwares de diseño de vías como el ROADENG.
- El plan de desvío de los camiones de acarreo y el impacto que se generan en su producción al efectuar el proyecto de mejora en la vía de acarreo.
- El diseño de la mejora de la vía a través del software FCP es un factor crítico para estimar los beneficios en el incremento de la productividad y reducción de los costos mantenimiento de los camiones de acarreo.

La matriz de consistencia de la presente investigación se encuentra en el Anexo I.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Minería a cielo abierto

Según Bellotti (2011), se denomina minería a cielo abierto u "Open Pit" al proceso de explotación minera que tienen lugar en la superficie terrestre cuando el yacimiento brota en superficie o a muy poca profundidad, a diferencia de las minas subterráneas. En la mayoría de casos en las minas "Open Pit" se construyen rampas de acceso que son parte de las vías de acarreo, alrededor de los "cráteres" o "tajos" en forma de espiral, para que los camiones de acarreo puedan transportar el mineral desde el fondo del yacimiento hasta ser llevado a una planta de conminución de mineral para luego continuar con el proceso de producción del mineral. La vía de acarreo y su relación con los camiones de acarreo son elementos de análisis en la presente investigación. (Pág. 01 y 02).

2.2 Características de la minería a cielo abierto

Según Armstrong et al (1998), una buena planificación del trazado y diseño de la mina "Open Pit", permitirá extraer la cantidad mínima de material y obtener una máxima recuperación de la inversión procesando el producto mineral más comercializable. En relación al aumento de la profundidad de las minas a cielo abierto, el costo del transporte de los residuos y del mineral hasta la superficie o el vertedero también se incrementa, por lo tanto; alcanzada una determinada



profundidad del tajo resultará más económica aplicar métodos de minería subterránea que de cielo abierto. La mayoría de estas minas "Open Pit", son de forma cónica, se construyen con una serie de mantos o antepechos concéntricos divididos por el acceso a la mina y las vías de acarreo que descienden desde el borde de la mina hasta el fondo en forma de espiral o zigzag. (cap. 74, pág. 20).

2.3 Operaciones en minería a cielo abierto

Según Amstrong et al (1998), el ciclo de operaciones unitarias en la minería "Open Pit" consiste en las siguientes etapas: perforación y voladura, carga, transporte o acarreo y tratamiento del mineral.

2.3.1 Perforación y voladura

La perforación y voladura es el primer proceso que se realiza en la mayoría de las minas para la extracción del mineral, el uso de explosivos es el método más utilizado en la voladura para fragmentar la roca dura, eliminando la capa de cobertura del suelo. En el proceso de perforación

se usan equipos en función de la naturaleza del mineral y de la velocidad y profundidad de los barrenos, los agujeros creados por los equipos de perforación son llenados con explosivos. En este proceso hay que tener en cuenta el tiempo necesario para preparar el lugar para las actividades de carga y arrastre posteriores.

2.3.2 Carguío

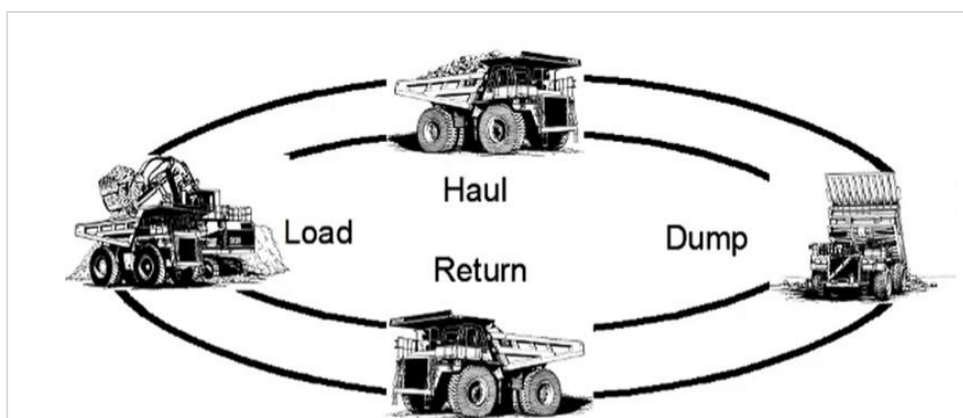
Consiste en cargar el material fragmentado del proceso de voladura sobre equipos de acarreo de material. En la minería por "Open Pit" los equipos de carguío a utilizar en la mayoría de casos son: Pala de cable, Pala hidráulica y/o Cargador Frontal. Los camiones de acarreo puedan cargarse por el equipo de carguío generalmente de manera eficiente en tres a cinco ciclos o pases.

2.3.3 Acarreo

Consiste en transportar el material fragmentado a través de camiones de acarreo, correas o fajas transportadoras y/o ferrocarriles, desde la zona de voladura hacia una planta de conminución del mineral y/o zonas de botaderos de material con baja ley o estériles. Los equipos de acarreo al igual que los equipos de carguío, cumplen un rol fundamental en el proceso minero, ya que sus costos son determinantes para el balance económico de la Unidad Minera. A continuación, se detalla en el diagrama de la Figura 2.1 las etapas del ciclo de acarreo realizado por camiones mineros:

Figura 1

Dibujo del Ciclo de acarreo realizado por los camiones mineros



Nota: presentación de CAT, Proyecto de mejora en vías de acarreo, 2011, pág 168

2.3.4 Tratamiento del mineral

Dependiendo del mineral si es oxidado debe pasar el proceso de Chancado, Lixiviación, Extracción por Solventes y Electro obtención. Si el mineral es sulfurado debe pasar el proceso Conminución,

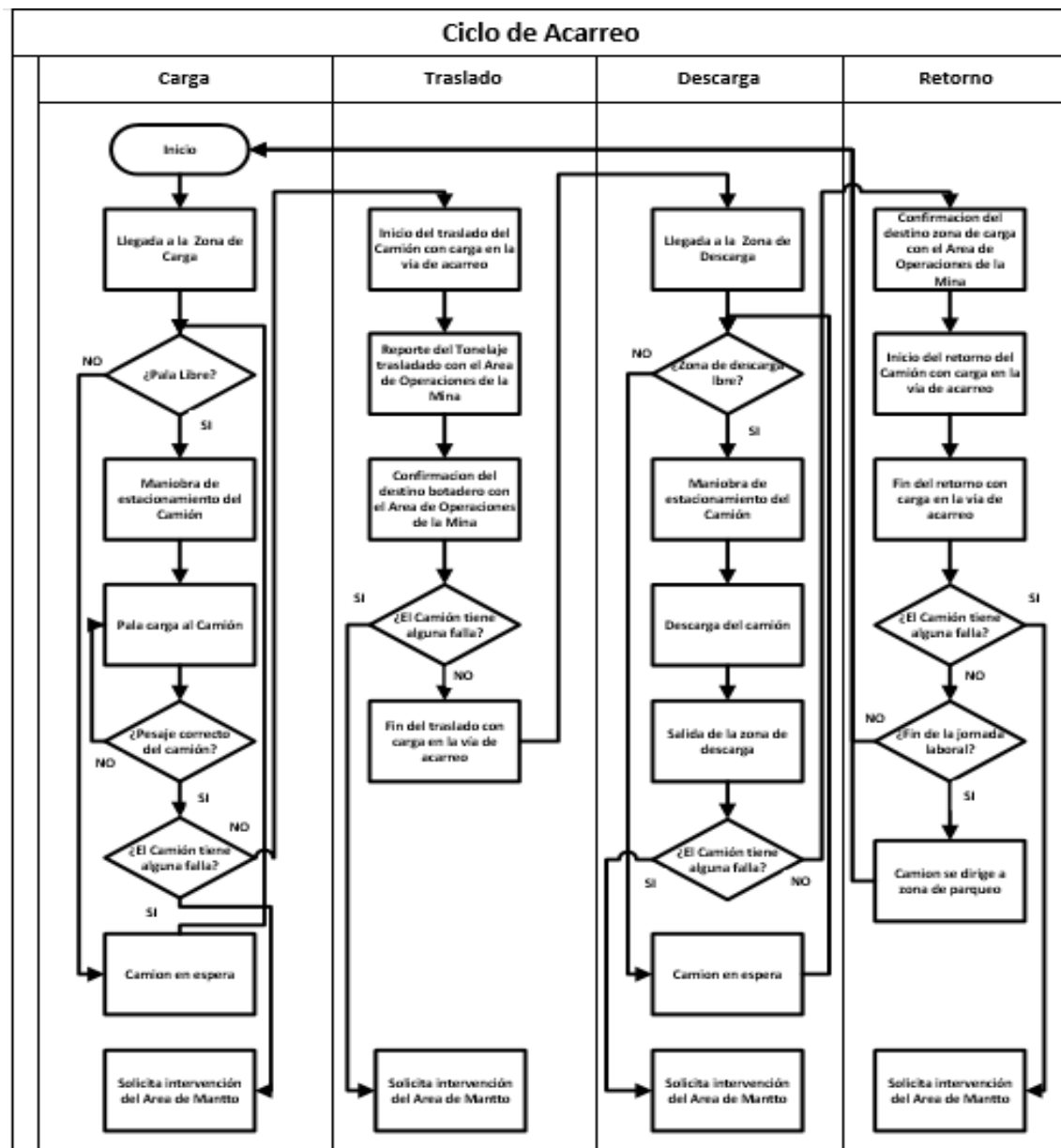
Concentración por Flotación, espesamiento filtrado y secado, fusión conversión y refino. Alrededor del 90% de la producción mundial de cobre proviene de los

minerales de sulfuros,

Los métodos por disolución superficial presentan dos características comunes: el mineral se extrae de la forma habitual y se apila en montones y luego se vierte una solución acuosa en la parte superior del montón que reacciona químicamente con el metal de que se trate y, cuando éste escurre por el montón, se recoge y procesa.

Figura 2

Diagrama de Flujo del Ciclo de Acarreo



Nota: Elaboración propia en base a nuestra experiencia



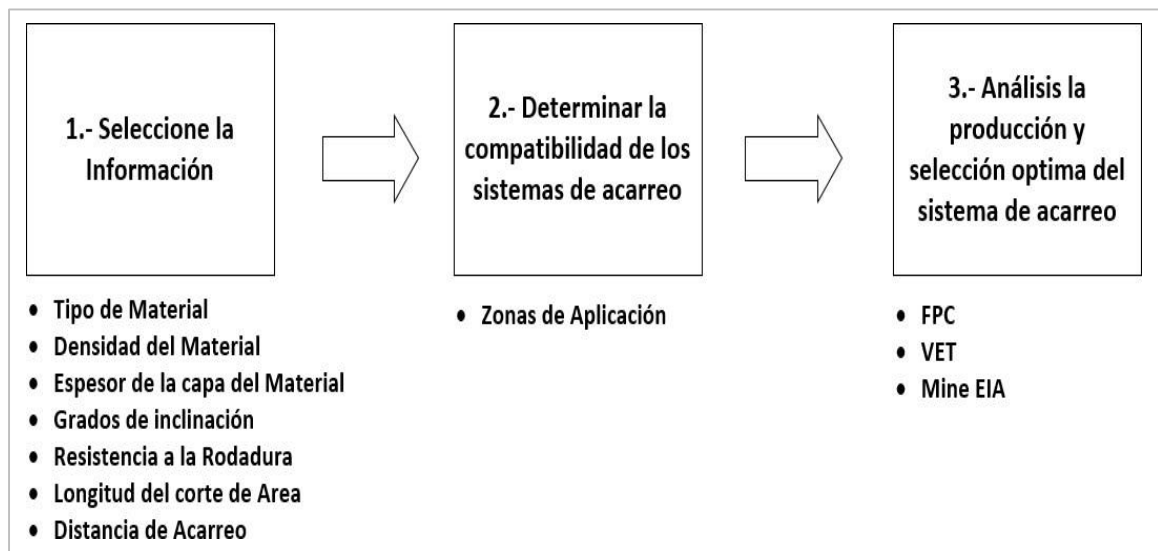
2.4 Selección del sistema de acarreo para la minería a cielo abierto

Según Armstrong et al (1998), los factores que deben considerarse para la selección del equipo de minería son: la topografía de la mina y del área circundante, la cantidad de mineral que va a extraerse, la velocidad y distancia

a que debe transportarse el mineral para su procesamiento y la vida útil estimada de la mina. La cantidad del volumen de extracción del mineral está en función a la capacidad de los equipos a ser aplicados en la operación de la mina que son móviles en su gran mayoría, así los equipos de carguío deben estar seleccionados en función a la capacidad de los equipos de acarreo. Las zonas de tránsito y las áreas de mantenimiento de la unidad minera deben ser diseñadas de acuerdo al tamaño de los equipos mineros móviles (cap. 74, pág. 20).

Según CAT¹, marca comercial perteneciente a CAT²; en su publicación N° 06122019 (2019), indica que no hay un sistema de transporte ideal para todos los trabajos de movimiento de tierras, las características de la vía, los materiales, los perfiles de elevación es decir las condiciones en general difieren en cada sitio de trabajo, por lo tanto realizar una evaluación particular del proyecto, nos permitirá seleccionar un sistema de transporte apropiado que permitirá obtener un mejor rendimiento, mayor potencial de ganancias, aumentando también la productividad y disminuyendo los costos de operación de la flota de equipos móviles de acarreo que seleccionemos.

El proceso de selección del sistema de acarreo que a continuación se muestra en el Diagrama 02 utiliza de tres pasos para elegir el sistema de acarreo óptimo para un lugar de trabajo.

Figura 3*Diagrama del proceso de Selección del Sistema de Acarreo*

Nota: Presentación de CAT (2013) "Hauling System Selection Process", 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. Utilice las recomendaciones de la zona de aplicación para determinar los sistemas de transporte compatibles.
3. Realice un análisis detallado de la productividad y los costos con el software de CAT como: Fleet Production & Costing (FPC), Mine EIA

¹CAT: Marca comercial perteneciente a la cartera de marcas de CAT Inc., fue fundada en 1949 y relanzada en 2012, representa productos y servicios relacionados con la industria de la minería, construcción y petróleo. ²CAT Inc: Corporación fundada en 1925, líder mundial en la fabricación de maquinaria para la construcción de equipos de minería, motores diésel y turbinas industriales de gas.

o Value Estimating Tool (VET) y/o el Manual de rendimiento de CAT para seleccionar el sistema de transporte óptimo para la aplicación. (pág. 02 y 03).

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

Según CAT en su publicación N° 33266 (2019), en relación a su construcción resistencia a la rodadura en las vías de acarreo influye directamente en la velocidad de los camiones y, en consecuencia, a su productividad.

Para determinar el grado de rodadura es necesario conocer si la vía de acarreo será permanente o temporal. En caso la vía de acarreo fuse temporal suelen ser producto de una construcción inferior con una alta resistencia a la rodadura del 3% al 20%. Esta vía suele utilizarse para acceder a las zonas de pala y descarga; y tienen una vida útil limitada a días o semanas.

Las vías de acarreo permanentes o semipermanentes son de mejor calidad de construcción y suelen ofrecer una resistencia a la rodadura mucho menor. La vida útil suele medirse en meses o años. La resistencia a la rodadura varía del 1,5 al 10 por ciento, según la envergadura del proyecto minero y su nivel de inversión.

El diseño, la construcción y el mantenimiento de las vías de acarreo mineras desempeñan un papel importante en la rentabilidad de una mina; a parte de los costos de construcción y mantenimiento de la vía, el costo más importante tiene impacto en la productividad y mantenimiento de la flota de los camiones de acarreo.

El análisis de la vía de acarreo permite conocer los atributos y defectos más destacados que afectan estos costos permitiendo tomar acciones proactivas para mejorar el estado de la vía, evitando también que ocurran fallas prematuras en los camiones.

Las condiciones de la superficie tienen un impacto directo en la vida útil de los componentes del camión y de sus neumáticos, así como también en el consumo de combustible y los tiempos de ciclo de acarreo, que es un indicador de rendimiento clave para evaluar la severidad de la aplicación en una flota de camiones. De la misma forma la administración incorrecta de su carga útil puede afectar la durabilidad de sus componentes. Por lo tanto; en caso se pretenda beneficiar la producción descuidando el mantenimiento y operación de los equipos traen efectos perjudiciales sobre el rendimiento y sus costos de operación. (pág. 33 y 34)

El ciclo de acarreo, según CAT en su publicación N° N° 06122019 (2019), puede cuantificarse con los siguientes indicadores:

2.5.1 Distancia del ciclo de acarreo

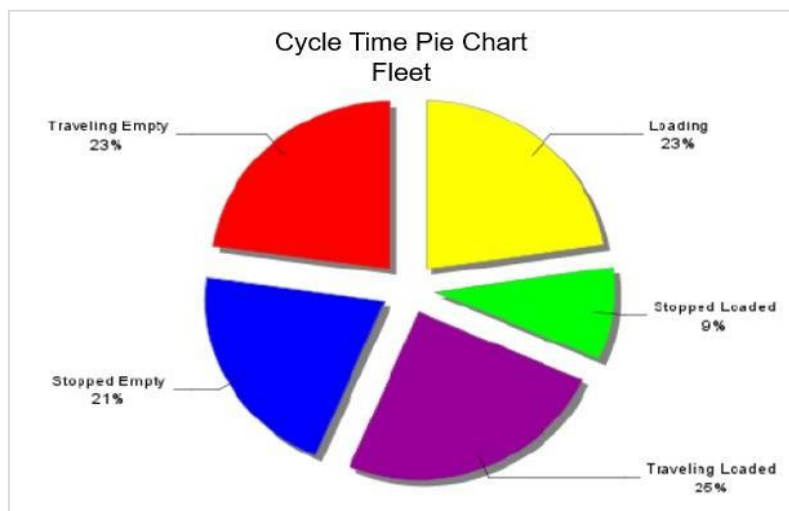
La distancia del ciclo de acarreo es obtenida de manera automática por los sistemas electrónicos en los camiones de acarreo CAT a través el Sistema de Administración Vital (VIMS). Es el promedio es la suma de las distancias totales de recorrido sin y con carga, dividido por el recuento de cargas reales transportadas durante el período que se tiene en cuenta.

2.5.2 Tiempo del ciclo de acarreo

El tiempo de ciclo de acarreo promedio es obtenido de manera automática por el VIMS. Este promedio se calcula dividiendo los tiempos de recorrido totales (sin + con carga) con el recuento de cargas reales transportadas durante el período en cuestión. El tiempo de inactividad promedio se calcula dividiendo la suma de los tiempos de parada reales (detenido sin carga + detenido con carga) y los tiempos de carga totales por el recuento de cargas reales transportadas.

Figura 4

Gráfica de la distribución típica del tiempo de ciclo de acarreo para flotas de camiones grandes CAT, obtenidas del sistema VIMS.



Nota: CAT Truck Production Management System, October 2014

La Figura 2.4 muestra la distribución del tiempo en el ciclo de producción de los camiones de acarreo donde el 50% del tiempo se encuentran en espera por ser cargado o espera por ser descargado o detenidos en vacío, el otro 50% del tiempo los camiones de acarreo se encuentran transitando en la vía de acarreo ya sea cargado o sin carga.

2.5.3 Velocidades de ciclo de acarreo

La velocidad de ciclo de acarreo promedio de los camiones es obtenida de manera automática por el VIMS. Las velocidades promedio sin y con carga se calculan dividiendo las distancias de trayecto totales (sin + con carga) entre los tiempos de viaje totales (sin + con carga) (pág. 33).

2.6 Diseño de la Vía de Acarreo

Según CAT en su publicación N° 33266 (2019), el diseño de la mina implica la determinación de diversos parámetros de las carreteras de transporte, como la



pendiente, el trazado de la circulación, las curvas, las intersecciones y los zigzags. Estos elementos geométricos de las carreteras de transporte deben estar diseñados para proporcionar un viaje seguro y eficiente a velocidades normales de funcionamiento de los camiones de acarreo.

2.6.1 Distancia de parada de la máquina

Es la distancia de frenado a una velocidad máxima del equipo de ruedas más pesado que circula por la vía de acarreo antes de alcanzar un obstáculo o peligro.

2.6.2 Distancia de visibilidad en curvas

La distancia de visibilidad se define como «la extensión del área periférica visible para el operador de la máquina». Es imprescindible que la distancia de visibilidad en las curvas verticales y horizontales sea suficiente para que una máquina que circule a una velocidad determinada pueda detenerse antes de alcanzar un peligro u obstáculo. La distancia entre el ojo del operador y el peligro que tiene delante debe ser siempre igual o superior a la distancia de frenado requerida.

2.6.3 Diseño del ancho

El ancho de las carreteras de transporte, tanto en los tramos rectos como en los curvos, debe ser suficiente para permitir una maniobrabilidad segura. Para las carreteras de un solo sentido (1), como se muestra en la Tabla 2.1, se recomienda un mínimo de 3 anchos de camión. Para las vías de doble sentido, las rectas (2) requieren de 3 a 3,5 anchos de camión y para las curvas (3) debe haber de 3,5 a 4 anchos.

Tabla 3

Dimensiones recomendadas para la vía de acarreo donde transitan camiones de acarreo CAT.

Modelo	Tolva	Ancho Total	Un solo sentido	Dos caminos	Dos caminos (En
			(Esquinas rectas)	(Rectas)	esquinas)
			3 X	3.5 X	4 X
777F	Dual Slope	6.50 m (21" 4")	19.51 m (74" 8")	22.75 m (21" 4")	26.00 m (85" 4")
785C	Dual Slope	6.64 m (21" 9")	19.92 m (76" 2")	23.24 m (21" 9")	26.56 m (87" 0")
789C	Dual Slope	7.67 m (25" 2")	23.01 m (88" 1")	26.85 m (25" 2")	30.68 m (100" 8")
793D	Dual Slope	7.70 m (25" 3")	23.10 m (88" 5")	26.95 m (25" 3")	30.80 m (101" 0")
797B	Dual Slope	9.15 m (30" 0")	27.45 m (105" 0")	32.00 m (30" 0")	36.60 m (120" 0")

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

2.6.4 Patrón del tráfico

La mayoría de las minas utilizan un patrón de tráfico a la izquierda. Esto coloca al operador sobre el borde exterior de las carreteras de transporte mientras está en la pendiente, dándole una mejor vista del borde de la carretera, la línea de la zanja y la berma. En caso de colisión, los operadores están en el exterior del camión y tienen más posibilidades de estar lejos de la zona de contacto.

2.6.5 Diseño de la pendiente transversal

Por lo general, las pendientes deben ser uniformes y constantes para minimizar los cambios de transmisión y mantener una mayor velocidad media en las pendientes. Esto también permite un esfuerzo de frenado más constante en el viaje de vuelta; y evita que el ralentizador entre y salga debido a una pendiente irregular.

Las carreteras con pendientes transversales constantes deben diseñarse de

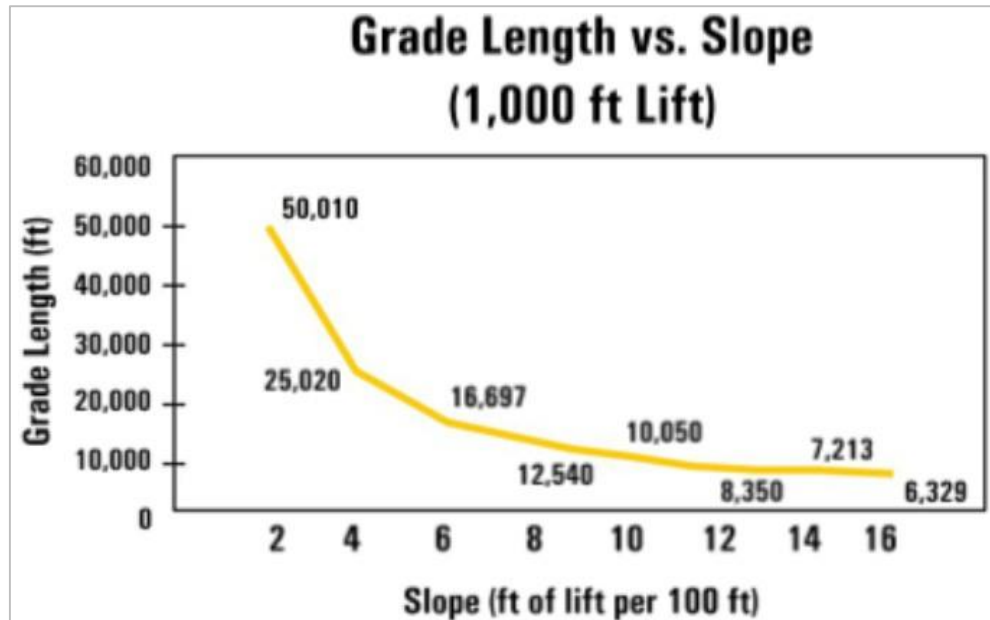


manera que el lado alto sea el de transporte y el corte de drenaje esté en el lado bajo o de retorno. Esto mantiene el equilibrio del camión ligeramente inclinado hacia el centro de la carretera, que suele ser más estable que los bordes. De este modo, se equilibra la distribución de la carga en los camiones y se reduce el grado de inclinación y torsión del chasis. En las zonas planas, debe aplicarse la pendiente mínima para mantener el drenaje en función de las condiciones pluviométricas previstas en el lugar. Si las condiciones lo permiten, debe considerarse una pendiente transversal constante del 2 %, con camiones cargados que circulen por el lado «ascendente» de la carretera.

La pendiente óptima es un factor de tiempo y distancia, cuanto más rápido se vaya -o más corta sea la distancia- más rápido se llega. El tiempo de ciclo del camión es el indicador básico de rendimiento a la hora de calcular la pendiente óptima. El tiempo de ciclo incorpora los efectos totales de todos los factores que influyen en el coste por tonelada. Además, el tiempo también es un factor de consumo de combustible. Una distancia más corta suele proporcionar un menor tiempo de viaje. Sin embargo, en una mina, la distancia recorrida en una pendiente varía en función de la subida vertical necesaria y de la pendiente de las carreteras de transporte. Por ejemplo, según la Figura 2.5, para subir mil pies, una máquina tendría que recorrer 50.000 pies en una pendiente del 2 % o 10.000 pies en una pendiente del 10 %.

Figura 5

Grafica del grado longitud vs la inclinación para vías de acarreo recomendadas para camiones CAT.



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

CAT recomienda limitar las pendientes de las carreteras de transporte a un 8 % a 10 % con la menor resistencia a la rodadura posible. Se desea una resistencia a la rodadura del 2 % o inferior. Esto permite un rendimiento óptimo del camión, prolonga la vida útil de los neumáticos y permite un control seguro del camión. Según Tannant y Regensburg 2001, la pendiente máxima para camino de acarreo se recomienda limitarla a 10%, y en general, se aconseja evitar pendientes superiores al 8%. (pág. 04).

Lo ideal es que un grado favorable no supere el 1:10 (10 %). Los objetivos deben ser del 12 % de la pendiente efectiva total con los camiones operando en 2ª marcha o superior. La pendiente efectiva total es igual a la pendiente más la resistencia a la rodadura. Además, las cargas útiles deben mantenerse dentro de las directrices de



carga útil de CAT según su "regla 10-10-20".

Cada mina debe evaluar su aplicación y determinar la selección de marchas segura y óptima para el retardo de bajada de los camiones. El método para comunicarlo a los operadores es a través de señales colocadas en la vía de acarreo.

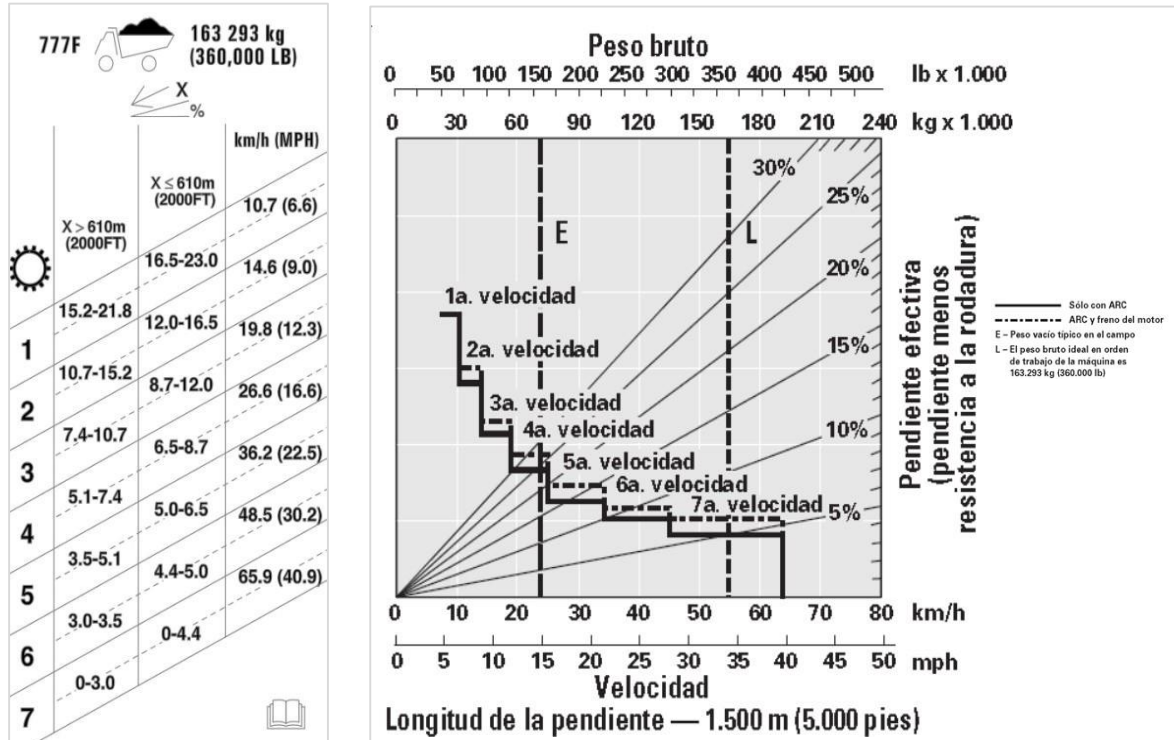
Según el Folleto Técnico del Camión de Obra 777F CAT N° ASHQ5749- 01, para determinar el rendimiento de retardo, se debe sumar las

longitudes de todos los tramos cuesta debajo de la vía de acarreo y, usando este total, se debe consultar la tabla de retardo correspondiente.

La figura 2.6 muestra el retardo para el camión CAT 777F, la misma que se basa en las siguientes condiciones: temperatura ambiente de 32° C (90° F), a nivel del mar, con neumáticos 27.00 R49. Así mismo también, se recomienda seleccionar la velocidad apropiada para mantener las rpm del motor en el nivel más alto posible, sin llegar a la sobre velocidad del motor. Si el aceite de enfriamiento se recalienta, se debe reducir la velocidad de desplazamiento del camión para permitir que la transmisión cambie a la gama de velocidad inmediatamente inferior. Por ejemplo, en la figura 2.6 si tenemos una pendiente con una longitud mayor a 1500m., con una pendiente efectiva en descenso del 12% y el camión está trasladándose cargado, su velocidad máxima de descenso debería ser de 14.6 Kph. en 2da marcha y activando el ARC (Automatic Retarder Control) y freno motor.

Figura 6

Grafica del rendimiento del retardo para el camión 777F CAT, con una longitud de la pendiente de 600m.

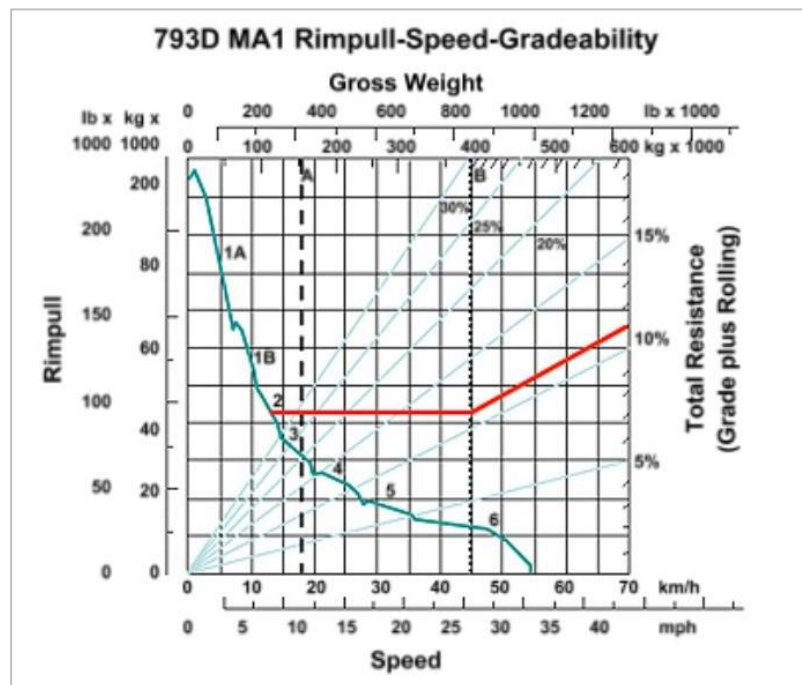


Nota: Folleto Técnico del Camión de Obra 777F CAT N° ASHQ5749- 01.

A continuación, se muestra en la figura 2.7 la fuerza de tracción, la velocidad y la inclinación de un camión 793D. Si tenemos una resistencia total del 12%, (02% resistencia a la rodadura +10% pendiente), siendo el peso máximo de 383.740 kg. el camión se encontrará en 2da marcha, con una velocidad máxima de 12 KPH.

Figura 7

Grafica de la fuerza de tracción, la velocidad y la inclinación de un 793D MA1 camiones de acarreo CAT.



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

Sobre la transferencia de carga en pendiente; en una pendiente descendente (A), un porcentaje del peso de la máquina (B) se desplaza al eje delantero. Este peso extra se transfiere al suelo a través de los neumáticos delanteros, que es la condición es más grave cuando se viaja cargado.

Por ejemplo, en una pendiente descendente del 5 %, la carga sobre los neumáticos delanteros de un camión que viaja a plena carga aumenta un 8 %. En una pendiente del 10 %, la carga extra transferida a los neumáticos delanteros es del 16 %. El hecho de poner más carga en el tren delantero, junto con viajar a altas velocidades y frenar con frecuencia, reduce drásticamente la vida útil de los neumáticos.



2.6.6 Diseño de la alineación vertical

La alineación vertical se ocupa de diseñar las pendientes y las curvas verticales para permitir distancias de parada y de visibilidad adecuadas en todos los segmentos de las carreteras de transporte. Las pendientes deben estar diseñadas para las limitaciones de frenado del equipo en uso para crear un entorno de transporte seguro. Esto también se aplica a las situaciones en las que las crestas de colina en la carretera impiden la visibilidad del operador hasta el punto de que la distancia de parada supera la longitud de la calzada visible por delante.

2.6.7 Diseño de la alineación horizontal

La alineación horizontal implica el diseño y la construcción de carreteras de transporte para el funcionamiento seguro de las máquinas en las curvas. Esto incluye la anchura, el peralte, el radio de giro y las distancias de visión adecuadas. La correcta alineación horizontal es esencial tanto para la seguridad como para la eficiencia a lo largo de un ciclo de transporte. Las alteraciones de los criterios de diseño adecuados deben ir acompañadas de una reducción de la velocidad de funcionamiento

2.6.8 Diseño de curvas y vías en zigzag

Dado que las carreteras de transporte existen para permitir el movimiento de material de un punto a otro al menor coste posible, el diseño de las curvas y zigzags debe incluir el rendimiento de los camiones como parte de la consideración general. Diseñar carreteras de transporte para que las velocidades de los camiones sean constantes y con mínimas ralentizaciones proporcionará un rendimiento óptimo. El rendimiento de los camiones puede influir más en los costes totales de la minería que el coste inicial de la construcción de la carretera. Las curvas mal diseñadas que



ralentizan los tiempos de ciclo pueden añadir miles de dólares al coste por tonelada transportada cada día. El diseño de las curvas y zigzags debe tener en cuenta el movimiento de los camiones en ambas direcciones. Una mayor velocidad en vacío aumenta la producción, al igual que una mayor velocidad en el transporte.

2.6.9 Diseño del peralte

Peraltar las curvas de las carreteras de transporte es muy parecido a peraltar curvas en una pista de carreras. Esto contrarresta las fuerzas centrífugas creadas por el cambio del sentido de la marcha de la unidad de transporte y permite una mayor velocidad de desplazamiento en la curva. Las curvas también ayudan a eliminar las fuerzas laterales que contribuyen al alto desgaste de los neumáticos y a la separación de las lonas. En las curvas planas, «no superadas», el transportista se inclina, lo que provoca tensiones en el bastidor y los neumáticos y desplaza el material hacia el exterior de la curva. Sin embargo, hay un límite práctico hasta el que se pueden peraltar las carreteras, ya que las altas pendientes transversales en las curvas provocan mayores cargas en las ruedas interiores. Esto aumenta el desgaste de los neumáticos y las posibles tensiones de flexión en el bastidor de la máquina y podría hacer que la máquina se deslizara por la pendiente transversal en condiciones de hielo o resbaladizo. La transición, o «salida», entre una sección transversal normal de la carretera y un peralte debe ser gradual y varía con la velocidad de la máquina y el cambio total de la pendiente transversal.

Las máquinas que negocian las curvas son forzadas radialmente hacia fuera debido a las fuerzas centrífugas. Las fuerzas que contrarrestan son la fricción lateral entre los neumáticos y la superficie de la carretera y el peso de la máquina debido a la inclinación en la curva. Este sistema evita el exceso de tensión de los neumáticos en las curvas. El grado correcto de inclinación (peralte) combinado con el radio



adecuado puede calcularse en esta tabla. Por ejemplo, un camión que viaja a 20 millas por hora en una curva de 150 pies, el peralte debe ser de un mínimo del 18 %.

2.6.10 Diseño de los radios de giro

Una de las principales consideraciones para el diseño de las curvas y zigzags es utilizar el radio práctico máximo. Una curva de mayor diámetro permite aumentar la velocidad de la carretera de forma segura, reducir la congestión del tráfico y reducir el desgaste tanto de la carretera de transporte como del camión. Las curvas pronunciadas son a veces necesarias, pero aumentarán el coste por tonelada transportada. Los neumáticos dobles de los ejes motrices «se retuercen» y «caminan como elefantes» en las curvas cerradas, lo que provoca un desgaste adicional tanto de los neumáticos como de las carreteras de transporte. Hay que hacer todo lo posible para que las velocidades sean lo más constantes y suaves posible. El peralte debe utilizarse cuando las velocidades superan los 15 km/h (10 mph). Sin embargo, un peralte superior al 10 % debe utilizarse con precaución debido al peligro de deslizamiento lateral en condiciones de humedad. Las velocidades más altas requieren carreteras más anchas y peraltes más pronunciados. Las velocidades más bajas permiten carreteras más estrechas y elevaciones más bajas.

Tabla 4

Super elevación en curva y radio de giro recomendado para la vía de acarreo donde transitan camiones de acarreo CAT.

Radio de Giro		Velocidad							
m	ft	16 Km/h (10 mph)	24 Km/h (10 mph)	32 Km/h (15 mph)	40 Km/h (20 mph)	48 Km/h (25 mph)	56 Km/h (35 mph)	64 Km/h (40 mph)	72 Km/h (45 mph)
15.2	90	13%	13%	—	—	—	—	—	—
30.5	100	7%	15%	27%	—	—	—	—	—
45.7	150	4%	10%	18%	28%	—	—	—	—
61	200	3%	8%	13%	21%	30%	—	—	—
91.5	300	2%	5%	9%	14%	20%	27%	—	—
152.4	500	1%	3%	5%	8%	12%	16%	21%	27%
213.4	700	1%	2%	4%	8%	9%	12%	15%	19%
304.9	1000	1%	2%	3%	4%	6%	8%	11%	14%

Nota: Manual de Rendimiento CAT, 2015.

Según el Manual de Rendimiento CAT, 2015; para las curvas super elevadas se debe determinar una velocidad segura para hacer un giro con cierta fuerza lateral del neumático. En general, un 20 % de coeficiente lateral de tracción es conservador para todo, menos para el hielo en condiciones resbalosas, lo cual hace que las tablas sean seguras de usar para la mayoría de las aplicaciones. La siguiente tabla muestra la velocidad máxima con diversas super elevaciones para mantener un coeficiente lateral de 0,20 de tracción. Puede que se necesite una sección de transición a velocidades más altas al entrar o salir de un giro super elevado. Cap. 30, pág. 03

Tabla 5

Velocidad máxima en curvas para diversos grados de super elevación con coeficiente lateral de tracción de 0,20<<

RADIO DE GIRO		Curva plana		5 % Superelevación		10 % Superelevación	
m	pies	km/h	mph	km/h	mph	km/h	mph
7,6	25	14	9	16	10	17	11
15,2	50	20	12	22	14	24	15
30,5	100	28	17	31	19	34	21
45,7	150	34	21	38	24	42	26
61,0	200	39	24	44	27	48	30
91,5	300	48	30	54	34	59	37
152	500	62	39	70	43	76	47
213	700	74	46	–	–	–	–

Nota: Manual de Rendimiento CAT, 2015

2.6.11 Diseño de bermas

Una berma de seguridad típica tiene forma triangular o trapezoidal y está formada por material obtenido durante la retirada del estéril o la construcción de carreteras de transporte. La eficacia de la berma depende principalmente del ángulo natural que adopta el material después de ser depositado. Cuanto más pronunciada sea la pendiente lateral, más eficaz será la berma. Una ventaja definitiva de este estilo es su tendencia a redirigir, en lugar de impactar, la máquina durante un encuentro.

La altura es el principal factor a tener en cuenta en la construcción de las bermas. La regla general con respecto a la altura es que debe ser igual o mayor que el radio de rodadura del neumático de la máquina para redirigir adecuadamente la unidad de transporte.

Las bermas de menor altura pueden no permitir al operador un tiempo de respuesta suficiente antes de montarse y atravesar o sobrepasar la berma por completo.

Menos habitual, la altura de la berma con canto rodado debe ser aproximadamente

igual a la altura

del neumático de la máquina. Esto permite que la máquina impacte contra la berma en un punto lo suficientemente alto del chasis como para reducir la posibilidad de vuelco y mejora la capacidad de desviación de la berma.

En general, las bermas deben colocarse a lo largo de los bordes de todas las zonas de descarga y a lo largo de las carreteras de transporte y las curvas siempre que exista la posibilidad de que se produzca un accidente que podría evitarse con la existencia de una berma.

El costo de construcción y mantener una berma es menor en comparación con otros elementos de seguridad alternativos. Y si la berma tiene éxito solo una vez en la prevención de un accidente potencialmente grave, se amortiza con creces en comparación con el coste de las lesiones, la sustitución de una unidad de transporte o el tiempo de producción perdido.

2.6.12 Diseño de drenajes

Las bermas tienen zonas diseñadas para que el agua pueda ser conducida a una zona de contención junto a las carreteras de transporte. Las tuberías drenan el agua bajo las carreteras de transporte a una zona de contención más grande para su almacenamiento o a una estación de abombamiento.

2.6.13 Diseño de bombeo y convexidad

El abombamiento y la pendiente transversal son importantes para permitir que el agua de lluvia fluya libremente hacia las zanjas para mantener baja la resistencia a la rodadura, evitar daños en las carreteras de transporte y prevenir cortes en los neumáticos. El abombamiento de la carretera ayuda a reducir el agua estancada y los daños en la carretera. Sin embargo, un abombamiento excesivo hace que la carga se incline hacia un lado, lo que provoca un desgaste durante un período de tiempo. Una corona de carretera ideal está entre el 1 % y el 4 %.

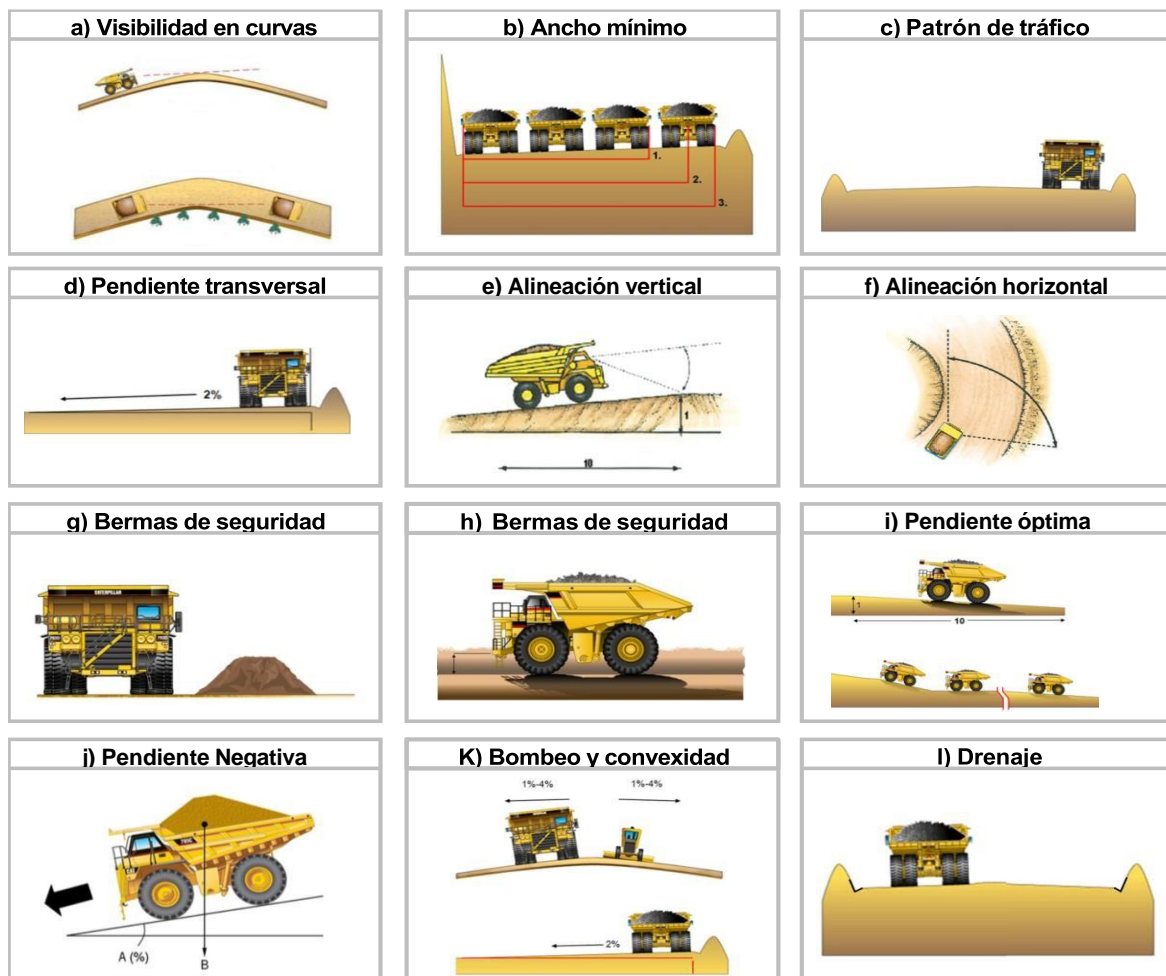
En las carreteras de un solo sentido, la pendiente transversal no debe ser superior al 2 % o 3 %. Las motoniveladoras son una herramienta importante para el mantenimiento de los abombamientos y las pendientes transversales en las minas.

2.6.14 Diseño de cunetas

Todas las carreteras deben ser zanjadas con trampas de sedimentos espaciadas regularmente y se debe mantener las zanjas. Las zanjas empinadas con una pendiente superior al 8 % necesitan un revestimiento de roca para evitar la erosión. Las zanjas deben desembocar en desvíos y el agua de los desvíos en estanques de sedimentación.

Figura 8

Parámetros a considerar en el diseño de vías de acarreo



Nota: CAT (2019) "Basic of Haul road Design and Maintenance (Latin American

Spanish)" publicación N° 33266

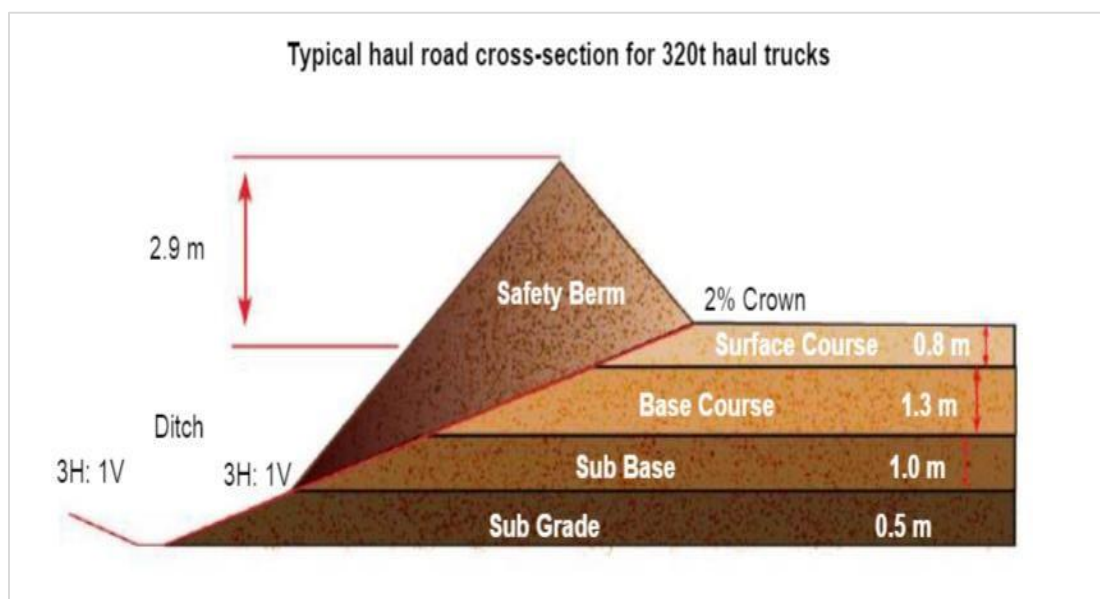
2.7 Diseño de la sección transversal de la vía de acarreo

Existen cuatro capas básicas en una carretera de transporte:

- Subrasante
- Subbase
- Capa base
- Capa superficial

Figura 9

Sección transversal típica de una vía de acarreo para camiones de 320 Ton



Nota: CAT Haul Road Design and Management, Pete Holman, 2006 Big Iron University, St. Charles, IL, pág. 31.

2.7.1 Subrasante

El subrasante se construye con rocas duras y sólidas o con grava densamente compactada y puede no requerir relleno ya que los camiones pueden circular por la superficie del subrasante. Si el subrasante carece de la capacidad portante



requerida, puede ser necesaria la compactación. Los consultores geofísicos o las empresas de ingeniería pueden ofrecer recomendaciones sobre carreteras de transporte. Puede ser necesario experimentar in situ con el material del subrasante. Hay minas en todo el mundo que han multiplicado por 3 el tamaño de los camiones (de 85 a 240 toneladas) gracias a la mejora del diseño y las técnicas de construcción de las carreteras de transporte.

2.7.2 Subbase

La capa de subbase suele ser de mineral bruto de mina y roca gruesa. Esta capa proporciona resistencia estructural a la carretera y también puede evitar la intrusión del suelo del subrasante en la capa base o viceversa, minimizando el efecto de las heladas y la acumulación de agua en la superficie de la carretera.

2.7.3 Capa base

La capa base suele estar construida con material de alta calidad con fracciones de tamaño adecuadas y es la principal fuente de la resistencia estructural de la carretera. Las especificaciones de resistencia y plasticidad y nivelación suelen ser más estrictas que las de las otras capas. Cuando las bases y subbases de las carreteras de transporte se diseñan con materiales de escasa capacidad de carga, el esfuerzo y tensiones provocan deformaciones. Con el paso del tiempo, la carretera se hunde, lo que provoca mayores problemas.

2.7.4 Capa Superficial

La capa superficial se construye generalmente con grava de tamaño adecuado para controlar la nivelación y evitar problemas de polvo, manteniendo al mismo tiempo las características de unión del material. Además de proporcionar una superficie de conducción suave, distribuye la carga sobre un área mayor, reduciendo el esfuerzo.



Es importante tener en cuenta que no todos los sitios tendrán material de construcción de carreteras deseable fácilmente disponible o probablemente no sea rentable. Un ingeniero de suelos puede ayudar a decidir la composición y profundidad adecuadas de las capas de las carreteras en un lugar determinado.

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

A medida que aumenta el tamaño de los camiones, el área de compactación -ancho y profundidad- también aumenta. Las tres capas de carreteras de transporte deben estar diseñadas para el tamaño de los camiones que las utilizarán. Utilizar el material adecuado para cada capa marcará la diferencia entre una buena y una mala resistencia a la rodadura al reducir la posibilidad de que se formen baches u otros fallos en la superficie que aumenten el desgaste y los daños del neumático.

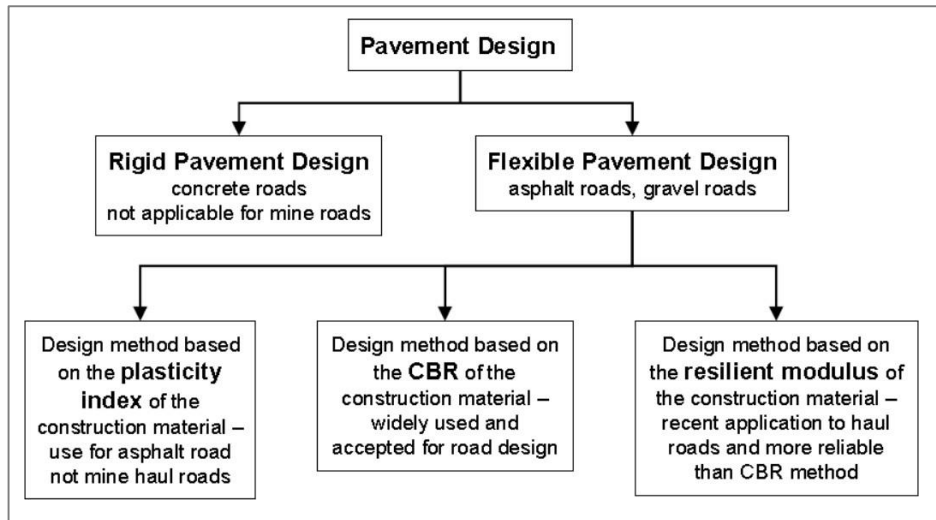
Según Tannant y Regensburg, (2001) El coeficiente de carga de California (CBR) o un método más reciente basado en un criterio de tensión crítica y el módulo de resistencia del material de construcción pueden utilizarse para el diseño de la carretera de acarreo. En ambos casos, es necesario conocer las interacciones de los neumáticos de los camiones de transporte.

Existen varios métodos para el diseño de carreteras, como se resume en la Figura 2.11. Estos métodos se utilizan para calcular el espesor apropiado de cada capa en la carretera considerando las propiedades del material como el índice de plasticidad, el coeficiente de soporte de California (CBR) o el módulo de resistencia.

El método de diseño basado en el uso del índice de plasticidad se ha limitado principalmente al diseño de pavimentos flexibles para las carreteras comerciales (Australian Asphalt Pavement Association 1983). Un método popular de diseño de carreteras utiliza el CBR de los materiales de construcción como criterio de diseño.

Figura 10

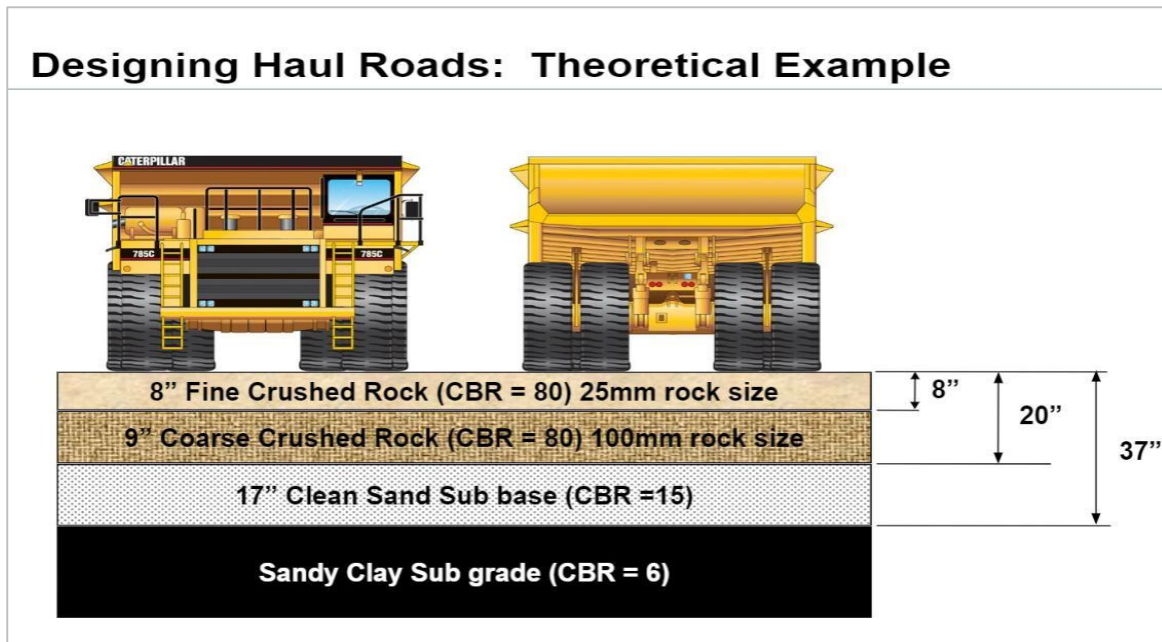
Tipos de Diseño de Pavimento



Nota: Guidelines for Mine Haul Road design, Dwayne D. Tannant & Bruce Regensburg, 2001, pág 29

Figura 11

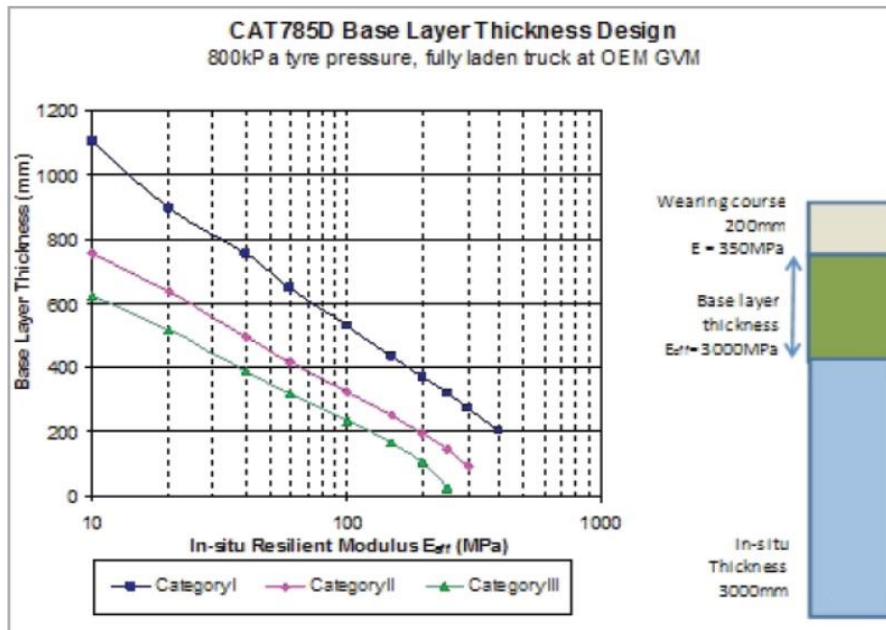
Sección transversal típica de una vía de acarreo para camiones de 320 Ton



Nota: CAT Haul Road Design and Management, Pete Holman, 2006 Big Iron University, St. Charles, IL, pág. 32

Figura 12

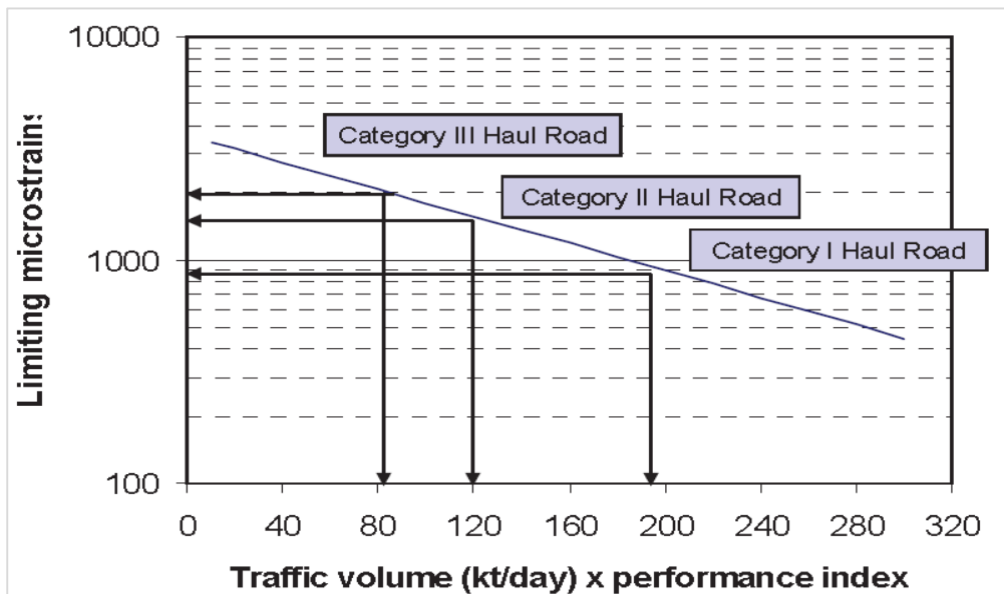
Espesor de la sección de la vía, base para una presión de 800Kpa



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

Figura 13

Tensión de compresión vertical límite de la capa de pavimento valores para el diseño estructural de carreteras de transporte de minas



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

2.9 Tracción y resistencia a la rodadura

La tracción y la resistencia a la rodadura están estrechamente relacionadas. La tracción en carretera, o el coeficiente de fricción entre la superficie de la carretera y el neumático, determina el potencial de deslizamiento de la máquina. La resistencia a la rodadura se define como la combinación de fuerzas que debe superar una máquina para desplazarse sobre

una superficie determinada. Por regla general, un aumento de la tracción en la superficie va acompañado de la correspondiente disminución de la resistencia a la rodadura.

Tabla 6

Factores Típicos de Tracción para neumáticos

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

Nota: Guidelines for Mine Haul Road design, Dwayne D. Tannant & Bruce Regensburg, 2001, pág 44

Las superficies de carretera llenas de baches y blandas obligan a los neumáticos delanteros a ir siempre cuesta arriba. Se trata de la resistencia a la rodadura, o el esfuerzo de tracción necesario para superar el efecto retardador entre el neumático y el suelo. Para superar la resistencia a la rodadura, se ejerce la fuerza de la máquina para «tirar» del neumático hacia arriba y salir del surco creado constantemente por este. La resistencia a la rodadura suele expresarse en términos de porcentaje de pendiente de la carretera. Por ejemplo, un camión que viaja con un 10 % de resistencia a la rodadura en una superficie horizontal debe superar la resistencia equivalente a la de un camión que sube una pendiente del 10 % sin resistencia a la rodadura.

En el caso de los camiones todoterreno que utilizan neumáticos con lona radial, se puede asumir un determinado porcentaje mínimo de resistencia a la rodadura para las siguientes superficies:

Tabla 7

Porcentaje mínimo de resistencia a la rodadura en Camiones CAT que usan Lona radial en sus neumáticos

%	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



Según Dwayne D. Tannant y Bruce Regensburg, (2001), La resistencia total es el efecto combinado de la resistencia a la rodadura (vehículos de ruedas) y la resistencia a la pendiente. Puede calcularse sumando los valores de la resistencia a la rodadura y la resistencia a la pendiente para obtener una resistencia en kilogramos de fuerza o un grado efectivo en porcentaje:

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% por cm de penetración del neumático

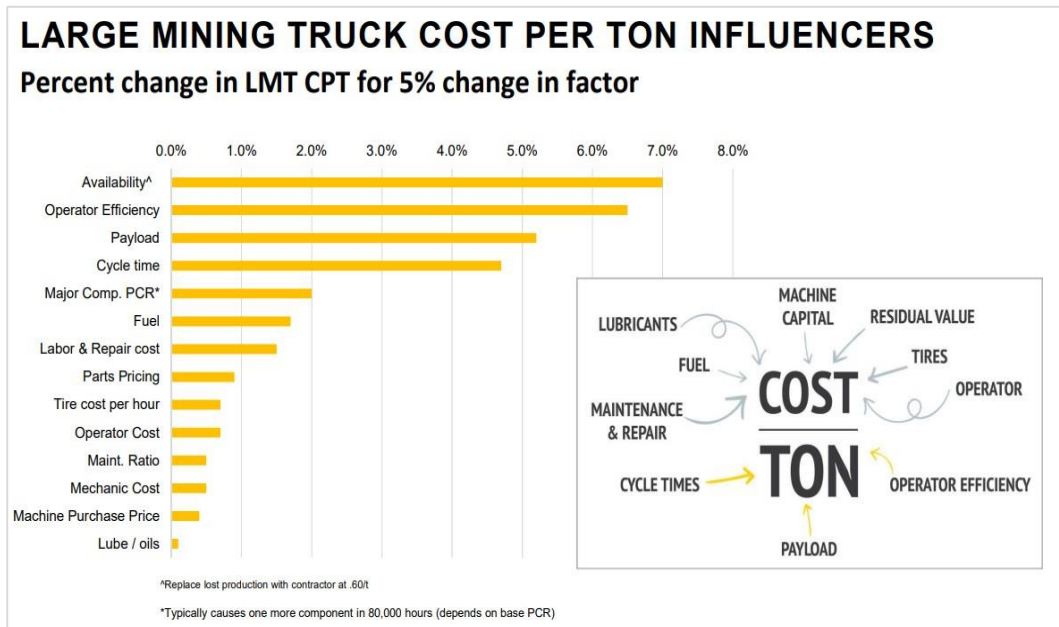
2.10 Relación de la vía de acarreo con los costos de operación y mantenimiento de los camiones de carreo.

En la práctica, un aumento del 5 % en la resistencia a la rodadura puede suponer una disminución del 10 % en la producción y un aumento del 35 % en los costes de producción. El aumento de la resistencia a la rodadura influye en varios factores clave utilizados para calcular los costes de transporte.

A continuación, se muestran los costos de operación de los Camiones Mineros CAT, donde resaltamos que los principales costos relacionados con el tránsito de los camiones sobre la vía de acarreo es el ciclo de acarreo es: el consumo de combustible del equipo, carga del equipo, costos de neumáticos y vía útil de componentes mayores.

Figura 14

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



Nota: CAT GLOBAL MINING TECNOLIJY FORUM: LARGE MINING TRUCKS.

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

2.10.1 Consumo de combustible

La resistencia total (rodadura más pendiente) influye mucho en el consumo de combustible. Si el camión tiene que cambiar a una marcha inferior debido a la alta resistencia a la rodadura de un mantenimiento deficiente, el camión consumirá mucho más combustible para recorrer la misma distancia que uno capaz de viajar a una velocidad y marcha superiores.

Según se muestra la Tabla 02 a continuación, el consumo de combustible se incrementa a medida que el tiempo de duración de en la pendiente sea mayor. Por lo tanto, la distancia de la pendiente es clave en el diseño de las vías de acarreo.

**Tabla 8**

Tabla del consumo de combustible de un camión CAT 793F según el grado de la pendiente y su duración del trayecto.

% de la Pendiente	Tiempo en Minutos	Consumo de Combustible (gls)
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: CAT GLOBAL MINING TECNOLIY FORUM: LARGE MINING TRUCKS.

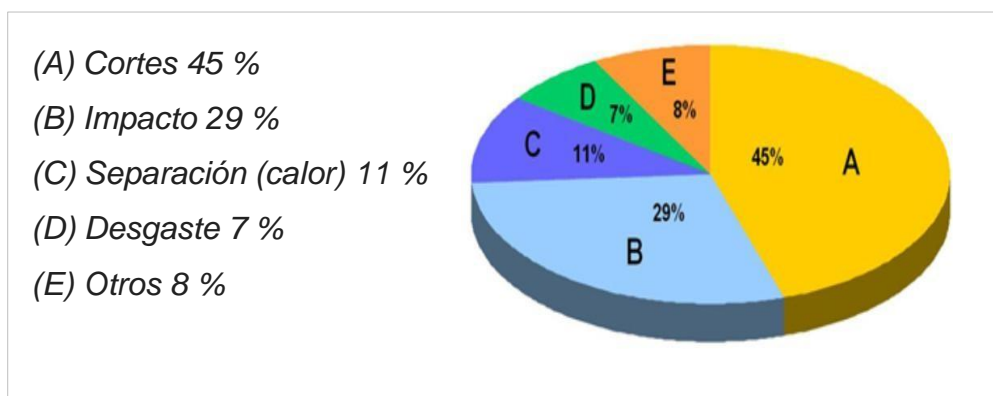
Autores John Ingle, Mike Mesnard, Eric Mortensen, Jim Grooss

2.10.2 Neumáticos

La vida útil de los neumáticos depende en gran medida de la resistencia a la rodadura de las carreteras de transporte y de su calidad. Una carretera de transporte mal mantenida, con grava sin clasificar o con roca barrenada, puede reducir la vida útil de los neumáticos entre un 30 y un 40 %, o más. A continuación, se muestra un gráfico con una distribución típica de los factores que afectan a la vida de los neumáticos.

Figura 15

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



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

Aproximadamente el 80 % de los neumáticos grandes fallan antes de desgastarse. Debido a los costes y a la escasez de neumáticos, las explotaciones mineras de todo el mundo están trabajando en mejoras operativas que prolonguen la vida útil de estos.

De todos los neumáticos de un camión de transporte minero, el neumático delantero izquierdo es el que normalmente tiene una vida útil más corta.

El TKPH, según el Manual de Rendimiento CAT, edición N°45, 2015, es otro factor crítico a considerar en la selección de un neumático es su capacidad de trabajo para la carga y circulación en la vía de acarreo, se mide en Toneladas Kilómetros por Hora y es una expresión que representa la capacidad de carga de un neumático en relación con la generación de calor. El TKPH de un neumático depende de su diseño y varía según el tamaño, el tipo y el compuesto. La fórmula TKPH y se usa para predecir la acumulación de temperatura en los neumáticos. Multiplicando la carga por la velocidad, se obtiene un índice de aumento de la

temperatura en los neumáticos. Se recomienda como límite la temperatura de 107°



C (225° F) para los neumáticos de cuerdas de fibras textiles y de 93° C (200° F) para los neumáticos de alambre de acero. (cap. 21, pág.12)

Como muestra este gráfico, el aumento de la velocidad durante estos giros a la derecha tiene un efecto más dramático en la carga y las fuerzas que este neumático debe manejar de lo que la mayoría de los operadores se dan cuenta. Este tipo de cargas laterales puede hacer que el neumático se separe y falle a bajas horas.

Tabla 9

Carga transferida en los neumáticos por efecto de la velocidad % (GMW) Peso

MHP	bruto de la máquina
1-3	14%
3-5	21%
5-7	38%
7-10	56%
+11	75%

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

2.10.3 Productividad

El costo también se incrementa debido al menor tiempo productivo del camión, ya que tarda más en recorrer la misma distancia, y al coste de mantenimiento adicional debido al mayor desgaste por tonelada de material movido. Si se reduce la resistencia a la rodadura permitirá una mejora en la disminución del tiempo de ciclo de acarreo, aumentando de esta manera la producción del material acarreado.

Tabla 10

Impacto de la aplicación en las vías de los componentes del camión de acarreo

	Vida Rueda/Diferencial Costo/Hr	Rueda/Diferencial Costo/Hr	Vida del Motor Costo /Hr	Producción	Consumo de Combustible
Incremento de Carga	Decremento Significativo	Incremento Significativo	Insignificativo cambio	Lidero aumento	Insignificativo cambio
Vía de acarreo incremento resistencia a la rodadura	Decremento muy Significativo	Incremento muy Significativo	Puede o no ser significativo	Decremento Significativo	Decremento Significativo
Vía de acarreo incremento de la pendiente	Significativo	Significativo	No hay cambio	No hay cambio	No hay cambio

Nota: Guia de aplicacion del VIMS de CAI, N° SELD/006-02, 2007.

2.10.4 Vida útil de los componentes

La resistencia a la rodadura y la suavidad de la superficie de la carretera afectan al desgaste general y a la fatiga del camión de transporte, lo que influye en la vida útil del equipo y en los costes de mantenimiento.

El desgaste de prácticamente todos los componentes aumenta considerablemente cuando una máquina se desplaza rápidamente sobre una superficie irregular. Frenar constantemente para evitar zonas en mal estado genera un mayor desgaste en el material de fricción de los frenos. Y cuando el polvo se convierte en un problema, el efecto abrasivo puede provocar una costosa limpieza o sustitución de los filtros de aire, los cilindros hidráulicos, los frenos y otros componentes críticos. A continuación se muestra la falla de un componente mayor de un camión minero a consecuencia de una vía de acarreo incorrectamente mantenida y una sobre carga en el camión; que produjo el desprendimiento del material en el alojamiento de la pista externa del rodamiento de los mandos finales.

2.10.5 Vida útil de los componentes

La resistencia a la rodadura y la suavidad de la superficie de la carretera afectan al desgaste general y a la fatiga del camión de transporte, lo que influye en la vida útil del equipo y en los costes de mantenimiento.

El desgaste de prácticamente todos los componentes aumenta considerablemente cuando una máquina se desplaza rápidamente sobre una superficie irregular. Frenar constantemente para evitar zonas en mal estado genera un mayor desgaste en el material de fricción de los frenos. Y cuando el polvo se convierte en un problema, el efecto abrasivo puede provocar una costosa limpieza o sustitución de los filtros de aire, los cilindros hidráulicos, los frenos y otros componentes críticos. A continuación se muestra la falla de un componente mayor de un camión minero a consecuencia de una vía de acarreo incorrectamente mantenida y una sobre carga en el camión; que produjo el desprendimiento del material en el alojamiento de la pista externa del rodamiento de los mandos finales.

Figura 16

Falla en un mando final producto de la sobrecarga de un camión CAT



Nota: CAT Reporte de Análisis de Falla



2.11 Deterioro en las vías de acarreo

Las tres causas más comunes del deterioro de vía de acarreo son el clima, los vertidos y el seguimiento, que se produce cuando los equipos siguen los mismos o similares trayectos en los carriles de transporte.

Dado que estos factores son fácilmente definibles, el mantenimiento de las carreteras debe ser preventivo y no correctivo. El deterioro de las carreteras puede reducirse siguiendo una serie de procedimientos sencillos. Las zanjas y las alcantarillas al borde de la carretera deben inspeccionarse periódicamente y limpiarse de obstrucciones para mantener un drenaje adecuado. De este modo se evita el desbordamiento y la erosión de la superficie o la saturación de los materiales de la subbase.

Se debe animar a los operadores a que utilicen diferentes zonas dentro del carril de acarreo para evitar la formación de surcos. El rodaje de un neumático en una carretera con surcos puede cortar el flanco y poner en tensión la carcasa al entrar y salir del surco. Una vez en el surco, un neumático se desgastará de forma desigual debido a las variaciones de la superficie.

Hay que procurar evitar que los camiones se amontonen por encima de su capacidad para reducir los vertidos. Cuando se produzca, el material derramado debe retirarse para evitar que se formen bultos o montículos innecesarios.

Para aliviar los problemas de polvo, deben emplearse camiones cisterna equipados con sistemas especiales de aspersion. Si el polvo es abundante, puede ser necesario utilizar aditivos químicos.

Deberá utilizarse equipo de apoyo, como motoniveladoras o tractores topadores, para mantener continuamente las pendientes transversales, eliminar los derrames y rellenar y alisar las depresiones de la superficie cuando se produzcan.

Figura 17

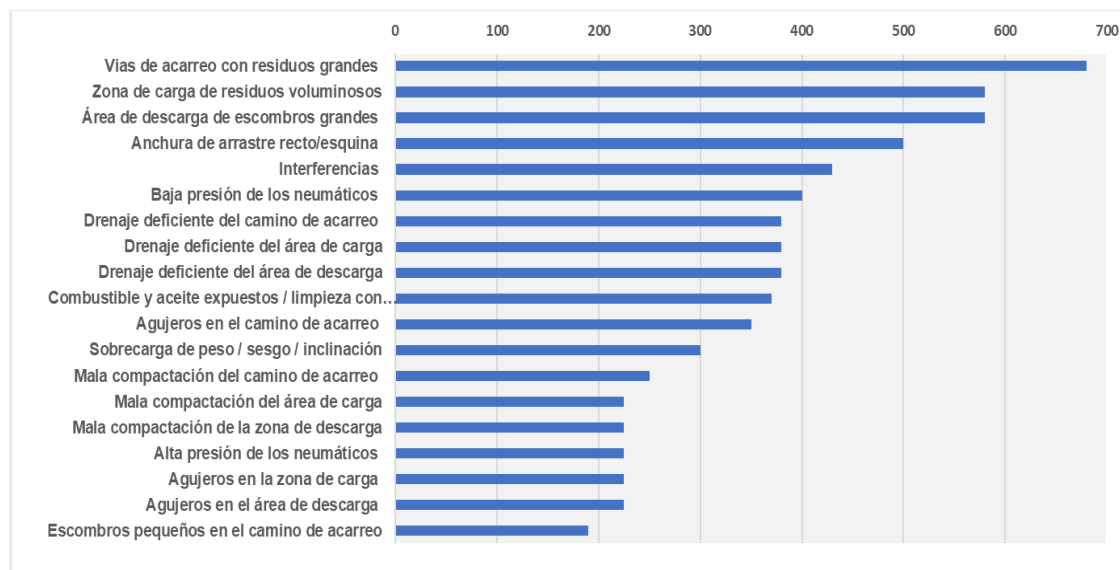
Imágenes de los defectos en las vías de acarreo



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

En la figura 2.18 se muestran imágenes de vías de acarreo con defectos como: baches, corrugaciones, desconcertante, material suelto, polvo, pedregosidad, grietas, resistencia al deslizamiento (húmedo y seco), drenaje (en carretera y en carretera).

En la figura 2.19 se muestra las principales causas de falla de los neumáticos según CAT, donde el principal factor es los residuos dejado en las vías de acarreo, por lo tanto, el mantenimiento de la vía es clave para proteger a estos suministros que tienen un alto costo para el mantenimiento de los camiones.

Figura 18*Principales causas de falla de los neumáticos en camiones CAT*

Nota: CAT, presentación Lista de servicios prestados por CI, 2011 sección 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)

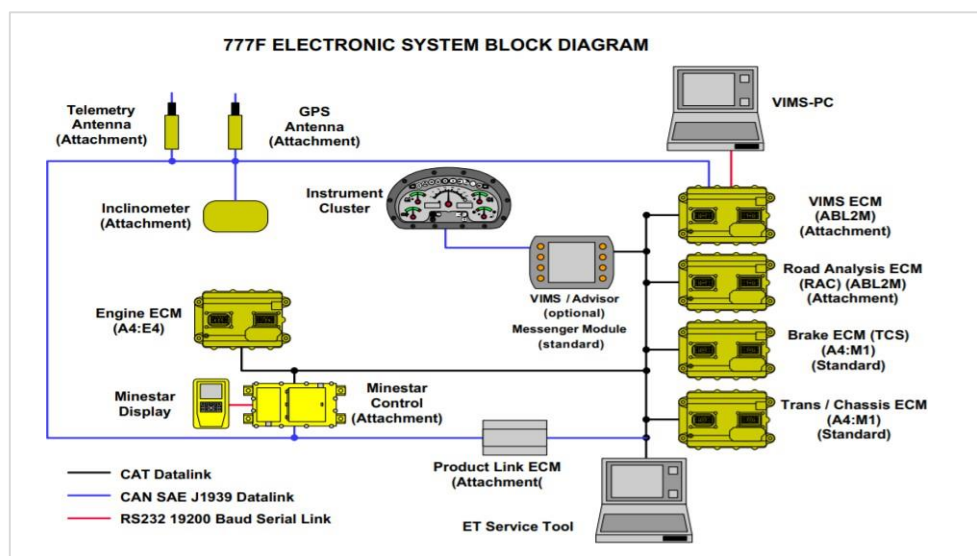
El Sistema de gestión de información vital (VIMS, por sus siglas en inglés) es un sistema integrado diseñado por CAT que supervisa el rendimiento de la máquina y proporciona información crítica en tiempo real. Este sistema puede utilizarse para ayudar al personal de la mina a centrarse en maximizar la producción y reducir el coste por tonelada. La aplicación VIMS™ utiliza una tecnología desarrollada por CAT que detecta la presión de los puntales para determinar con precisión el peso de la carga útil, así como los tiempos de los segmentos del ciclo, las distancias y la fecha y hora de cada ciclo. Esto ayuda a la oficina de la mina a controlar la regla 10/10/20 y a gestionar mejor la productividad de las máquinas.

Datalogger es un aspecto del software VIMS que toma una instantánea de 30 minutos de más de 250 parámetros de un ciclo completo, desde el inicio del

procedimiento de carga hasta la descarga. Estos datos se introducen en el software de Análisis de la gravedad de las aplicaciones (ASA, por sus siglas en inglés) para determinar qué condiciones de las carreteras de transporte podrían modificarse para mejorar los tiempos de ciclo. Una vez establecido el perfil ASA, el Control de análisis de carreteras (RAC, por sus siglas en inglés) supervisa los puntos conflictivos de las carreteras de transporte las 24 horas del día para controlar constantemente la torsión del bastidor, la inclinación y el desplazamiento lateral a través de los cilindros de suspensión.

Figura 19

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



Nota: CAT General Information (REN2636-09)

2.12.2 Producción y costos de la flota (FPC)

FPC es un paquete de software diseñado y respaldado por CAT que simula las aplicaciones de las máquinas para comparar y estimar la producción total y el coste unitario, así como el tiempo necesario para completar un proyecto. Este software incorpora una variedad de tareas de minería, incluyendo flotas de movimiento de tierras y el movimiento de material de un lugar a otro a través de

una o más capas. El FPC puede trabajar con cualquier máquina que se pueda considerar como «transportadora» y para la que exista una curva de velocidad-empuje para calcular la capacidad de rendimiento. Además de los camiones de bastidor rígido, estos podrían incluir volquetes de fondo, camiones articulados, traíllas y cargadoras sobre ruedas en una aplicación de carga y transporte. La base de datos de máquinas del FPC incluye también varias máquinas subterráneas CAT. En la Figura 10, se muestra el MSI, Mine Severity Index (o índice de severidad de la mina) en función a la carga del camión y calidad de la vía de acarreo censada a través de las presiones en los cilindros de la suspensión, RACK, PITCH y BIAS.

Figura 20

Índice de las condiciones de la Vía de Acarreo obtenidas a través del Software FPC, de CAT



Nota: FPO User Manual Mining Fleet Productivity Optimization Version 2 - 22
October 2004

Según el FPO Application Guide Mining Fleet Productivity Optimization Version



11 - 26 November 2004, el concepto de Índice de severidad de la Mina (ICM) reconoce el hecho de que la severidad de la aplicación de la máquina está relacionada tanto con el estado de la carretera como con la carga útil de la máquina. Anteriormente, ambos parámetros se han clasificado en una escala del 1 al 10. Los índices HRC y PLD se comparan entonces juntos para generar el Índice de Gravedad de la Mina (MSI). Pág. 22.

2.12.3 Control de análisis de carreteras (RAC)

Según el boletín técnico de CAT N° RENR8284-07, (2020); el Control de Análisis de Carreteras (RAC) es un producto de tecnología de la información a bordo del camión minero diseñado para medir y evaluar la calidad de la calidad de las carreteras de transporte. Integrado con el Sistema de Gestión de Información Vital (VIMS™), el RAC mide la carga de los componentes carga de los componentes y el impacto, y comunica esos datos al operador y a la oficina de la mina en tiempo real a través de una red de radio. A través de VIMSpC, RAC proporciona datos e informes que permiten a los gestores de la mina cuantificar, supervisar y gestionar la gravedad de los caminos de la vida útil del camión y reducir el coste por tonelada de material movido.

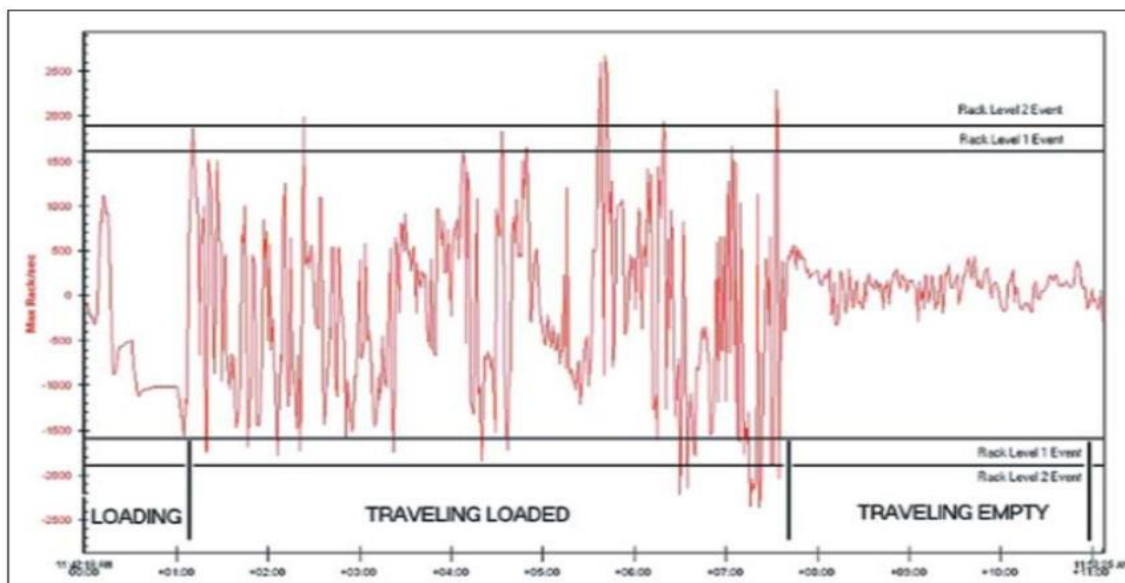
El RAC recoge los datos de presión de los sensores de cada puntal (que también se utilizan para determinar el peso de la carga útil y los tiempos de ciclo) a intervalos regulares para medir los parámetros llamados Rack, Pitch y Bias en el bastidor. Los sensores miden las diferencias entre las presiones de los puntales de las ruedas del eje delantero y trasero para la inclinación, las presiones de los puntales diagonales para Rack y la izquierda frente a la derecha para Bias.

El RAC identifica las zonas de la carretera que producen impactos suficientes para

causar daños al camión, ya sea a corto plazo o cuando se repiten en el tiempo. Estos impactos se identifican como eventos. La configuración de fábrica puede ajustarse a tres niveles diferentes (RAC1, RAC2, RAC3) para adaptarse a las diferentes condiciones de la mina.

Figura 21

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



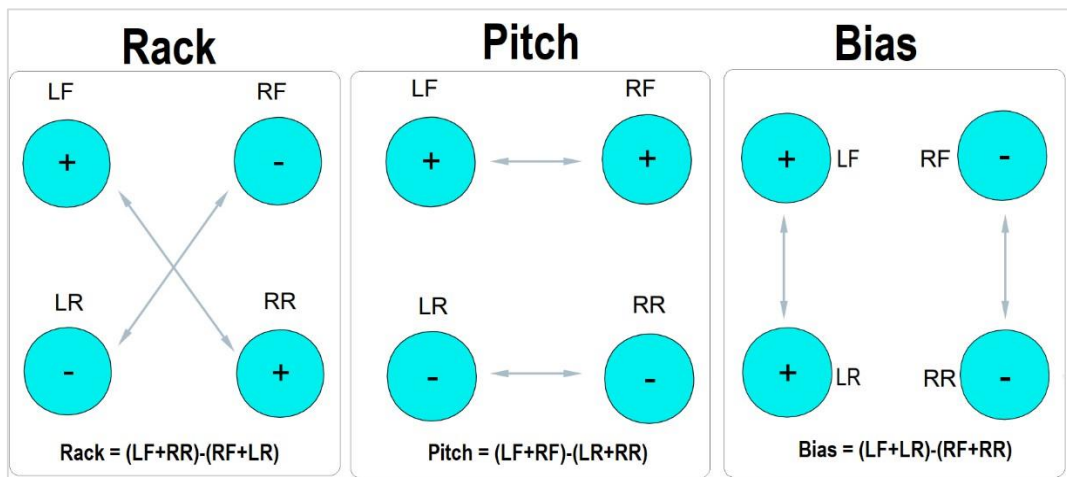
Fuente: (CAT Salesgram CAT® Road Analysis Control (RAC) for CAT F Series Mining Trucks TEKQ1265 August 2015)

A través del VIMS de a bordo, el RAC ofrece dos niveles de información sobre los eventos de rack y pitch:

En caso de una alerta nivel 01; el mensaje y la luz de alerta del VIMS avisan de que "se han medido los límites máximos de límites de rack o pitch – Reduzca la velocidad. Esto indica que se ha producido un evento que tiene el potencial de causar daños con el tiempo.

Figura 22

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



Donde:

- LF:** Left Front Pressure (Presión en el Cilindro de Suspensión Delantero Izquierdo)
- RF:** Right Front Pressure (Presión en el Cilindro de Suspensión Delantero Derecho)
- LR:** Left Rear Pressure (Presión en el Cilindro de Suspensión Trasero Izquierdo)
- RR:** Rear Right Pressure (Presión en el Cilindro de Suspensión Trasero Derecho)

Nota: CAT® Haul Road Design and Management, Pete Holman 2006 Big Iron University St. Charles, IL.

Tabla 11

Límites de Presión en las Suspensiones (Kpa) de los Camiones Mineros CAT para activar las advertencias en el sistema RAC

Parametro	769-777	785	789-793	797	
Rack y Bias (Camion administración en movimiento)	Límite de	± 6000	± 8000	± 8500	± 12500
	Límite de advertencia	± 10000	± 12000	± 12000	± 16500
	Límite de acción	± 14000	± 16000	± 16000	± 20000
Bias (Camión estacionado cargado)	± 3000	± 3000	± 4000	± 5500	
Maxima variación con 2 segundos de intervalos	± 5500	± 7000	± 8000	± 12000	
Máxima presión en el puntal de la suspensión	± 12000	± 14000	± 14000	± 22700	

Nota: FPO User Manual Mining Fleet Productivity Optimization Version 2 - 22 October 2004



Las instrucciones aconsejan al operador del camión: "Reduzca la velocidad en 5 mph. Alerte al supervisor de turno".

En caso de una alerta nivel 02; el mensaje y la luz de alerta del VIMS avisan de que "Las mediciones de pitch o rack Medidas demasiado elevadas - Reduzca la velocidad, y evite esta área". Esto indica que ha ocurrido un evento potencialmente dañino potencialmente que puede comprometer la salud del bastidor del camión. La respuesta del operador puede requerir una acción inmediata: "Detenga el camión. Alerte al supervisor de turno (o al superintendente de la mina) inmediatamente".

2.13 Indicadores en el proceso de acarreo del mineral

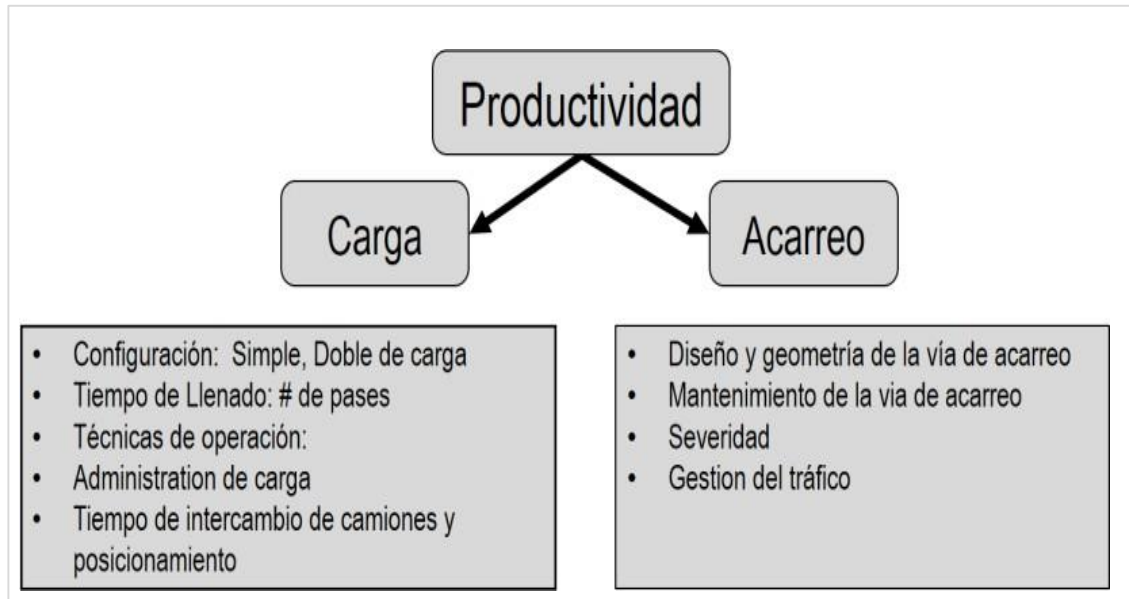
2.13.1 Productividad del equipo de acarreo

Según lo indicado por John Hoffman de CAT en su publicación de Mejores Practicas y Mejora Continua, 2011, pag 13, se tiene dos areas donde incrementar la productividad del camión de acarreo, ver la figura 2.24, a través del proceso de carga y a traves del proceso de acarreo; y es en este último proceso donde se centra la presente investigacion, precisamente en la mejora en el diseño y geometria de la via de acarreo.

La producción del mineral transportado por flota de camiones datos son obtenidos a través del sistema TPMS (Truck Payload Measurement System). Según el Boletín Técnico de CAT RENR8284-07, el sistema de medición de la carga útil del camión (TPMS) es un subsistema del sistema de gestión de información vital (VIMS). El TPMS realiza las siguientes funciones: Calcula la información para el ciclo de carga útil, almacena la información del ciclo de carga útil, muestra la información del ciclo de la carga útil. Además, el TPMS almacena los datos de cada ciclo de carga. Posee una precisión del $\pm 05\%$. A través del software FPC, simulará la carga transportada por camión si transitaría por la ruta de acarreo mejorada.

Figura 23

Incremento de la Productividad en el Camión de acarreo CAT



Nota: CAT Mejores Prácticas y Mejora Continua, John Hoffman, 2011, pag 13.

2.13.2 Costos de posesión del equipo de acarreo.

Según el Manual de Rendimiento de CAT (2015), los propietarios de las máquinas deben equilibrar la productividad y los costos para lograr una óptima eficiencia. Y para proteger la inversión en el equipo y poder reemplazarlo, el usuario debe recuperar durante la vida útil de la máquina una cantidad igual a la pérdida del valor en la reventa más los otros costos de posesión del equipo. Se debe considerar los siguientes costos: el precio de entrega, valor residual al reemplazo, valor a recobrar mediante el trabajo, interés y el seguros e impuestos. Para ver las fórmulas de cada parámetro ver el Anexo 04. Los procesamientos de estos cálculos se efectuarán a través del software FPC.

2.13.3 Costos de operación del equipo de acarreo.

Se consideran los siguientes costos según el Manual de Rendimiento de CAT (2015): el consumo de combustible, mantenimiento planificado (mp) aceites



lubricantes, filtros, grasa y mano de obra, neumáticos, costos de reparaciones, componentes de desgaste especial y salario del operador. Para ver las fórmulas de cada parámetro ver el Anexo 04.

Considerar que el consumo de combustible de cada camión será medido en (gal/hr), a través del sistema VIMS; donde almacena parámetros como: total de revoluciones del motor revoluciones, total de combustible consumido, entre otros. El software FPC, se encargará de simular el consumo de combustible efectuado por camión si transitaría por la ruta de acarreo mejorada.

2.13.4 Costo horario del equipo de acarreo

Finalmente, el costo por hora del camión de acarreo es la suma del costo de posesión y el costo de operación.

2.14 Normas de seguridad en la vía de acarreo

Debido a la posibilidad de que los frenos y los ralentizadores fallen en las pendientes adversas de las carreteras de transporte, deben incorporarse algunas disposiciones de seguridad en el diseño de las carreteras de transporte para evitar las consecuencias de una máquina fuera de control.

Entre ellos están los siguientes: medianas o bermas de colisión, vías de escape, señalización adecuada, carreteras específicas para vehículos pequeños, selección segura y óptima de la marcha.

Con respecto a la señalética en la vía de acarreo; Las señales de las carreteras de transporte deben instalarse a una altura y en una ubicación que estén dentro de la línea de visión de las máquinas con la visibilidad más limitada.



La señalización típica de una mina incluye: señales de límite de velocidad señales de parada, señales de advertencia de curvas e intersecciones, marcadores de cruce de alcantarilla, señales de control de tráfico, indicadores de acceso limitado, indicadores de acceso de seguridad ver el ANEXO II.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

3.1 Descripción e identificación del problema.

El objetivo principal de la presente investigación es mejorar la principal vía de acarreo en esta unidad minera para incrementar la productividad de una flota de camiones mineros y reducir sus costos de mantenimiento y operación. A continuación, se muestra en la tabla 3.1 la carta del proyecto.

Tabla 12

Carta del proyecto:	
Proyecto de mejora de una vía de acarreo para camiones mineros	
Caso del negocio:	Declaración de la oportunidad
El proyecto para mejorar la vía de acarreo principal de una mina incluye la identificación y recomendación de la rectificación de las áreas problemáticas. Mediante el uso de la herramienta FPC (Optimización de la productividad y costo de la flota) de CAT se medirán el desempeño de los camiones en la vía de acarreo actual y propuesta. También se usará el software de caminos RoadEng para graficar y evaluar la vía de acarreo actual y la vía mejorada propuesta.	Los tiempos de ciclo y el rendimiento de los equipos, el gasto en piezas y la vida útil de los neumáticos se han visto afectados negativamente debido a las condiciones actuales de la vía principal de acarreo de la mina. Mediante la mejora de la vía de acarreo, así como la identificación de sus defectos y las áreas problemáticas actuales, existe la oportunidad de mejorar el rendimiento operativo de los camiones de acarreo y el impacto económico en su mantenimiento.
Declaración de la meta	Alcance del proyecto
Y1 = Mejorar el diseño de la vía de acarreo X1 = Defectos en la vía de acarreo X2 = Distancia de la vía de acarreo X3 = Cambios en la elevación X4 = Resistencia a la rodadura X5 = Alto impacto con los eventos: Rack / Bias / Pitch	Dentro del Alcance La vía de acarreo principal de la Unidad Minera. Desempeño de la flota de carguio y acarreo en la vía. Fuera del Alcance Otras vías de tránsito que tenga la Unidad Minera Otras flotas de equipo acarreo de la Unidad Minera.
Plan del proyecto	Selección del equipo
Reunión inicial 02/01/2022 - 03/01/2022 Establecimiento de la línea de base 04/01/2022 - 06/01/2022 Descargas periódicas de Data Logger 01/04/2022 - 01/06/2022 Entrenamiento y aplicación del FPC 01/02/2022 - 01/03/2022 Redacción del Informe 01/05/2022 - 01/06/2022 Presentación de la Propuesta 01/06/2022 - 15/06/2022	Patrocinador del proyecto: Gerente de Operaciones de la Unidad Minera "Cinturon Negro Maestro": Gerente de Mantenimiento de Equipos Moviles "Cinturon Negro": Jefe de Operaciones de la Unidad Minera "Cinturon Verde": Jefe de Mantenimiento de Equipos Moviles "Cinturon Blanco": Tecnicos de Mantenimiento de Equipos Moviles

Nota: Elaboración propia

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

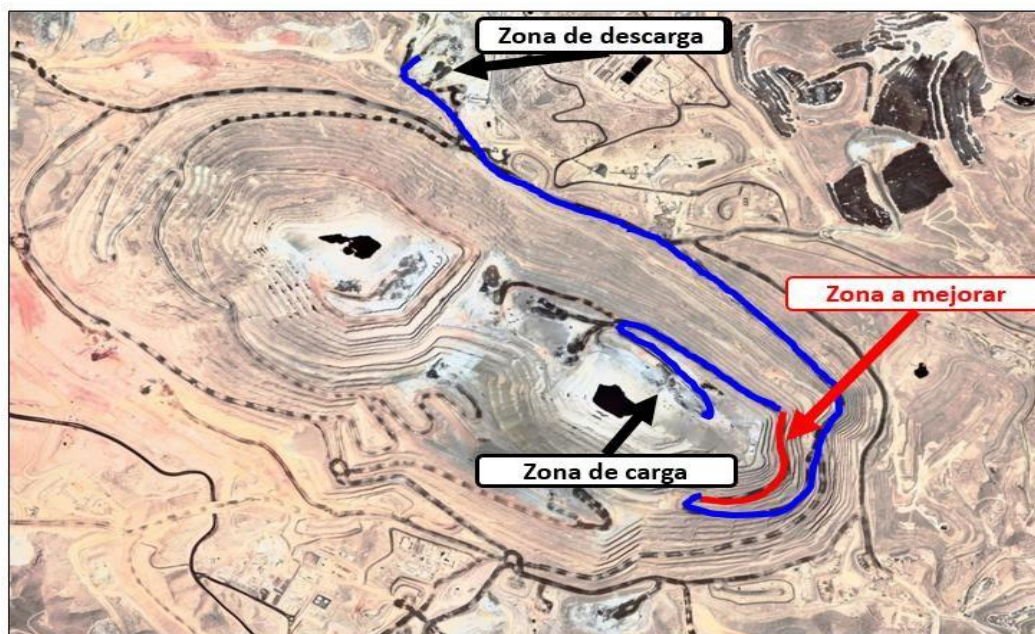
- Reducir sus tiempos de ciclo
- Reducir el consumo de combustible
- Reducir el desgaste de los componentes

3.2 Análisis del diseño actual de la vía de acarreo

La actual vía de acarreo se encuentra ubicada a una altitud de 2500 m.s.n.m. cuya superficie de rodadura no es pavimentada, camino afirmado. Tiene una antigüedad de 4 años, ha sido construida en un suelo arcilloso que a continuación se muestra el diseño actual que posee la principal. En la figura 3.1 se puede apreciar su ubicación a través del software Google earth.

Figura 24

Vía principal de acarreo de la mina a cielo abierto.



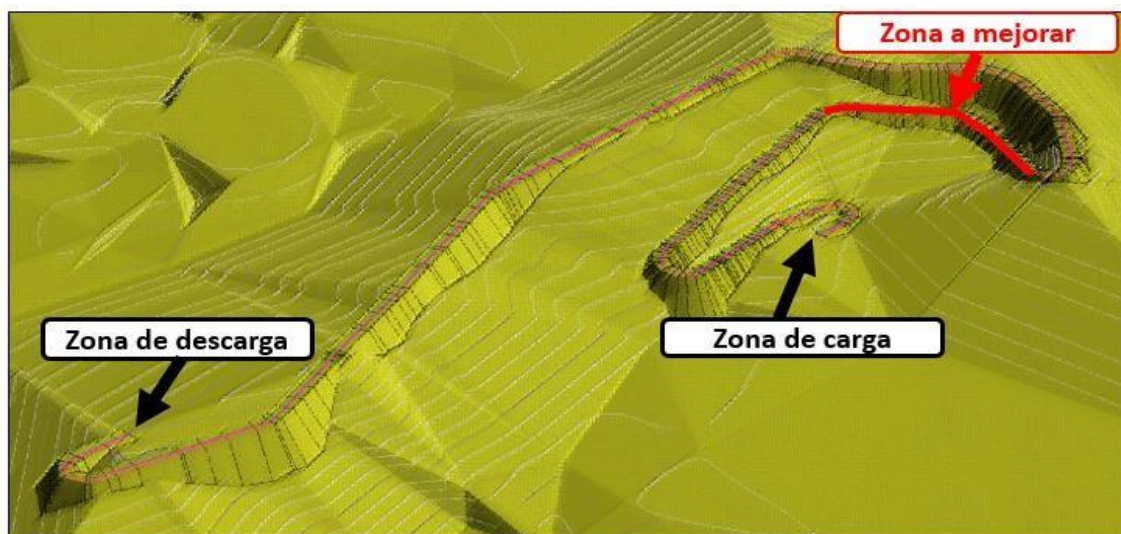
Nota: Google earth

En la figura 3.2 se muestra el diseño de la vía de acarreo simulado con el software Road Eng, también se puede ver las zonas de carga de los camiones donde se ubica el equipo de carguío, en nuestro caso el cargador frontal CAT 993K, también la zona de descarga de los camiones donde se ubica la chancadora primaria.

En el ANEXO III: *Datos de la vía y su productividad en los camiones antes de la mejora*. Se muestran el resumen de los datos obtenidos a través de los programas ROADENG y PFC.

Figura 25

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

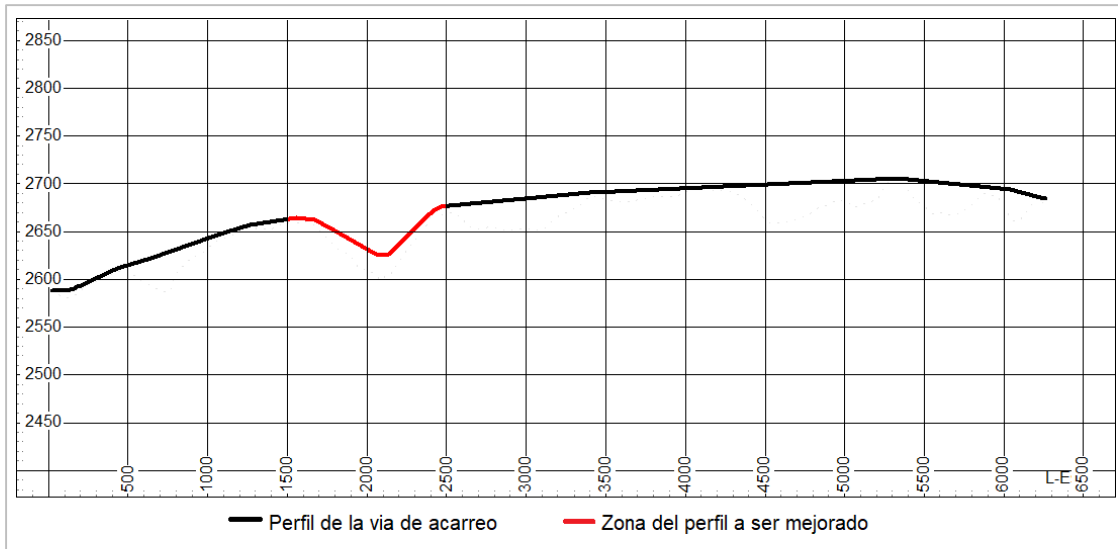


Nota: Elaboración propia a través del Software Road Eng

En la figura 3.3 se muestra el perfil de la vía de acarreo, específicamente la zona seleccionada para efectuar la mejora, comprendida entre los 1604 m. hasta 2425 m. donde se manifiesta una pendiente pronunciada en la vía.

Figura 26

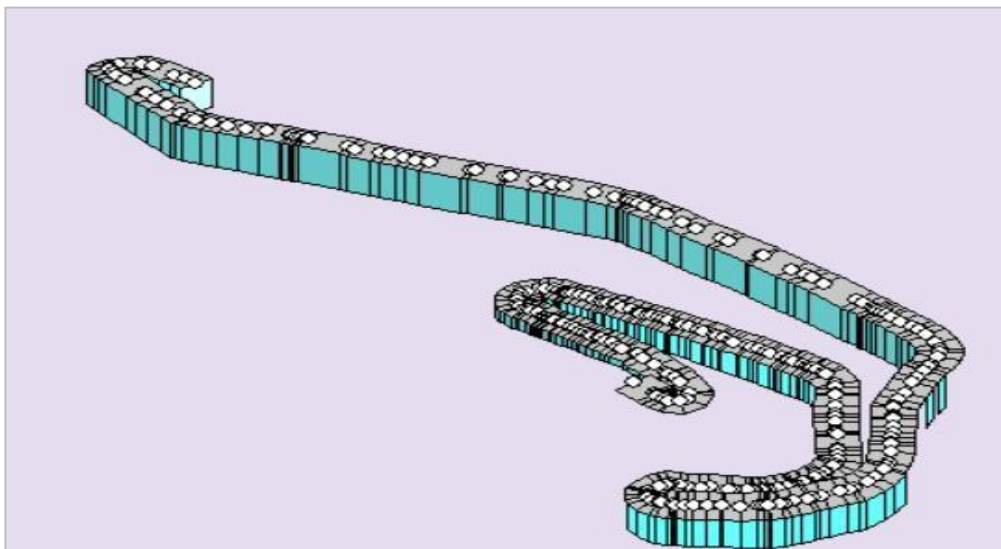
Perfil de la principal de acarreo de la mina a cielo abierto, zona a mejorar.



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 a través del Software Fleet Production & Cost Analysis (FPC).

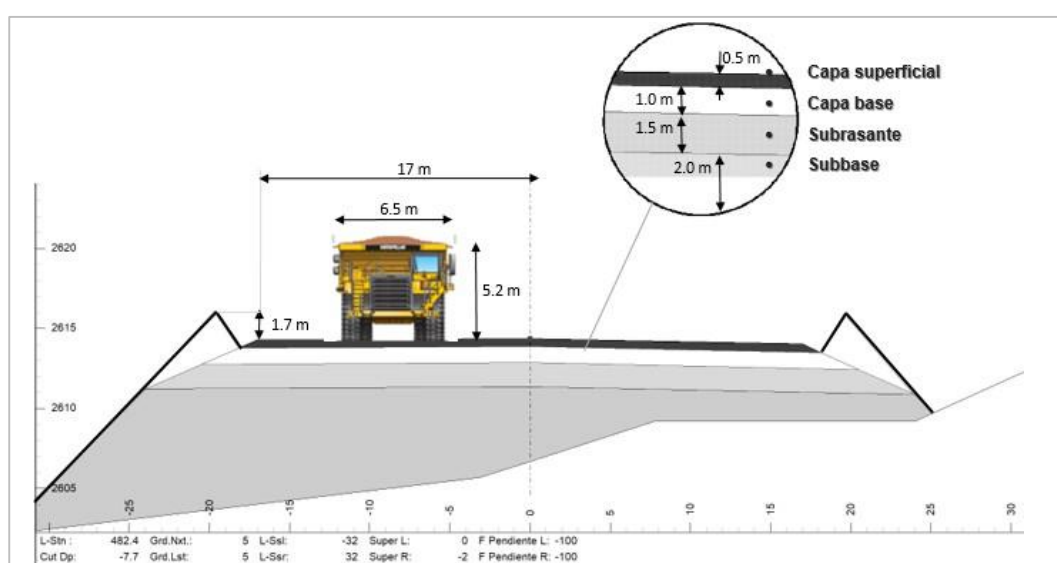
Según la sección transversal de la vía de acarreo, ver figura 3.5, las dimensiones actuales cumplen las recomendaciones con respecto a su ancho en rectas, así como en curvas; para la circulación el camión CAT 777F cuyo ancho es de 6.5

metros. La recomendación indica que para la vía deberá de tener 22.75 m. de ancho como mínimo y en curvas 26.00 m. ver la tabla 2.1.

La vía de acarreo actual de la minera tiene un ancho de 34 metros, por lo tanto, cumple con holgura dicha recomendación e incluso puede permitirse la circulación de camiones de acarreo de mayor envergadura.

Figura 28

Diseño de la sección transversal de la vía de acarreo

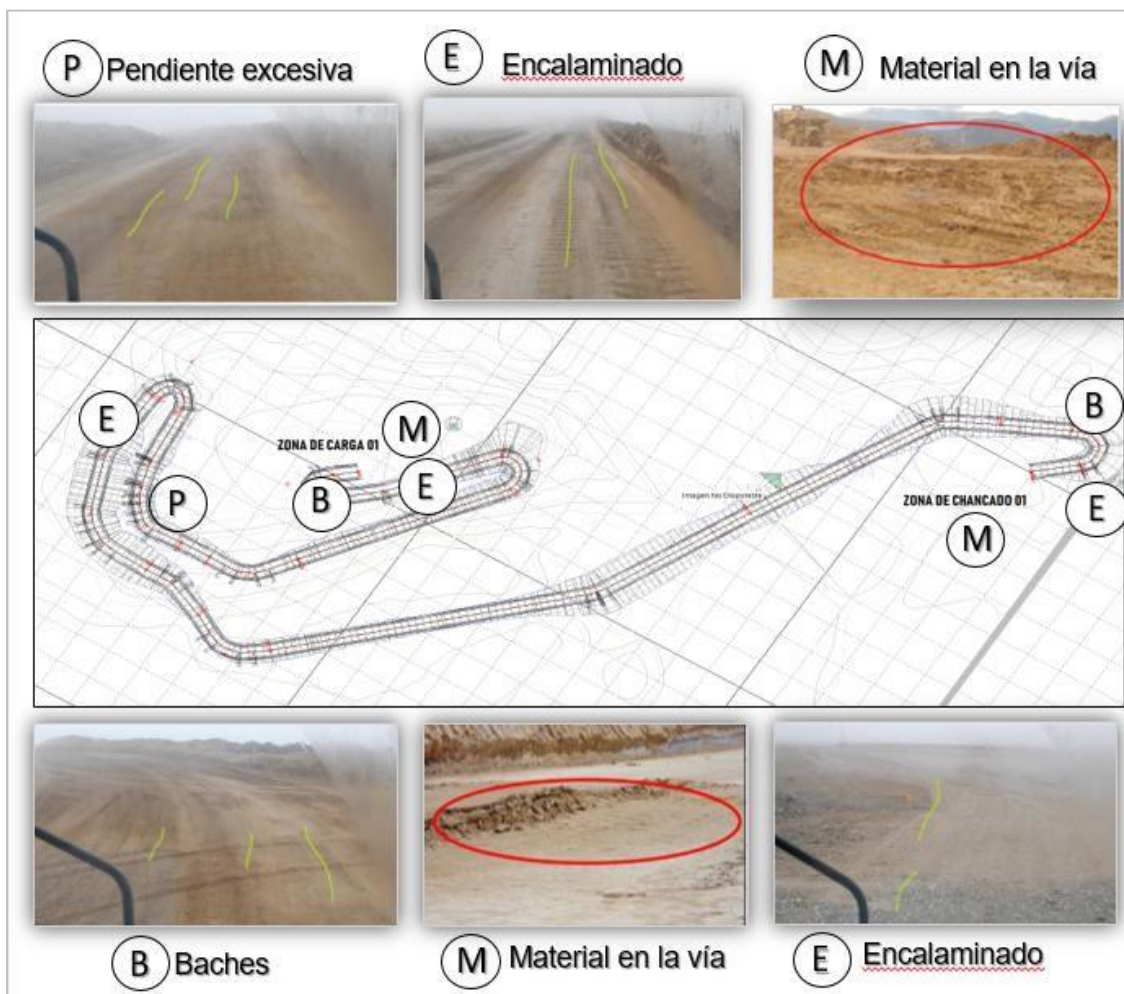


Nota: Elaboración propia a través del software FPC

A continuación, se muestra los defectos que presentan la actual vía de acarreo: en los tramos 01 (Zona de carga), y tramo 12 (Zona de descarga), el estado de vía se encuentra fuera del estándar (baches, encalaminado) los operadores de los camiones en estas zonas deben que reducir la velocidad y las marchas de sus equipos, para que posteriormente tengan la necesidad de acelera nuevamente para aumentar la velocidad de camiones, esto produciendo un aumento del consumo de combustible. Se ha observado que el tramo 05 se tiene una pendiente excesiva mayor a 17%. Siendo lo recomendado 10% según lo recomendado por el fabricante de los camiones CAT y Tannant y Regensburg 2001, pág. 04.

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.

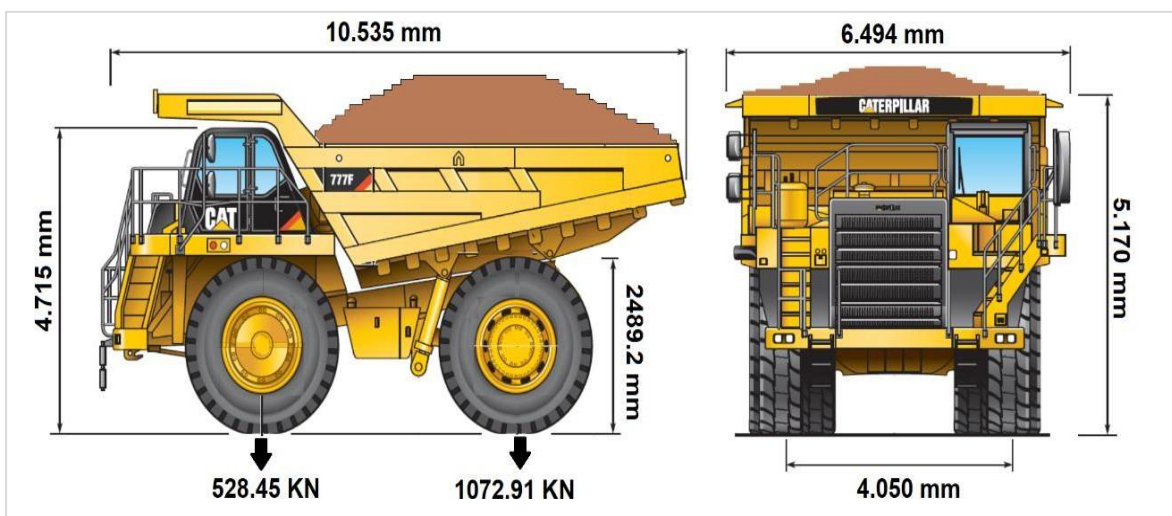
3.3 Características de la flota de camiones de acarreo

En la vía de acarreo circulan 12 camiones de acarreo, cuyo peso bruto por camión 777F CAT es de 163.293 kg, siendo su distribución de peso en el eje delantero de 33% con 53.886 Kg y 67% con 109.406 Kg.

La fuerza ejercida por el camión cargado con su capacidad nominal de 91 ton. sobre la vía de acarreo es de 528.45 KN en el eje delantero y 1071.91 KN en el eje trasero.

Figura 30

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



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

A continuación, en la tabla 3.2 se muestran las características de los camiones de acarreo CAT 777F obtenidas de la base de datos del software FPC.

Tabla 13

Características de la flota de Camiones de Acarreo	
Modelo de la flota	777F Tier II
Contiene información sobre combustible	Si
Cantidad de camiones	12
Descarga y maniobra (min)	01:12
Código de la máquina	CM-001
Identificador (Opcional)	No
Tamaño del neumático	27.00R49
Tipo de neumático	E4
Corrección de velocidad	1
Corrección de propulsión	1
Corrección de Retardando	1
Margen de Retardando (***)	No
Peso vacío (Kg)	72,932
Límite TKPH	400
Índice de carga útil (Kg)	90,361.05
Volumen del cuerpo (m3)	60.02
Costo por hora (\$)	137.04
Limitado a engranaje	7
Lógica de cambio	Standard
Disponibilidad Mecanica(%)	91
Límite de velocidad Cargado (Kph)	35
Límite de velocidad vacío (Kph)	64.5

Nota: Elaboración propia en base al software FPC.

A continuación, se muestra en la tabla 3.3 las características del equipo de carguío en nuestro caso es el cargador frontal CAT 993K, obtenidas de la base de datos del software FPC.

Tabla 14

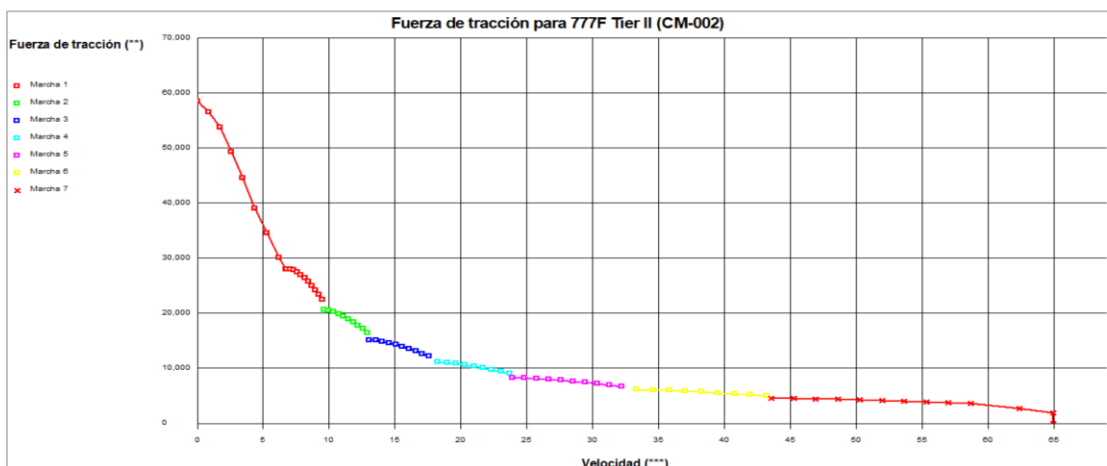
Características del Cargador	
Contiene información sobre combustible	Si
Cantidad	1
Modelo	993K HL
Carga en tándem	No
Tipo de cuchara	RK SP TEETH/SEG
Capacidad de la cuchara (m3)	14.53
Factor de llenado (%)	100
Carga estimada (Ton)	25,401
Tiempo de ciclo (Minutos)	00:35
Primer cuchara (Minutos)	00:06
Intercambio de transporte	00:42
Costo por hora (\$)	181.91
Disponibilidad (%)	91

Nota: Elaboración propia en base al software FPC.

La fuerza de tracción en Kg. del camión CAT 777F se muestra en la figura 3.8, donde la mayor fuerza de tracción de 60,000 Kg. aprox. se da en la primera marcha y la menor fuerza de tracción de 5,000 Kg. aprox. se da en séptima marcha alcanzando una velocidad máx. de 65 Kph.

Figura 31

Fuerza de tracción del camión CAT 777F

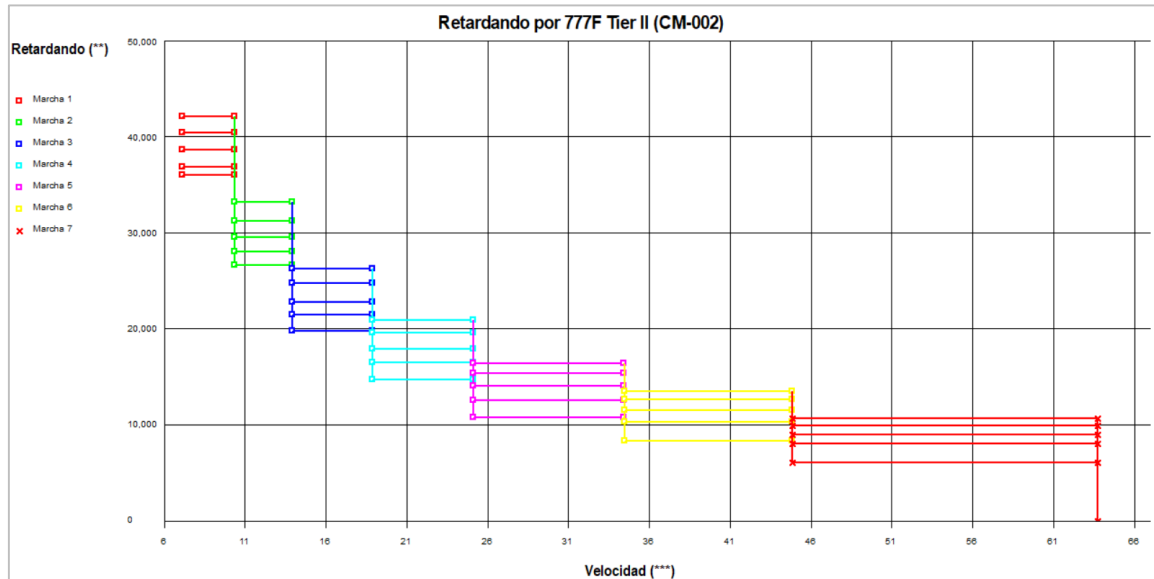


Fuente: Elaboración propia en base al software FPC.

La mayor fuerza de retardo del camión CAT 777F se produce a una velocidad menor a 11 Kph. con una fuerza de 40,000 Kg. ver la figura 3.9.

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

Los indicadores del desempeño de la Flota que camiones de acarreo se obtienen se obtienen del Sistema de Administración Vital de los Camiones (VIMS) que luego son ingresados en el software de Análisis de Costos y Productividad de Flota o (FPC) por sus siglas en inglés que a continuación se detallan:

3.5 Distancia recorrida en el ciclo de acarreo

La distancia del ciclo de acarreo promedio es la suma de las distancias totales de recorrido sin y con carga, dividido por el recuento de cargas reales transportadas durante el período que se tiene en cuenta. Actualmente la vía tiene una longitud total de 6,244 m.

Tabla 3.4

Distancia de la vía de acarreo	
Distancia de Transporte (Km)	6,243
Distancia de Regreso (Km)	6,244
Distancia total (Km)	12,487

Nota: Elaboración propia en base al FPC

3.5.1. Velocidad en ciclo de acarreo

La velocidad promedio actual del ciclo de acarreo de los camiones se ha obtenido a través del sistema VIMS y es de 32 Kph. La velocidad más alta se manifiesta en el retorno de los camiones, sin carga, llegando a 49.74 Kph en promedio.

Tabla 15

Velocidad de los camiones en la vía de acarreo	
Velocidad Media Distancia (Kph)	24.19
Velocidad promedio de Regreso (Kph)	49.74
Velocidad promedio del ciclo (Kph)	32.55

Nota: Elaboración propia en base al FPC

3.5.2. Tiempos de ciclo de acarreo

El neumático fuera de carretera también llamado OTR (Off the Road tyres) para camión fuera de carretera CAT 777F es el 27.00R49 (E4) y su TKPH (Toneladas Kilómetros por Hora) especificado es de 400 según información del fabricante Michelin.

La relación del Límite de peso-velocidad de los neumáticos traseros para la activación del límite de velocidad de la máquina es de 3425.3 TKPH. (Folleto Técnico del Camión de Obra 777F CAT N° ASHQ5749-01) Considerando los



resultados del software FPC, el tiempo del ciclo actual de acarreo es de 20.06 min. y el tiempo del ciclo total es de 39.54 min; y teniendo en cuenta que la capacidad de carga del camión es 86.17 ton., ver tabla 4.5, la carga de los neumáticos excede su capacidad TKPH de diseño, por lo tanto, el mencionado software recomienda enfriar los neumáticos un lapso de 10 min aprox. ver la tabla 4.9.

Tabla 16

Tiempo de ciclo de transporte	
Flota y Modelo del camion de acarreo	12 777F Tier II
Carga con intercambio (minutos)	01:46
Acarreo (minutos)	15:29
Descarga y maniobra (minutos)	01:12
Regreso (minutos)	07:32
Tiempo de ciclo posible (minutos)	25:58:00
Espera en transporte lento (minutos)	00:00
Espera para cargar (minutos)	01:30
Agrupación adicional (minutos)	00:00
Espera para descarga (minutos)	02:00
TMPH Espera (minutos)	00:00
Tiempo de ciclo total (minutos)	29:28:00
Eficiencia del operador	95
Disponibilidad de la flota	82.81
Ajustado tiempo de ciclo	31:02:00

Nota: Elaboración propia en base al FPC

El equipo de carguío usado ciclo es el CAT 993K, cuyas características del tiempo del ciclo de la carga se pueden apreciar en la tabla 3.7.

Tabla 17

Tiempo del ciclo del cargador	
Flota y Modelo del camion de acarreo	12 777F Tier II
Modelo del cargador	993K HL
Cantidad de cargador	1
Capacidad de la cuchara (m3)	14.53
Factor de llenado del cargador (%)	100
Densidad a granel (Kg/m3)	2,000
Toneladas metricas por pase	29.05
Pases de sistema por Transporte	3
Carga útil del transporte (Ton)	87.16
% de peso bruto del vehículo máximo	98.04
Volumen del transporte (m3)	43.58
% de cuerpo lleno	73
Tiempo del ciclo del cargador (minutos)	00:29
Primer cuchara (minutos)	00:06
Tiempo de intercambio de transporte (minutos)	00:42

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

3.5.3. Producción de los camiones

Los datos del ciclo de acarreo se obtienen del sistema de administración de carga útil de camiones (TPMS) o informes de VIMS-TPMS.

Tabla 18

Produccion de los camiones en la via de acarreo		
Toneladas por Hora por camión		201
Toneladas por turno por camión	12	2,416
1 Toneladas por semana por camión	168	33,824
Toneladas por mes por camión	722	145,361
Producción anual por camión	8,669	1,745,344
Diferencia porcentual		
La producción estimada		
Cantidad de camiones		12
Toneladas por hora de la flota de camiones		1,675
Toneladas por turno de la flota de camiones		20,099
Toneladas por semana de la flota de camiones		281,391
Toneladas por mes de la flota de camiones		1,209,313
Producción anual de la flota de camiones		14,520,127
Diferencia porcentual		
Optimización de la flota		
Cantidad transporte		15
Toneladas por hora de la flota de camiones		2,094
Toneladas por turno de la flota de camiones		25,124
Toneladas por semana de la flota de camiones		351,739
Toneladas por mes de la flota de camiones		1,511,641
Producción anual de la flota de camiones		18,150,158

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

3.5.4. Consumo de combustible

El consumo de combustible actual por ciclo de los camiones asciende a 53.68 L. (14.18 gal.). El consumo por hora programa asciende a 1031,60 L. (272.5 gal.), y su consumo de combustible anual es de 5,157,998 L. (1,362,598.9 gal). ver las tablas 3.9 y 3.10.

Para terminar el proyecto de acarreo estimado en 30 millones de ton. se estima que la flota consumirá un total de 18,476,981 L. (4,881,101.9 gal), ver la figura 3.10. Para mayor detalle

Si consideramos que por cada galón de combustible diésel se emite 2,65 kg, entonces al final del proyecto se emitirán 129 ton de CO₂ al medio ambiente.

Tabla 19

Consumo de combustible por camion por ciclo de transporte	
Modelo del camion	777F Tier II
Carga con intercambio (Litros)	0.7
Acarreo (Litros)	38.12
Descarga y maniobra (Litros)	1
Regreso (Litros)	13.69
Ciclo de combustible posible (Litros)	53.52
Consumo de combustible posible (Litros/ Hr)	123.62
Espera en transporte lento (Litros)	0
Espera para cargar (Litros)	0.16
TMPH Espera (Litros)	0
Litros por hora programada (Transporte)	85.97
Total ciclo de combustible (Litros)	53.68
Consumo total de combustible (Litros / Hr)	109.28
Costo por hora del combustible del transporte	
Costo por hora programada (\$)	412.64
Costo por hora de operación (\$)	524.52

Nota: Elaboración propia en base al software FPC



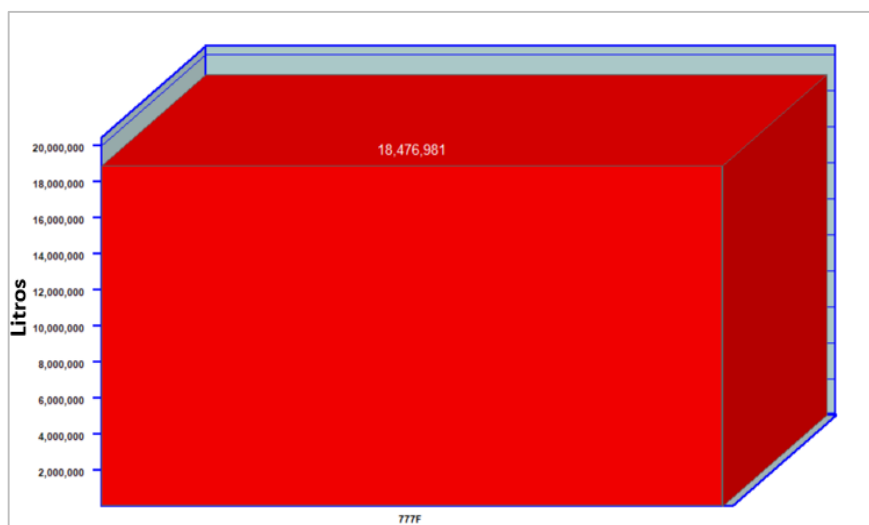
Tabla 20

Estimación del consumo de combustible para la flota	
Numero de camiones	12
Equivalencia litros por hora programada (Flota)	1,031.60
Equivalencia litros por año (Flota)	5,157,998
Total equivalencia litros para el proyecto minero	18,476,981
Toneladas por Litro de combustible	1.62

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

Figura 33

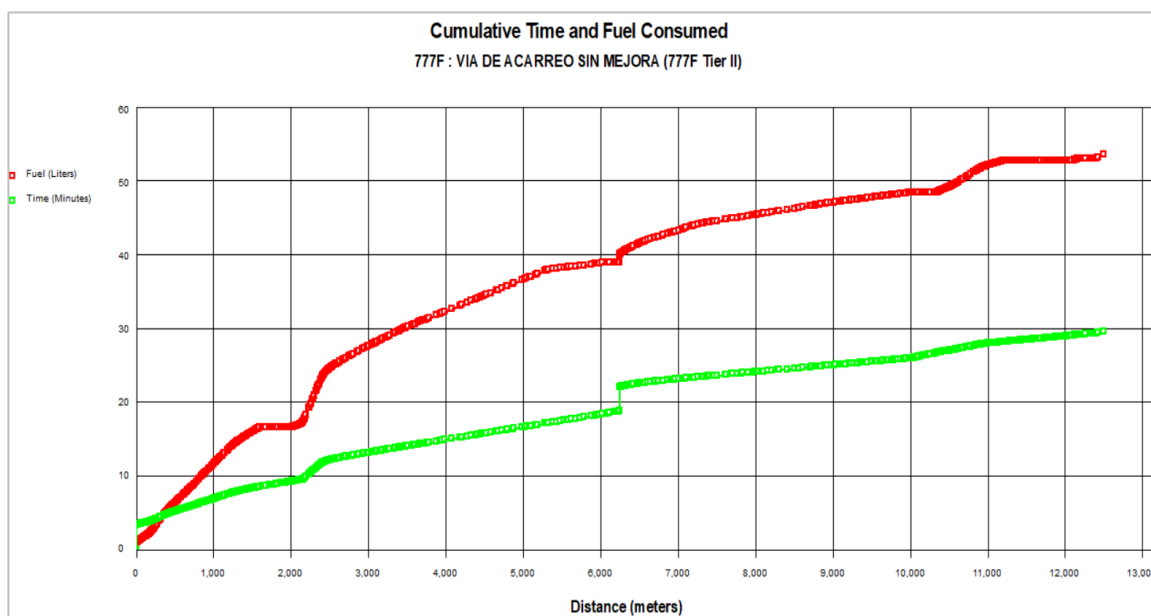
Consumo de combustible anual de la flota



Nota: Elaboración propia en base al software FPC

En la figura 3.10 se muestra la gráfica de consumo de combustible vs la distancia recorrida por camión en la actual vía de acarreo.

Figura 34



Nota: Elaboración propia en base al software FPC



3.5.5. Resistencia a la rodadura en la vía de acarreo

La resistencia a la rodadura está estimada en 2.5%.

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

A través del Control de Análisis de Carreteras (RAC) la cual es una herramienta de administración de carreteras de acarreo de CAT que brinda retroalimentación del operador sobre las condiciones de la carretera, cuantifica la gravedad de la condición y permite a la administración de la mina tomar decisiones de mantenimiento de carreteras de acarreo más informadas para reducir los costos generales de transporte, se ha obtenido la siguiente información.

3.5.6.1. Desviación transversal de la carga sobre el camión (Pitch)

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

El promedio de la desviación transversal de la carga del camión (Pitch) en la vía es de - 105 psi, como se observa en la gráfica al inicio de la vía en tramo 1, se ha observado que el esfuerzo que está sometido el camión se encuentra fuera del límite de administración, con picos de

1500psi encontrándose en la zona amarilla de advertencia. Ver figura 3.12.

3.5.6.2. Esfuerzo torsional sobre el camión (Rack)

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

El promedio del esfuerzo torsional del camión (Rack) en la vía es de -

41 psi, Como se observa en la figura 3.6 en el tramo 1, se ha observado que el esfuerzo que está sometido el camión se encuentra fuera del límite de administración, con picos de 1600psi encontrándose en la zona amarilla de advertencia. Ver figura 3.12

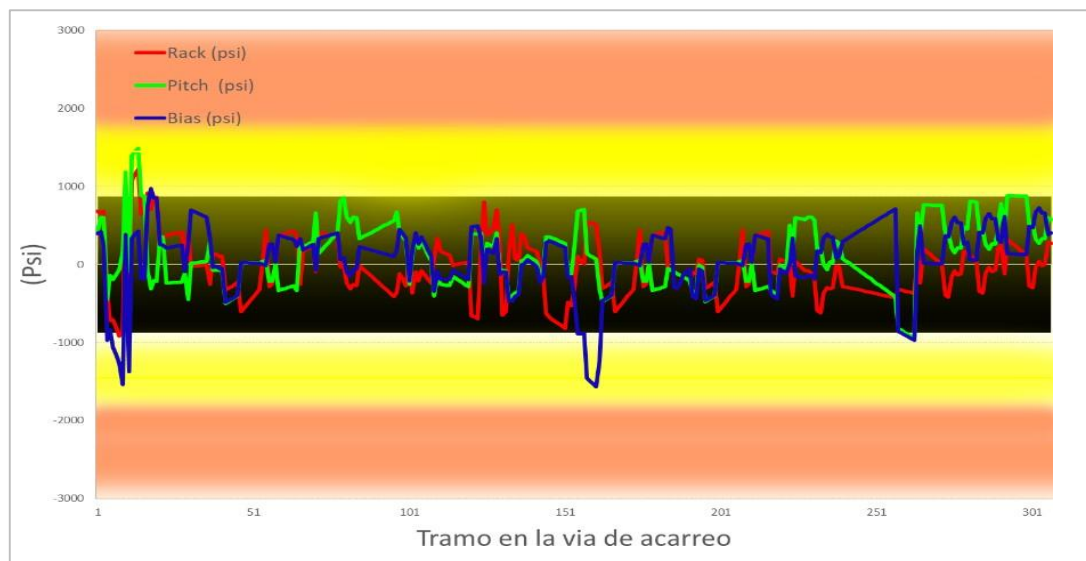
3.5.6.3. Desviación longitudinal de la carga en el camión (Bias)

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

El promedio de la desviación longitudinal de la carga del camión (Bias) en la vía es de 65 psi. Como se observa en la figura 3.6 en los tramos 1 y 4, se ha observado que el esfuerzo que está sometido el camión se encuentra fuera del límite de administración, con picos de 1600psi encontrándose en la zona amarilla de advertencia. Ver figura 3.12.

Figura 35

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



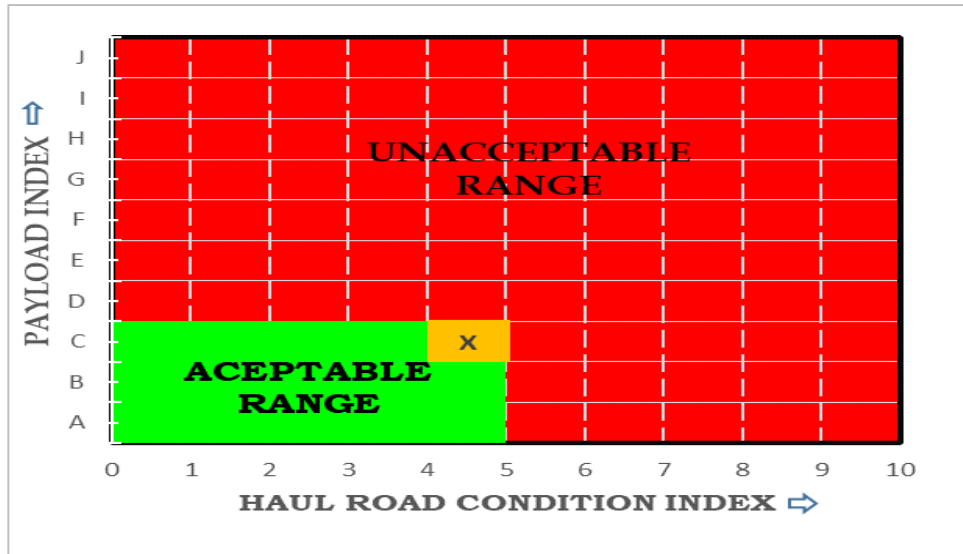
Nota: Elaboración propia en base al software FPC

3.5.7. Índice de severidad de la vía de acarreo (MSI)

El índice de la condición del camino recorrido, Haul Road Index (HRC), se encuentra en la posición + Condición 5, nos indica que la severidad de las vías se encuentra dentro del rango aceptable. Ver la figura 3.13.

Figura 36

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

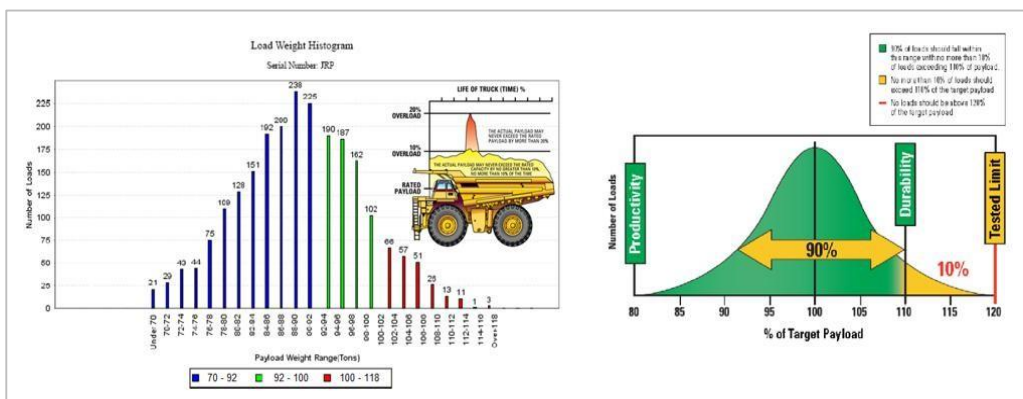


Nota: Elaboración propia en base al software FPC

El índice de la condición de la distribución a la carga útil de la máquina o PLD (Payload Distribution index), se encuentra en la posición + Condición B, lo cual nos indica que el 95% de las cargas son menores al 110% de carga útil nominal, y ninguno de ellos supera el 120%. Por lo tanto, se cumple la regla de pesaje “10/10/20”, estipulada por fabricante de los camiones CAT. A continuación, se muestra en la figura 3.14 la distribución de carga de un camión de la flota.

Figura 37

Distribución de la carga de un camión, regla de pesaje “10/10/20”



Nota: Elaboración propia en base a los datos obtenidos del software VIMS

3.6. Análisis de los costos de la flota de acarreo en la vía de acarreo

3.6.1. Costo horario de la flota de acarreo

El costo por hora del camión CAT 777F ha sido calculado en USD 137.04 a través del el software FPC. A continuación en las figura 3.15 y 3.16 se muestran el procesamiento de los costos de posesión y mantenimiento del camión.

Figura 38

Costo de posesión del camión CAT 777F

Costos de renta		Costos de operación	
Perfil de utilización		Costos anuales	
Período de propiedad: 5 Años		Interés: 100,000	
Utilización programada: 5,000.0 Horas por año		Seguro: 50,000	
Disponibilidad: 91.00 %		Impuesto a la propiedad: 10,000	
Utilización actual: 4,550.0 Horas por año			
Costo total de vehículo		Costos por hora calculados	
Precio entregado (Incluye adjuntos): 1,200,000		Precio de: 52.18 \$	
Menos costo por reemplazo de neumático si se desea: 13,000		Interés: 21.98 \$	
Menos valor de residuo en reemplazo:		Seguro: 10.99 \$	
Valor a ser recuperado a través de trabajo: 1,187,000		Impuesto a la propiedad: 2.20 \$	
		Costo total de renta: 87.34 \$	

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

Figura 39

Costo de operación del camión CAT 777F

Costos de lubricante y aceite		Artículos de vestimenta especial	
Componente	Total \$	Vida (Horas)	Por hora \$
Motor	140,000.00	15,000.00	9.333
Transmisión	90,000.00	15,000.00	6.000
Mandos finales	100,000.00	15,000.00	6.667
Hidráulicas	45,000.00	15,000.00	3.000
Grasa	8,000.00	15,000.00	0.533
Filtros	25,000.00	15,000.00	1.667

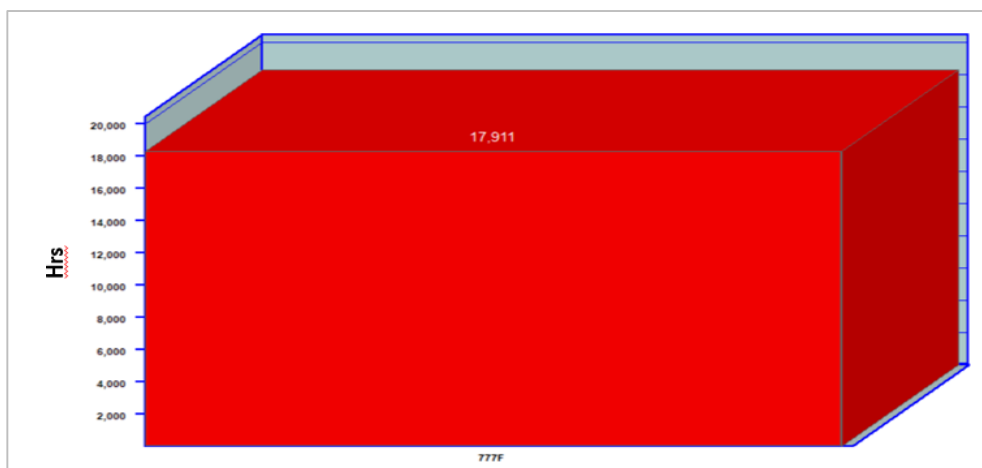
Costos de operación por hora en \$		Resumen	
Operador	5.00	Costo de operación por hora	49.70
Combustible	4.50	Costo de renta por hora	87.34
Lubricante, Aceites, Grasa	27.20	Costo total por hora	137.04
Neumáticos	2.50		
Chasis	2.50		
Reserva por reparación	8.00		
La Energía eléctrica externa			
Artículos de vestimenta especial			

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

A continuación, se muestra en la figura 3.17 las horas programadas para la producción en la flota de acarreo la misma que asciende a 17,911Hrs.

Figura 40

Horas programadas para producción

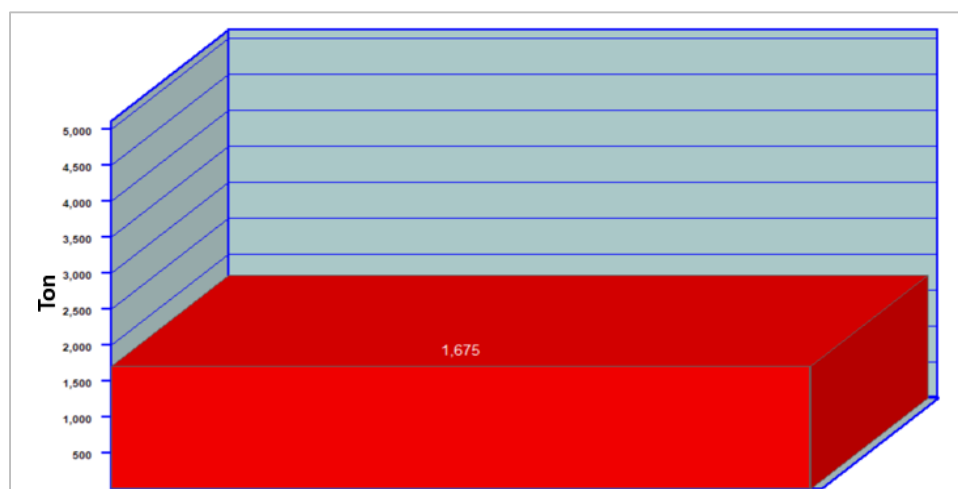


Nota: Elaboración propia en base al software FPC

En la siguiente figura 3.18 se muestra las toneladas producidas actualmente por la flota por hora programada que asciende a 1675 ton., según la evaluación realizada con el software FPC.

Figura 41

Toneladas producidas por horas programadas



Nota: Elaboración propia en base al software FPC

En la siguiente figura 3.19 se muestra el costo por acarrear actualmente 1000 ton. de material efectuado por los 12 camiones 777F, que asciende a USD 4,028.

Figura 42

Costo operativo por mil toneladas acarreadas



Nota: Elaboración propia en base al software FPC

3.6.2. Costo horario de la flota de carguío

De igual forma, el costo por hora del cargador CAT 993K ha sido calculado en USD 181.91 a través del software FPC. A continuación en las figuras 3.20 y 3.21 se muestran el procesamiento de los costos de posesión y mantenimiento del cargador.

Figura 43

Costo de la flota de operación del cargador 993K

Costos de renta		Costos de operación	
Perfil de utilización			
Período de propiedad:	5 Años	Costos anuales	
Utilización programada:	6,000.0 Horas por año	Interés:	180,000
Disponibilidad:	91.00 %	Seguro:	70,000
Utilización actual:	5,460.0 Horas por año	Impuesto a la propiedad:	15,000
Costo total de vehículo		Costos por hora calculados	
Precio entregado (Incluye adjuntos):	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

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

A continuación, se muestra en la tabla 3.11 el resumen de los costos totales que significa mantener la tanto de la flota de acarreo como la flota de carguío para completar el proyecto de acarreo de 30 millones de toneladas de material que se estima dure 4.8 años, cuyo costo asciende a USD 120,842,083, ver figura 3.22, estos resultados fueron obtenidos través del software FPC.

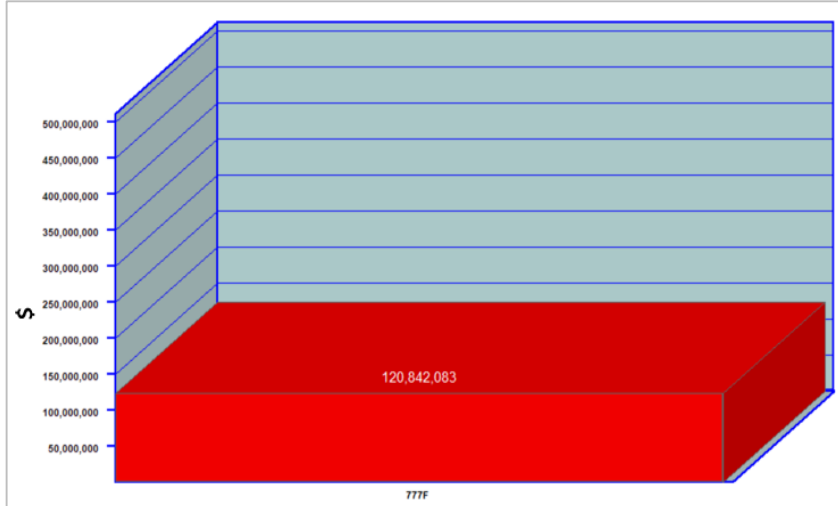
Tabla 3.11

Costos de operación la flota de acarreo						
Maquinas	Cant.	Modelo	Costo por hora \$	Horas de operación	Total \$	\$ por Mton
Vía de acarreo Cargadores	1	993K HL	181.91	14,832	2,698,152	0.09
antes de la Transportes:	12	777F Tier	661.48	177,985	118,143,931	3.938
mejora Total flota	13			192,817	120,842,083	4.028

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

Figura 45

Costo total de operación y posesión de la flota de carguío y acarreo para efectuar el proyecto minero



Nota: Elaboración propia en base al software FPC

CAPÍTULO IV

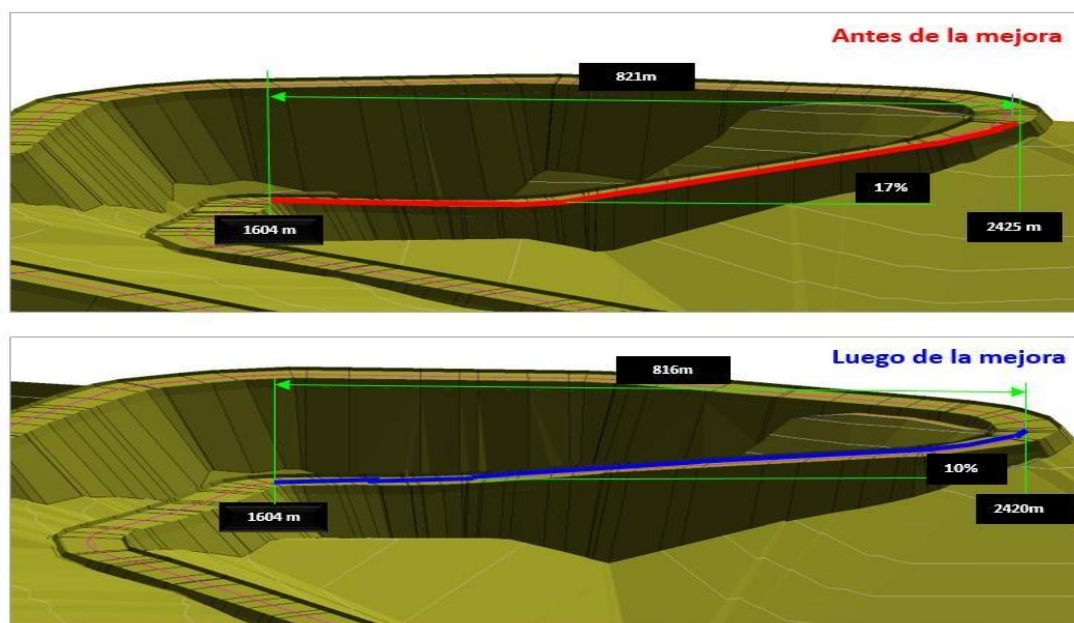
PROPUESTA DE MEJORA

4.1. Nuevo diseño para mejorar la actual vía de acarreo

La mejora consiste en implementar una reducción de la pendiente del tramo 4 y tramo 5, desde los 1604 m. hasta 2425 m. de la vía, de 17% a 10% de inclinación, según se puede apreciar en la figura 4.1. Para mayor detalle de las características de la vía antes y después de la mejora y su impacto en la productividad en los camiones ver el ANEXO...

Figura 46

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

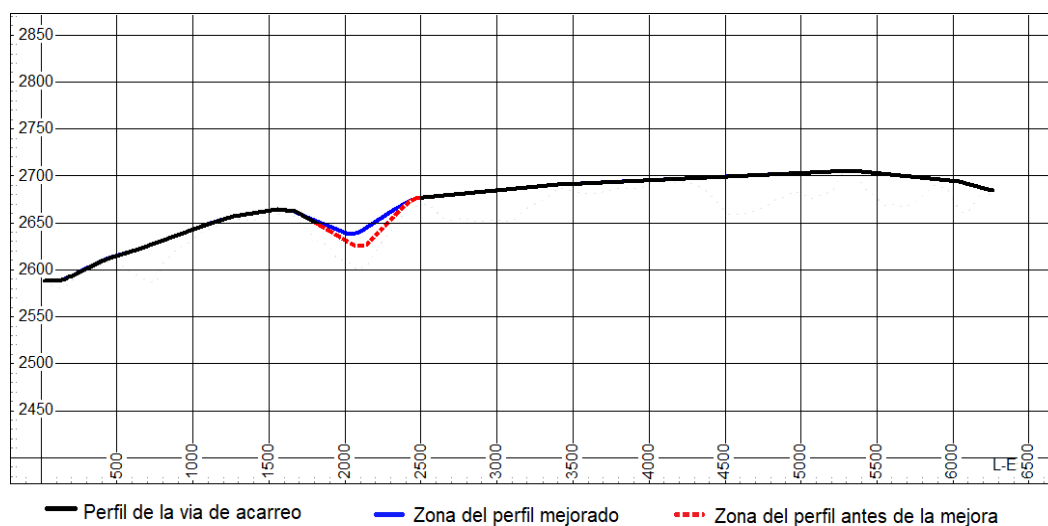


Nota: Elaboración propia utilizando el software RoadEng

En la siguiente figura 4.2 se muestra el perfil de la vía de acarreo donde se realizará la mejora, (1604m a 2425m).

Figura 47

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



Nota: Elaboración propia utilizando el software RoadEng

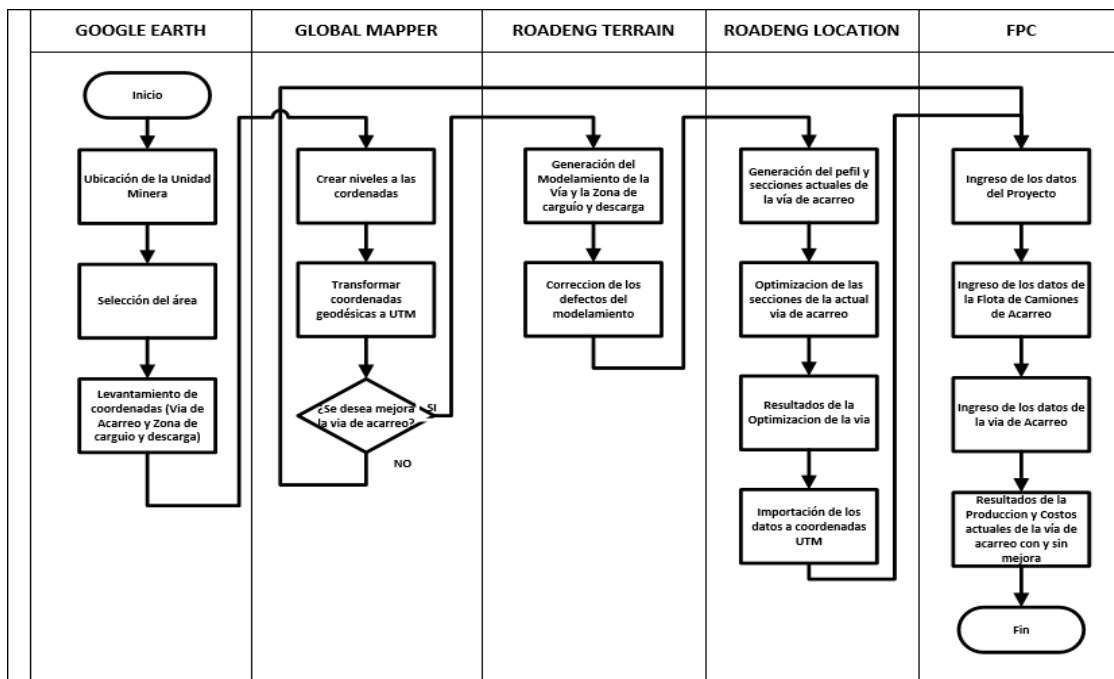
4.2. Proceso para efectuar las mejoras en la vía de acarreo

El proceso de mejora de la vía de acarreo que se ha desarrollado en la presente investigación, nos permitirá identificar aquellas zonas que no cumplen con lo especificado tanto por las normativas de construcción, así como lo recomendado por el fabricante CAT para la circulación de sus camiones de acarreo.

Para cumplir dicho cometido hemos aplicado los softwares: Google Earth, Global Mapper, Road ENG y FPC de CAT. En la figura 4.3 mostramos el flujo del proceso para efectuar mejoras en una vía de acarreo aplicados los mencionados programas.

Figura 48

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



Nota: Elaboración propia

4.3. Desempeño los camiones en vía de acarreo mejorada

A continuación, se muestra los resultados del procesamiento de datos de la comparación del desempeño de la flota de camiones de acarreo circulando en la vía actual y la vía mejorada realizada a través del software FPC.

4.3.1. Distancia recorrida

Como se observa en la siguiente figura la distancia total de la vía de acarreo antes y después de la mejora permanece invariable, a excepción de los 7m de diferencia producto de la disminución de la pendiente que tiene la vía mejorada. En la tabla 4.1 se muestra el detalle.

Tabla 21

Distancia de la vía de acarreo			
Vía de acarreo	Distancia acarreo (m)	Distancia retorno (m)	Distancia total (m)
Antes de la mejora (m)	6,243	6,244	12,487
Después de la mejora (m)	6,240	6,240	12,480

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

4.3.2. Resistencia a la rodadura

En lo referente a la resistencia a la rodadura se continúa manteniendo con un 2.5%

4.3.3. Velocidad de los camiones

El promedio de velocidad de los camiones se ha incrementará en la vía mejorada a 34.44 Kph. A continuación, en la tabla 4.2 estos resultados.

Tabla 22

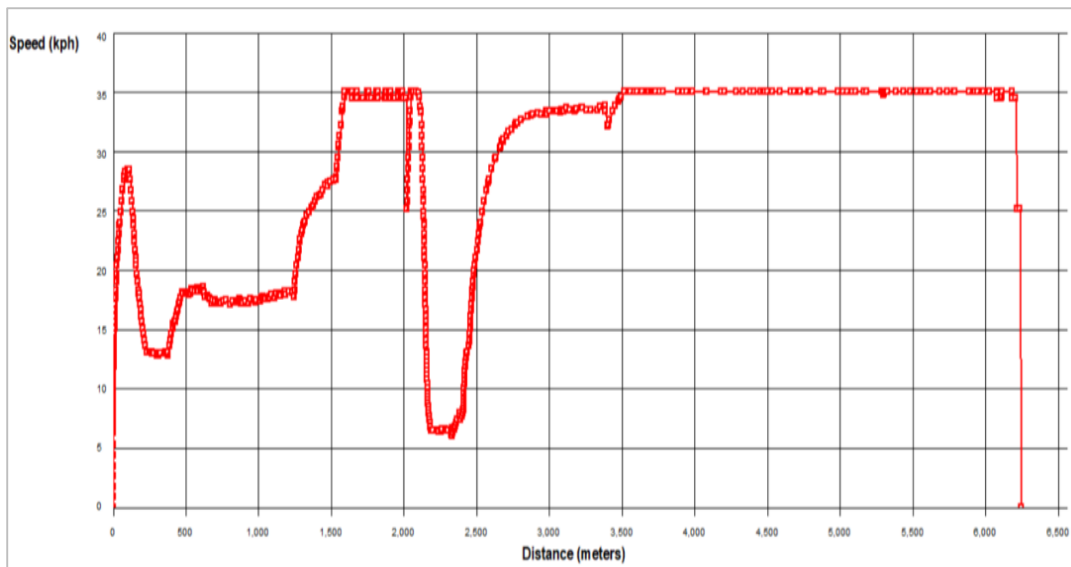
Velocidad de los camiones en la vía de acarreo			
Vía de acarreo	Velocidad Prom	Velocidad Prom. en retorno	Prom. de velocidad en el ciclo (Kph)
Antes de la mejora (Kph)	24.2	49.74	32.55
Después de la mejora (Kph)	25.1	54.66	34.44

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

En las figuras 4.4 y 4.5 se muestra la diferencia de velocidad antes y después de la mejora, en el tramo 5 comprendido entre 2000 m. a 2500 m. de longitud.

Figura 49

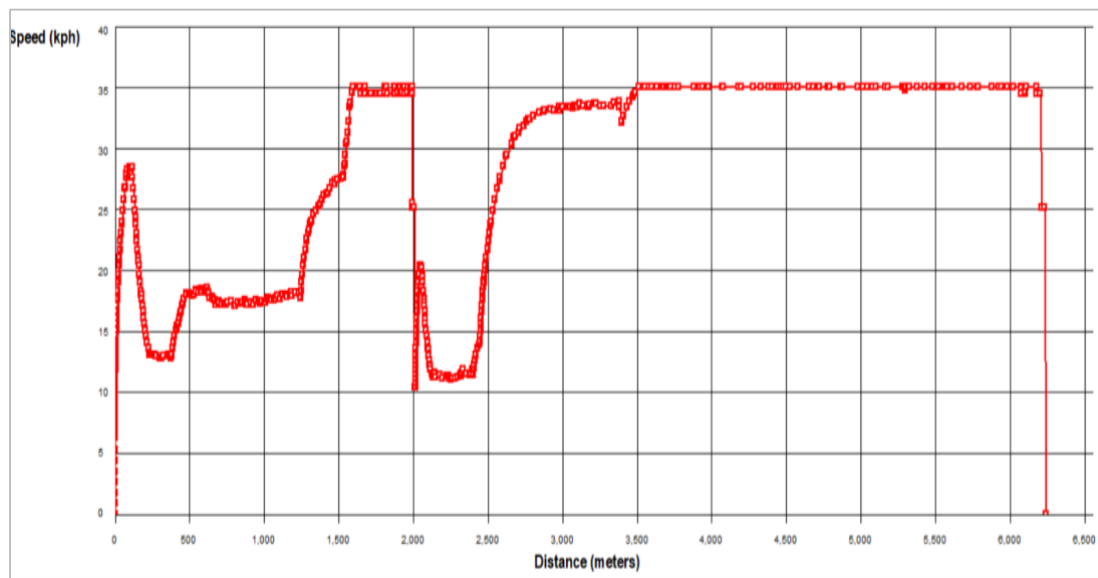
Velocidad de los camiones en la actual vía de acarreo



Nota: Elaboración propia en base al software FPC

Figura 50

Velocidad que desarrollarían los camiones en la vía de acarreo mejorada.



Nota: Elaboración propia en base al software FPC

4.3.4. Consumo de combustible

Considerando el indicador del ciclo de combustible posible y circulando en la vía de acarreo mejorada, el consumo de combustible por camión, tendrá una reducción en 2.2 Litros (0.6 gls) por hora. Los camiones usan el *diésel B5 S-50* cuyo costo actual asciende a USD 4.5 x gln.

Por lo tanto, el costo por hora de operación por camión circulando en la vía mejorada tendrá una reducción en USD 2.42 según la según la simulación realizada en el software FPC, ver a continuación la tabla 4.3.

Tabla 23

Consumo de combustible por camion por ciclo de transporte		
Via de acarreo	Antes	Despues
Modelo del camion	777F Tier II	12 777F Tier II
Carga con intercambio (Litros)	0.7	0.72
Acarreo (Litros)	38.12	37.01
Descarga y maniobra (Litros)	1	1
Regreso (Litros)	13.69	12.58
Ciclo de combustible posible (Litros)	53.52	51.32
Consumo de combustible posible (Litros/ Hr)	123.62	123.67
Espera en transporte lento (Litros)	0	0
Espera para cargar (Litros)	0.16	0.16
TMPH Espera (Litros)	0	0
Litros por hora programada (Transporte)	85.97	85.57
Total ciclo de combustible (Litros)	53.68	51.49
Consumo total de combustible (Litros / Hr)	109.28	108.77
Costo por hora del combustible del transporte		
Costo por hora programada (\$)	412.64	410.73
Costo por hora de operación (\$)	524.52	522.1

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

4.3.5. Producción de los camiones

Según los datos obtenidos a través del software FPC, la producción de los camiones en la vía mejorada se incrementará de 1,675 ton/hr. a 1,738 ton/hr. lo que significa un aumento del 3.62% (63 ton/hr). A continuación, se muestran los resultados en la tabla 4.4.

Tabla 24

Producción de los camiones en la vía de acarreo			
Vía de acarreo	Antes	Despues	
Toneladas por Hora por camión	201	210	
Toneladas por turno por camión	12	2,416	2,520
Toneladas por semana por camión	168	33,824	35,283
Toneladas por mes por camión	722	145,361	151,632
Producción anual por camión	8,669	1,745,344	1,820,629
La producción estimada			
Cantidad de camiones	12	12	
Toneladas por hora de la flota de camiones	1,675	1,738	
Toneladas por turno de la flota de camiones	20,099	20,860	
Toneladas por semana de la flota de camiones	281,391	292,033	
Toneladas por mes de la flota de camiones	1,209,313	1,255,047	
Producción anual de la flota de camiones	14,520,127	15,069,260	
Optimización de la flota			
Cantidad transporte	15	13	
Toneladas por hora de la flota de camiones	2,094	1,883	
Toneladas por turno de la flota de camiones	25,124	22,598	
Toneladas por semana de la flota de camiones	351,739	316,369	
Toneladas por mes de la flota de camiones	1,511,641	1,359,635	
Producción anual de la flota de camiones	18,150,158	16,325,032	

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

Tabla 25

Producción de la flota		
Vía de acarreo	Sin mejora	Con mejora
Eficiencia del operador (%)	95	95
Período del Programa	Anual	Anual
Horas programadas	5,000.00	5,000.00
Estimaciones de flota		
Disponibilidad de la flota (%)	82.81	82.81
Producción por hora programada (Ton)	1,674.95	1,738.29
Producción total (Ton)	30,000,000	30,000,000
Hrs programadas requeridas	17,911.00	17,258.31
Costo total (\$)	120,842,083	116,043,770
Costo por Ton (\$)	4.028	3.868
Producción por año (Ton)	8,374,741	8,691,464
Años requeridos para producción total	3.58	3.45
Producción Teórica		
993K HL (01 und.) Ton por hora	2,971	2,668
777F Tier II (12 und.) Ton por hora	2,416	2,520
Ciclos por Hora	2.3	2.4
Producción real		
777F Tier II (01 und.) Ton por hora	87.16	87.16
777F Tier II (12 und.) Ton por hora	2,129.09	2,209.61
Ciclos por Hora	2.04	2.11
Flota Ton por hora de servicio (Ton/Hr)	2,129.09	2,209.61
x 95% La Eficiencia del Operador (Ton/Hr)	2,022.64	2,099.13
x 82% Disponibilidad de La Flota (Ton/Hr)	1,674.95	1,738.29

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

4.3.6. Ciclos de acarreo de los camiones

El tiempo del ciclo de acarreo en la vía de acarreo mejorada se redujo de 31:02 min a 29:54 min; es decir se tendrá una disminución en 1:08 seg. El tiempo de descarga y acarreo continúa siendo el mismo dado que se usará el mismo equipo de carguío; cargador frontal CAT 993K.

Sobre el tiempo de TKPH, toneladas-kilómetro por hora de los neumáticos no ha sido considerado, dado que según la simulación se tendría un tiempo mayor para enfriar los neumáticos ver tabla 4.6

Tabla 26

Tiempo de ciclo de transporte		
Via de acarreo	Antes	Despues
Flota y Modelo del camion de acarreo	12 777F Tier II	12 777F Tier II
Carga con intercambio (minutos)	01:46	01:58
Acarreo (minutos)	15:29	14:53
Descarga y maniobra (minutos)	01:12	01:12
Regreso (minutos)	07:32	06:51
Tiempo de ciclo posible (minutos)	25:58:00	24:54:00
Espera en transporte lento (minutos)	00:00	00:00
Espera para cargar (minutos)	01:30	01:30
Agrupación adicional (minutos)	00:00	00:00
Espera para descarga (minutos)	02:00	02:00
TKPH Espera (minutos)	00:00	00:00
Tiempo de ciclo total (minutos)	29:28:00	28:24:00
Eficiencia del operador	95	95
Disponibilidad de la flota	82.81	82.81
Ajustado tiempo de ciclo	31:02:00	29:54:00

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

Tabla 27

Resumen del tiempo de ciclo de acarreo antes y despues de la mejora								
Via de acarreo	Tiempo de viajes (min)						Mejora	
	Carga del camión	Acarreo (Camion Cargado)	Descarga y maniobra del camión	Regreso (Camion Vacio)	Espera descarga y carga	Tiempo ajustado de ciclo	(min)	(%)
Antes de la mejora	0:01:46	0:15:29	0:01:12	0:07:32	0:03:30	00:31:02		
Despues de la mejora	0:01:58	0:14:53	0:01:12	0:06:51	0:03:30	00:29:54	00:01:08	3.6

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

4.3.7. Capacidad de los neumáticos (TKPH)

Antes de implementar la mejora en la vía de acarreo, la capacidad de toneladas por kilómetros por hora de los neumáticos se encuentra a su límite; como se puede

observar en la tabla 4.9.

En los neumáticos traseros el TKPH se encuentra en 399 y en los neumáticos traseros 324, siendo su límite del fabricante 400, por lo es necesario por recomendación enfriar los neumáticos por un periodo de 10:06 min en cada ciclo de acarreo. De igual forma sucede en la simulación cuando los neumáticos circulan por la vía mejorada; dado que se traslada mayor cantidad de material en un menor tiempo, el periodo recomendado de enfriamiento se incrementó a 1:06 min en comparación con la vía sin mejora. Según este análisis es TKPH factor crítico es un para optimizar la vía de acarreo.

Tabla 28

Temperatura de los neumaticos antes y despues de la mejora en la via de acarreo						
Camion	CAT 777F Tier II			CAT 777F Tier II		
	Antes de la mejora			Despues de la mejora		
Via de acarreo						
Capacidad de carga del camion (Ton)	87.16			87.16		
Distancia del ciclo completo (km)	12.49			12.48		
Promedio pendiente en acarreo (%)	1.53			1.53		
Promedio pendiente retorno (%)	-1.53			-1.53		
Distancia de los ciclos del proyecto (km)	4,297,967.35			4,295,630.48		
Total de ciclos de acarreo del proyecto	344,195			344,195		
Posición neumaticos		D	T		D	T
Límite del TKPH para los neumaticos		400	400		400	400
Promedio carga neumaticos (Ton)		22.21	18.02		22.21	18.02
Ciclo de acarreo potencial (min)	25:58:00			24:54:00		
Velocidad promedio (kph)	28.84			30.07		
TKPH Limite potencial		640.71	519.81		667.98	541.94
TKPH Limite (%)		160.18	129.95		167	135.48
Eficiencia del operador %)	95			95		
Eficiencia de operación efectiva (%)	70.75			68.13		
Tiempo normal del ciclo de acarreo (min)	41.66			41.69		
TKPH espera para enfriamiento (min)	10:06			11:12		
Promedio de velocidad. (kph)	17.99			17.96		
Normal TKPH		399.5	324.12		399.02	323.73
% del Limite del TKPH		99.88	81.03		99.76	80.93

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

4.3.8. Efectos de la vía de acarreo en los camiones.

Se estima que el índice de la condición del camino recorrido, Haul Road Index (HRC), continuará en la posición 5, puesto que la mejora en vía de acarreo, la cual

no afectará dicho índice.

De la misma forma el índice de la condición de la Distribución a la Carga Útil de la Maquina Payload Distribution (PLD) index continuará en la misma posición + Condición B, dado que los camiones continuarán cumpliendo la regla de carga 10/10/20; es decir; transitarán en la vía de acarreo mejorada sin alterar su capacidad de carga.

4.3.9. Costo de la flota de carguío y acarreo

La siguiente tabla 4.6 muestra la diferencia del costo horario de la flota de carguío y de acarreo antes y después de la mejora; logrando tener un ahorro de USD 4,699,990 al finalizar el proyecto de acarreo.

Tabla 29

Costos de operación la flota de acarreo							
	Maquinas	Cant.	Modelo	Costo por hora \$	Horas de operación	Total \$	\$ por Mton
Vía de acarreo	Cargadores	1	993K HL	181.91	14,832	2,698,152	0.09
antes de la	Transportes:	12	777F Tier	661.48	177,985	118,143,931	3.938
mejora	Total flota	13			192,817	120,842,083	4.028
Vía de	Cargadores	1	993K HL	181.91	14,292	2,599,829	0.087
despues de la	Transportes:	12	777F Tier	529.6	171,499	113,443,941	3.781
mejora	Total flota	13			185,791	116,043,770	3.868

Nota: Elaboración propia en base al software FPC

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

A continuación, se describen los costos relacionados para implementar la mejora: reducción de la pendiente de 17° a 10° en el parte del tramo 4 y 5 de la actual vía de acarreo:

4.4.1 Costo del transporte del material de relleno

El coste de movimiento del material del relleno hacia la vía de acarreo ha sido estimado en USD 4.10 m³.

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 m³.

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 m².

4.4.5 Costo de compactación

Es el costo de compactación del tramo de 816 m. donde se efectuará la mejora, ha sido estimado en USD 1.70 x m².

A continuación, se muestra la tabla 4.11 con el resumen de los costos mencionados.

Tabla 30

Costo para efectuar el terraplén o relleno en la vía de acarreo	
Descripción del costo	(USD)
Costo de carga y descarga de material	\$2.30
Costo de acarreo del material	\$4.10
Costo de nivelación de la vía	\$1.70
Costo de compactación de la vía	\$1.60
Total	\$9.70

Nota: Elaboración propia en base al software FPC



CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Análisis de la producción de los camiones

La ley media del mineral de cobre en esta mina, sea de encuentra alrededor del 1.5%, y tiene una ratio estéril de mineral de 3.6. Esto quiere decir que para obtener 1 tonelada de cobre metal se necesitan mover alrededor de 300 toneladas de material.

Según la cotización de la bolsa de valores al momento de redactar la presente investigación la tonelada de concentrado de cobre se encuentra en USD 7,585 y su costo efectivo de producción se estima en USD 1.5 la libra de cobre; es decir; el costo de producción de una tonelada de concentrado de cobre en esta mina asciende a USD 3,300. Por lo tanto, quedaría una rentabilidad de USD 4,285 por tonelada de concentrado de cobre.

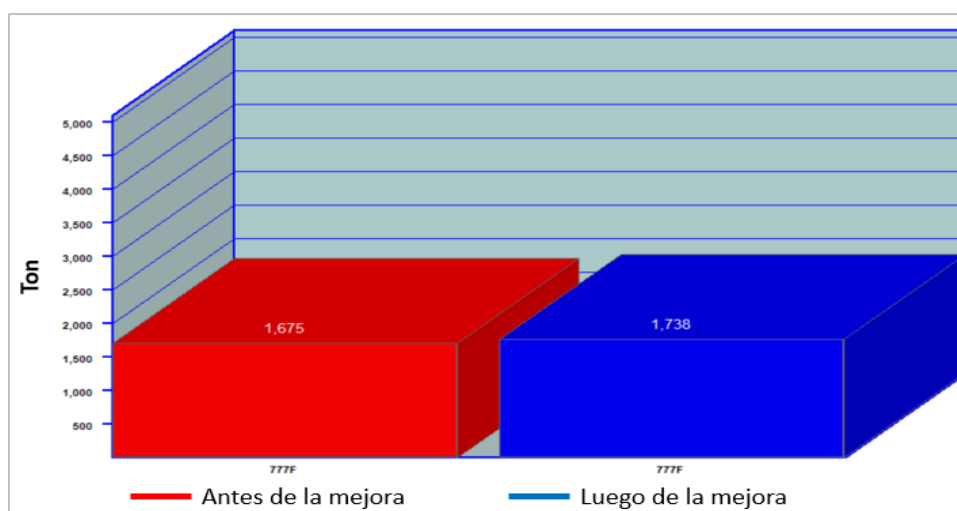
Según se observa en la figura 4.7, considerando la producción de la flota de los 12 camiones en la vía de acarreo mejorada se tendrá un incremento en el acarreo del material a razón de 63 ton/hr. y una producción extra anual de más de medio millón de material acarreado lo que nos indica que la unidad minera tendrá una producción extra de concentrado de cobre de 1,686.3 ton. con un ingreso anual extra estimado

en USD 7,225.795, considerando el costo de producción del cobre.

La figura 4.8 muestra que con la vía mejorada de acarreo se permitirá tener a los camiones menos horas de producción para una misma cantidad de material acarreado.

Figura 51

Toneladas producidas por hora programada



Nota: Elaboración propia en base al software FPC

Figura 52

Horas programadas para producción



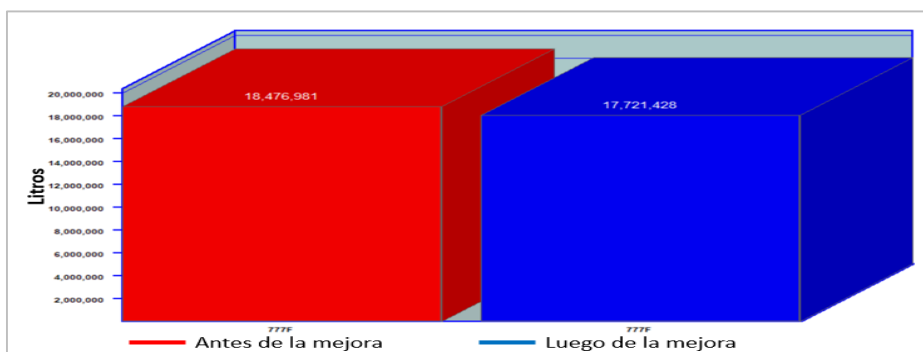
Nota: Elaboración propia en base al software FPC

15.2 Análisis de los costos de operación de los camiones

En la figura 4.6 se muestra la diferencia el consumo anual de la flota de camiones simulado luego de mejora a través del software FPC, que asciende a 755,153 L. (199,490.318 gal.), cuyo ahorro anual será de aproximadamente USD 900,000.00, considerando el precio del *diésel B5 S-50* que asciende al momento de la redacción a USD 4.5 el galón.

Figura 53

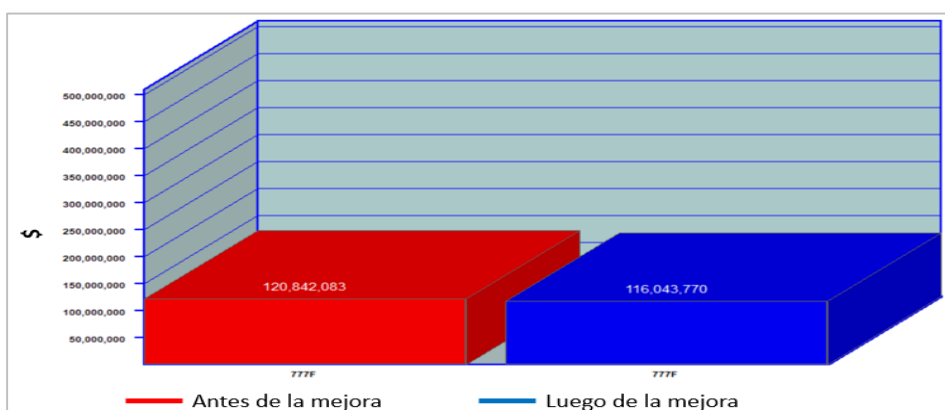
Consumo de combustible anual de la flota antes y después de la mejora, software FPC



Nota: Elaboración propia en base al software FPC

Figura 54

Costo Total de operación y posesión de la Flota de carguío y acarreo para



efectuar el proyecto minero

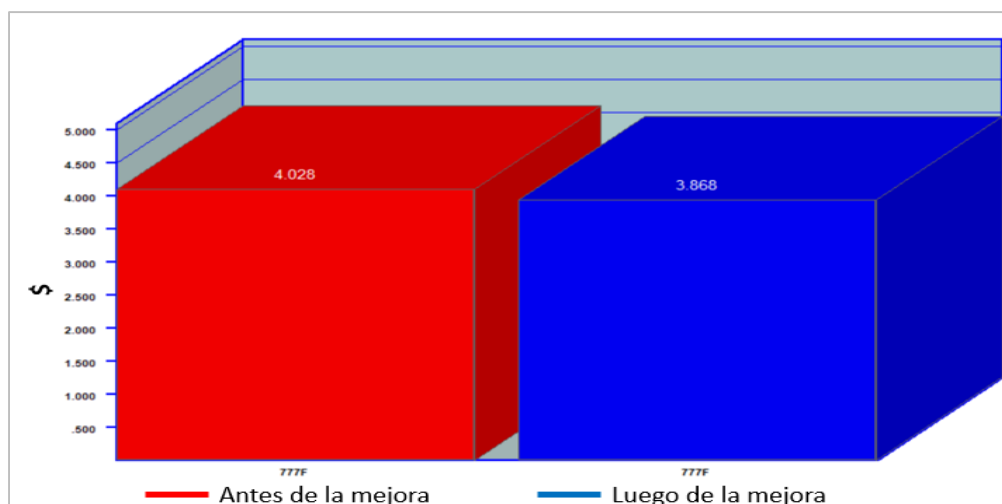
Fuente: Elaboración propia en base al software FPC

Como se observa en la figura 4.9, los costos de operación y posesión de la flota de acarreo (12 camiones CAT 777F) y carguío (01 cargador frontal CAT 993K), usando la vía de acareo mejorada, al finalizar el proyecto minero estimado en acarrear 30 millones de toneladas de material, se estima que se obtendrá un ahorro de USD 4,798.313.

De igual manera, en la siguiente figura se muestran los costos de operación de los camiones acarreando mil toneladas de material y usando la vía de acareo mejorada, se estima que se obtendrá un ahorro de USD 160.

Figura 55

Costo operativo por mil toneladas acarreadas



Nota: Elaboración propia en base al software FPC

5.3 Análisis de los costos del proyecto

En la tabla 4.12 se muestra el análisis de los costos del proyecto, donde se detalla los costos directos e indirectos que asciende a USD 5,302,793.09

Tabla 31

Análisis de los costos del proyecto				
Costos indirectos				
Mano de obra				
	Cant.	x Hr. (USD)	USD /H(H)	Costo. (USD)
Ingeniero responsable de la obra civil	1.00	\$17.00	1230	\$20,910.00
Oficiales de construcción de obra civil	3.00	\$15.00	1230	\$55,350.00
Topografos y Cadistas	2.00	\$11.30	1230	\$27,798.00
Operadores de los equipos	6.00	\$10.30	1230	\$76,014.00
Operarios para la obra civil	6.00	\$9.30	1230	\$68,634.00
Peones para la obra civil	8.00	\$8.30	1230	\$81,672.00
				\$330,378.00
Miscelaneos				
	Cant.	x Hr. (USD)	USD /H(H)	Costo. (USD)
Costos de alimentacion del personal	14,040	\$6.30		\$88,452.00
Costos de alojamiento del personal	4,680	\$20.00		\$93,600.00
Costos de transporte del personal	9,360	\$12.00		\$112,320.00
Costos admistativos del personal	26	1230	\$2.00	\$63,960.00
				\$358,332.00
Costos directos				
Equipos				
	Cant.	x Hr. (USD)	USD /H(H)	Costo. (USD)
Camión basculante de 15 m ² de carga.	25.00	\$50.00	1230	\$1,537,500.00
Bulldozer sobre cadenas D-6 de 103 kW.	3.00	\$35.00	1230	\$129,150.00
Pala cargadora sobre neumáticos de 5 m ² .	3.00	\$38.00	1230	\$140,220.00
Camión cisterna, de 8 m ³ de capacidad.	2.00	\$19.30	1230	\$47,478.00
Compactador vibrante autopropulsado, de 129 kW.	2.00	\$20.30	1230	\$49,938.00
Motoniveladora de 141 kW.	2.00	\$25.30	1230	\$62,238.00
				\$1,966,524.00
Miscelaneos				
	Cant.	x Hr. (USD)	USD /H(H)	Costo. (USD)
Costos de transporte de equipos	14,040	\$6.30		\$88,452.00
Costos de combustible para los equipos	133,200	\$7.00	7380	\$932,400.00
Costos de mantenimiento de equipos		\$12.00	7380	\$88,560.00
Costos admistativos de la obra				\$419,123.63
				\$1,528,535.63
Herramientas				
	Cant.			Costo. (USD)
Martillos neumaticos, Htas de corte, etc	324			\$25,000.00
Materiales				
	Cant.	(USD x m²)	(m²)	Costo. (USD)
M1 (Arena para relleno de zanjas.)	20.00	\$0.20	50000	\$200,000.00
M2 (Relleno con roca fija)	3.00	\$0.60	100000	\$180,000.00
M3 (Relleno con material de préstamo)	6.00	\$0.30	396,680	\$714,023.46
			546,680	\$1,094,023.46
			Total	\$5,302,793.09

Nota: Elaboración propia

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

A continuación, se muestran el retorno de la inversión sobre la producción de los camiones, así como el retorno de la inversión sobre la operación y posesión de los camiones

5.4.1 Retorno sobre la producción de los camiones

Con respecto a la producción la unidad minera tendrá un aumento de la producción del concentrado de cobre en 1686.3 ton. con un ingreso anual extra estimado en USD 7,225.795.5, considerando el costo de producción del cobre.

En relación al consumo de combustible de los camiones, considerando el precio del galón de diésel B5 S-50 asciende al momento de la redacción a US\$4.5, se estima tener una disminución en el consumo de 755,153 L. (199,490.318 gal.), cuyo ahorro anual representa aproximadamente US\$ 900.000.

5.4.2 Retorno sobre la operación y posesión de los camiones

Referente a los costó de operación y posesión de la flota de acarreo (12 camiones CAT 777F) y carguío (01 cargador frontal CAT 993K), usando la vía de acareo mejorada, se estima que al finalizar el proyecto minero se trasladará 30 millones de toneladas de material, logrando obtener un ahorro de USD 4,798.313 en un periodo de 4.8 años, es decir se tendrá un ahorro anual de USD 1 millón.

Tabla 32

Costos por el movimiento de tierra para efectuar el proyecto de mejora en la vía de acarreo				
Descripción del movimiento de tierra	Costo (USD x m ³)	Volumen (m ³)	Inversión (USD)	Ingresos (USD)
Costo de Excavación (Corte)	\$12.00	0	\$0.00	
Costo del Terraplén (Relleno)	\$9.70	546,680	\$5,302,793	
Costos por el desvío temporal de la vía a mejorar (06 meses)			\$2,500,000	
Descripción de los beneficios del proyecto				
Ahorro por el menor consumo de combustible				\$900,000
Mayor ingreso por incremento de la producción del concentrado de cobre				\$7,225,796
Ahorro por menores costos de mantenimiento y posesión de la flota				\$1,000,000
Total			\$7,802,793	\$9,125,796

Nota: Elaboración propia

En la tabla 4.13 se muestra el resultado de los costos de inversión para efectuar el proyecto de mejora de la vía de acarreo la misma que asciende a USD 7,802,793. De este monto corresponde USD 5,302,793 referente a los costos para efectuar el relleno en el tramo de 821 m. y se estima USD 2,500,000 los costos por el desvío del tránsito temporal de los camiones que duraría 6 meses.

Los ingresos del proyecto producto de la mejora en la vía de acarreo se han estimado en USD 9,125,796.

5.4.3 Tasa interna de retorno y valor actual del proyecto

En la siguiente tabla 4.14, se muestra que considerado un periodo de retorno de 02 años el rendimiento del proyecto de mejora de la vía de acarreo que asciende al 120%, mientras en el mercado se tendría un rendimiento del 15%, por lo tanto, es conveniente realizar la mejora en la vía.

Tabla 33

Tasa interna de retorno (TIR) y el Valor actual neto (VAN) del Proyecto			
Periodos	0	1	2
Flujo de fondos	-\$7,802,793	\$9,125,796	\$9,125,796
Periodicidad	Anual		
Cantidad de Periodos	2		
TEA de inversión alternativa (%)	15%		
Tasa efectiva anual (%)	15%		
TNA de inversión alternativa (%)	15%		
TIR anual (%)	120%		
VAN (USD)	\$7,033,094		

Nota: Elaboración propia



OBSERVACIONES:

1. Sobre el estado de la vía de acarreo:

1.1. Con respecto al Índice de Severidad de la Mina (MSI), según los análisis realizados a través del software FPO de CAT; el índice de distribución de carga de los camiones se encuentra en un nivel "B" dentro del rango aceptable cumpliendo la regla de carga "10/10/20" de CAT asimismo, el índice de severidad de la vía de la mina se encuentra en el nivel 5C, dentro del rango aceptable.

2. Con respecto a la geometría de vía de acarreo:

2.1. El ancho, peraltes, la altura de seguridad la berma y el coeficiente de soporte de California (CBR) de la vía de acarreo cumple las especificaciones recomendadas por el fabricante de los camiones CAT así como también lo recomendado por las normas *AASHTO*. Por lo tanto, no se propone cambios de estas características en el proyecto de mejora de la vía.

3. Acerca de los costos de operación de los camiones en la vía mejorada

3.1. Se tendrá un incremento de la velocidad de los camiones a consecuencia de la mejora en la vía, el índice TKPH de los neumáticos se verá afectado por el aumento de la temperatura de los neumáticos, por lo tanto, en caso que no se lleguen a tomar medidas para controlar la mencionada elevación, se tendrá que adquirir mayor cantidad de neumáticos.

4. En relación a la producción de los camiones en la vía mejorada

4.1. El incremento de la producción de los camiones tiene relación directa con la disminución de la pendiente de la vía de acarreo, según lo observado a través



del software FPC de CAT.

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

5.1. El mayor aumento de la velocidad de los camiones a consecuencia de la mejora en la vía de acarreo, tendrá un mayor impacto ambiental por la mayor generación de polvos al medio ambiente.

5.2. Las emisiones de CO₂ de los camiones circulando por la vía de acarreo mejorada tendrá un decremento en 526 Ton. de CO₂ al medio ambiente, debido a que la disminución del consumo de combustible en 755,153 Lts.



CONCLUSIONES

- PRIMERA.** A través de la presente investigación se ha demostrado la factibilidad de incrementar la producción en 3.62% o 63 ton/hr. del material acarreado por una flota de 12 camiones mineros CAT 777F por medio de una mejora en la vía donde transitan estos equipos; reduciendo la pendiente de los tramos 04 y 05 del 17% a un 10% en 821 m., en una mina ubicada a 2500 m.s.n.m.
- SEGUNDA.** La mencionada propuesta además permitirá reducir los costos de operación de la flota de camiones mineros; mediante la disminución del ciclo de acarreo de 31:02 min. a 29:54 min., aminorando el consumo de combustible en 199,490 gal. por año, teniendo un ahorro de USD \$900,00 anuales, logrando el decremento del costo horario de dicha flota de USD 661.48 a USD 529.6, lo que significa un ahorro de USD 4,699,990 al finalizar el proyecto de acarreo.
- TERCERA.** El retorno de la inversión del presente proyecto de mejora se estima en un 120% en un periodo de 02 años, lo que garantiza una rentabilidad en el corto plazo para la minera.



RECOMENDACIONES

PRIMERA. Sobre el estado de la vía de acarreo:

Se debe mejorar el mantenimiento de la vía en el tramo 01 y en el tramo 12, debido a que el registro de los parámetros obtenidos por los camiones: RACK, PITCH y BIAS se encuentran fuera de los parámetros especificados por el fabricante de los camiones CAT.

SEGUNDA. Sobre la geometría de la vía de acarreo:

En los tramos 04 y 05 se puede observar una pendiente efectiva de 16.5% a 19.5%, es decir mayor al 10% del valor recomendado por el fabricante de los camiones CAT. Por consiguiente, a través del proyecto de mejora de la vía se propone la reducción de dicha pendiente.

TERCERA. Acerca de los costos de operación de los camiones en la vía mejorada

Para reducir el consumo de combustible, optimizar la velocidad y marcha del camión se debe mantener una pendiente constante. La vía de la mina tiene pendientes mayores a 10% incluso en algunos tramos llegan a más de 15%.

Según el resultado del software FPC, con la vía mejorada, se recomienda detener los camiones por cada ciclo en 7 min., a fin de disminuir la temperatura de los neumáticos, debido a que el índice TKPH es mayor al especificado, así mismo recomendamos se instale en los camiones un sistema de monitoreo de las



temperaturas de los neumáticos a fin de establecer un mejor control preciso de la capacidad del TKPH. Además de habilitar el límite de sobrecarga en los camiones y de esta manera disminuir el consumo de los neumáticos evitando mayores costos en la operación de los camiones.

CUARTA. En relación a la producción de los camiones en la vía mejorada

Se recomienda efectúe un estudio de “colas” a través de la simulación de un software de procesos a fin de conocer las posibilidades de que se produzca demoras por atascos en las zonas de carga y descarga, como resultado del aumento de velocidad de los camiones en la vía mejorada.

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

La unidad minera deberá de controlar el incremento de la generación de polvos a través del aumento de la aspersion de agua sobre la capa de rodadura de la vía, lo que implica la afectación del aspecto ambiental sobre el consumo hídrico, por lo que se debe buscar otras alternativas a fin de no afectar el consumo de este recurso.

Con respecto a las emisiones de CO₂, se recomienda cambiar los motores de los camiones que poseen la norma de emisiones de la EPA TIER II a cambiar por la norma TIER IV con el fin de reducir sus emanaciones al medio ambiente.



BIBLIOGRAFIA

- 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 (2013) "Hauling System Selection Process", pág. 03 – 06.
- Caterpillar (2019) "Basic of Haul road Design and Maintenance (Latin American Spanish)" publicación N° 33266. Pag 04
- 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 Caterpillar: Guía de aplicación del VIMS N° SELD7006-02, edición 2007, pág. 07
- 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: 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 del Camión de Obra 777F CAT N° ASHQ5749-01 (5-07) (Traducción: 4-08), pág. 01, 20-27.



Guidelines for Mine Haul Road design, Dwayne D. Tannant & Bruce Regensburg,

2001, pág 29, 44

Manual AASHTO 2001

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

capítulo 21, pág., 12,

Mine Haul Road Design, Construction & Maintenance Management, RJ

Thompson, 2019, pág. 59.

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



GLOSARIO DE TERMINOS

Resistencia} a la rodadura	La resistencia a la rodadura es una medida de la fuerza que hay que vencer para hacer rodar o arrastrar una rueda sobre el suelo. Se ve afectada por las condiciones del suelo y la carga: cuanto más se hunda una rueda en el suelo, mayor será la resistencia a la rodadura. La fricción interna y la flexión del neumático también contribuyen a la resistencia a la rodadura.
Pendiente	La resistencia a la pendiente (o asistencia) se refiere a la resistencia gravitacional que se produce al subir una pendiente. La asistencia se produce al bajar una pendiente.
Espesor de la capa de material	El grosor de la capa de material se refiere a una profundidad de material uniforme con una densidad similar en toda la superficie
Densidad del material	Los materiales de alta densidad en el estado de banco pueden ser difíciles de cargar causando tiempos de ciclo más lentos cuando se utiliza el sistema equivocado
Berma	Franja longitudinal, afirmada o no, comprendida entre el borde exterior de la calzada y la cuneta o talud.
Bifurcación	Tramo en que diverge el flujo de tráfico en flujos similares.
Bombeo	Pendiente transversal de la plataforma en tramos en tangente.
Calzada	Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de un cierto número de carriles.
Camión	Vehículo autopropulsado con llantas simples y duales, con dos o más ejes, diseñado para el transporte de carga, incluye camiones, tractores, remolques y semiremolques
Capacidad Posible	Es el máximo número de vehículos que tiene razonables probabilidades de pasar por una sección dada de una calzada o carril en una dirección durante un período de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes en la carretera y en el tránsito.
Distancia de adelantamiento.	Distancia necesaria para que, en condiciones de seguridad, un vehículo pueda adelantar a otro que circula a menor velocidad, en presencia de un tercero que circula en sentido opuesto, en el caso más general es la suma de las distancias recorridas durante la maniobra de adelantamiento propiamente dicha, la maniobra de reincorporación a su carril delante del vehículo adelantado, y la distancia recorrida por el vehículo que circula en sentido opuesto
Distancia de parada	Distancia total recorrida por un vehículo obligado a detenerse tan rápidamente como le sea posible, medida desde su situación en el momento de aparecer el objeto u obstáculo que motiva la detención. Comprende la distancia recorrida durante los tiempos de percepción, reacción y frenado.



Eje Línea que define el trazado en planta o perfil de una carretera, y que se refiere a un punto determinado de su sección transversal.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

FPO (Fleet Productivity Optimization) es un software diseñado por CAT para identificar y localizar problemas potenciales en las



	carreteras mediante el uso de información electrónica a bordo de camiones de transporte.
VIMS	(Vital Information Management System), Sistema de Información Vital de Camión CAT.
FPC	(Fleet, Productivity and Cost analysis), es un software diseñado para evaluar los cambios en el diseño de carreteras con mejoras de productividad y ahorro de combustible
OHT	(Off Haul Trucks), Camiones mineros fuera de carretera
RDM	(Road Defect Management) es una metodología exclusiva de CAT, que describe un enfoque preventivo para mantener las carreteras de acarreo, a través del monitoreo de la condición o procesos de reparación de carreteras o Planificación y programación o Evaluación de beneficios.
RAC	El Control de Análisis de Carreteras (RAC) es una herramienta de administración de carreteras de acarreo que brinda retroalimentación del operador sobre las condiciones de la carretera, cuantifica la gravedad de la condición y permite a la administración de la mina tomar decisiones de mantenimiento de carreteras de acarreo más informadas para reducir los costos generales de transporte.
Pitch	Desviación transversal de la carga sobre el camión minero
Rack	Esfuerzo torsional en el chasis del camión minero
Bias	Desviación longitudinal de la carga sobre el camión minero
HRC	(Haul Road Condition index), Haul, Índice de condición del camino recorrido.
MSI	(Mine Severity Index), Índice de Severidad de la Mina se refiere a la aplicación de la máquina relacionada tanto con la condición del camino de acarreo como con la carga útil de esta.
TPMS	(Truck Payload Mesuring System), Sistema de medición de la carga útil del camión
TKPH	(Tonne-Kilometer Per Hour), Tonelada-Kilometro Por Hora
TCS	(Tracion Control System), Sistema de Control de Tracción
GWM	(Gross Machine Weight), Peso Bruto de la Máquina
Payload	Carga de material que traslada el camión expresada en Tn.
ARC	Automatic Retarder Control, Control Automatico de Retardno del camión
AASHTO	(American Association of State Highway and Transportation Officials) o Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transportes Estatales
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú

LISTA DE ABREVIACIONES

ANOVA	Analysis of Variance , Análisis de la Varianza
ANOM	Analysis of Means
BCR	Banco de Reserva del Perú



C_p	Process Capability ratio, Ratio de la capacidad del proceso
C_{pk}	Process Capability Ratio, considering centering
CSA	Customer Support Agreement
CCR	Caterpillar Certificate Repair
CM	Condition Monitoring
CPI	Continuous Product Improvement
CRM	Customer Relationship Management
CTQ	Critical To Quality
CPS	Caterpillar Product System
DFSS	Design For Six Sigma



DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
DMEDI	Define, Measure, Explore, Develop, & Implement
DMADV	Define, Measure, Analyze, Design, Verify
DPMO	Defects Per Million Opportunities, Defectos por millón de oportunidades
DPU	Defectos Por Unidad
DOE	Design Of Experiments
FADE	Focus, Analyze, Deploy and Evaluate
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FIFO	First In First Out
ISO	International Standardization Organization
JIT	Just In Time
KPI	Key Performance Indicator / Indicador clave del desempeño
KBI	Key Business Issue
LSL	Lower Specification Limit
MARC	Maintenance & Repair Contract
MBNQA	Malcom Baldrige National Quality Award
MCSS	Manufacturing Customer Service System
MTBS	Mean Time Between Stops
MTTR	Repair Times, Mean Time To Repair
NLS	Net Loyalty Score
NPI	New Product Introduction
NC	Numerically Controlled
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OEE	Overall Equipment Effectiveness / Efectividad total de los Equipos
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PTS	Project Tracking System
PCR	Process Capability ratio
PCR	Planned Component Replacement of CAT
PBI	Producto Bruto Interno
PQVC	People Quality Velocity Cost
PINS	Percentage of Industry Sales
PIP	Product Improvement Program
PITCH	Total Time Need to Produce One Container of Part – TAKT TIME
POPS	Percent of Parts Sales
POPS-C	Percent of Population Sales - Caterpillar
POLS	Product Outline/Price List
QFD	Quality Function Deployment
QIT	Quality Improvement Teams
R&R	Repeatability & Reproducibility
RIW	Rapid Improvement Workshop
RPN	Risk Priority Number
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, control
SPC	Statistical Process Control
SOS	Schedule Oil Sampling
SMU	Service Meter Unit
SIMS	Service Information Management System
TPM	Total Productive Maintenance
TPMG	Total Process Management



TQM	Total Quality Management
TPS	Toyota Product System
USL	Upper Specification Limit
VMEA	Variance Mode and Effect Analysis
VOC	Voice Of Customer
VST	Value Stream Transformation / Transformacion de la Cadena de Valor
VSM	Value Stream Mapping /
VOB	Voice Of Business
WIP	Work In Progress
WO	Work Order / Orden de Trabajo (OT)



MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROPUESTA PARA MEJORAR LA VIA DE ACARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><u>PROBLEMA GENERAL</u></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><u>OBJETIVO GENERAL</u></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><u>HIPÓTESIS GENERAL</u></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><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></p> <p>Mejora en la vía de acarreo</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la rodadura en la vía de acarreo. - Índice de severidad en la vía de acarreo. 	<p><u>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</u> Cuantitativo</p> <p><u>DISEÑO DE INVESTIGACION</u> Experimental explicativo</p> <p><u>NIVEL DE INVESTIGACION</u> Descriptiva Correlacional</p>
<p><u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 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? 2. ¿En qué medida se optimizará la producción la flota de camiones mineros con las mejoras propuestas de la vía de acarreo? 	<p><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 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 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 & Cost Análisis (FPC). 	<p><u>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</u></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><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></p> <p>Desempeño de la Flota actual de los Camiones Mineros Fuera de Carretera</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indicadores de Producción de los equipos. - Indicadores de mantenimiento de los equipos 	<p><u>POBLACION:</u> Las vías de tránsito y acarreo de Unidad Minera Peruana a tajo abierto</p> <p><u>MUESTRA:</u> La vía de acarreo principal, llamada Haul Road donde circulan los camiones 777F CAT que deseamos mejorar de la Unidad Minera.</p> <p><u>TECNICAS:</u> Simulación y procesamiento de datos a través de Softwares</p> <p><u>INSTRUMENTOS:</u> Sensoria de los camiones mineros.</p>



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

TÍTULO - TESIS	PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VIA DE DESCARREO EN UNA MINA A TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F
-----------------------	--

I. REFERENCIAS PERSONALES

- EXPERTO : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- PROFESIÓN :
- CARGO ACTUAL : Docente universitario – UANCV
- GRADO ACADÉMICO :

II. ASPECTOS A VALIDAR

N°	INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE	REGULAR	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
1	Claridad	Está redactado con lenguaje apropiado	1	2	3	X	5
2	Objetividad	Está expresado en capacidades observables.	1	2	3	X	5
3	Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia.	1	2	3	X	5
4	Organización	Existe una organización lógica de los ítems con las variables	1	2	3	4	X5
5	Suficiencia	Valora las dimensiones en cantidad y calidad suficientes	1	2	3	4	X5
6	Intencionalidad	Adecuado para cumplir los objetivos de la investigación.	1	2	3	4	X
7	Consistencia	Está basado en aspectos teóricos y científicos	1	2	3	4	X5
8	Coherencia	Entre las dimensiones, indicadores, ítems e índices	1	2	3	4	X5
9	Metodología	La estrategia responde al propósito de la investigación.	1	2	3	4	X
10	Pertinencia	El instrumento es útil y adecuado para la investigación	1	2	3	4	5X

Fuente: Tomado y adaptado de Palomino Juan; Peña Julio Daniel; Zevallos Gudelia y Orizano Lincoln (2015, p 17)

Coefficiente de valoración porcentual, C = Total/50 =

III. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:

IV. RESOLUCIÓN:

Aprobado (C ≥ 75% = 0.75) Desaprobado (C < 75% = 0.75)

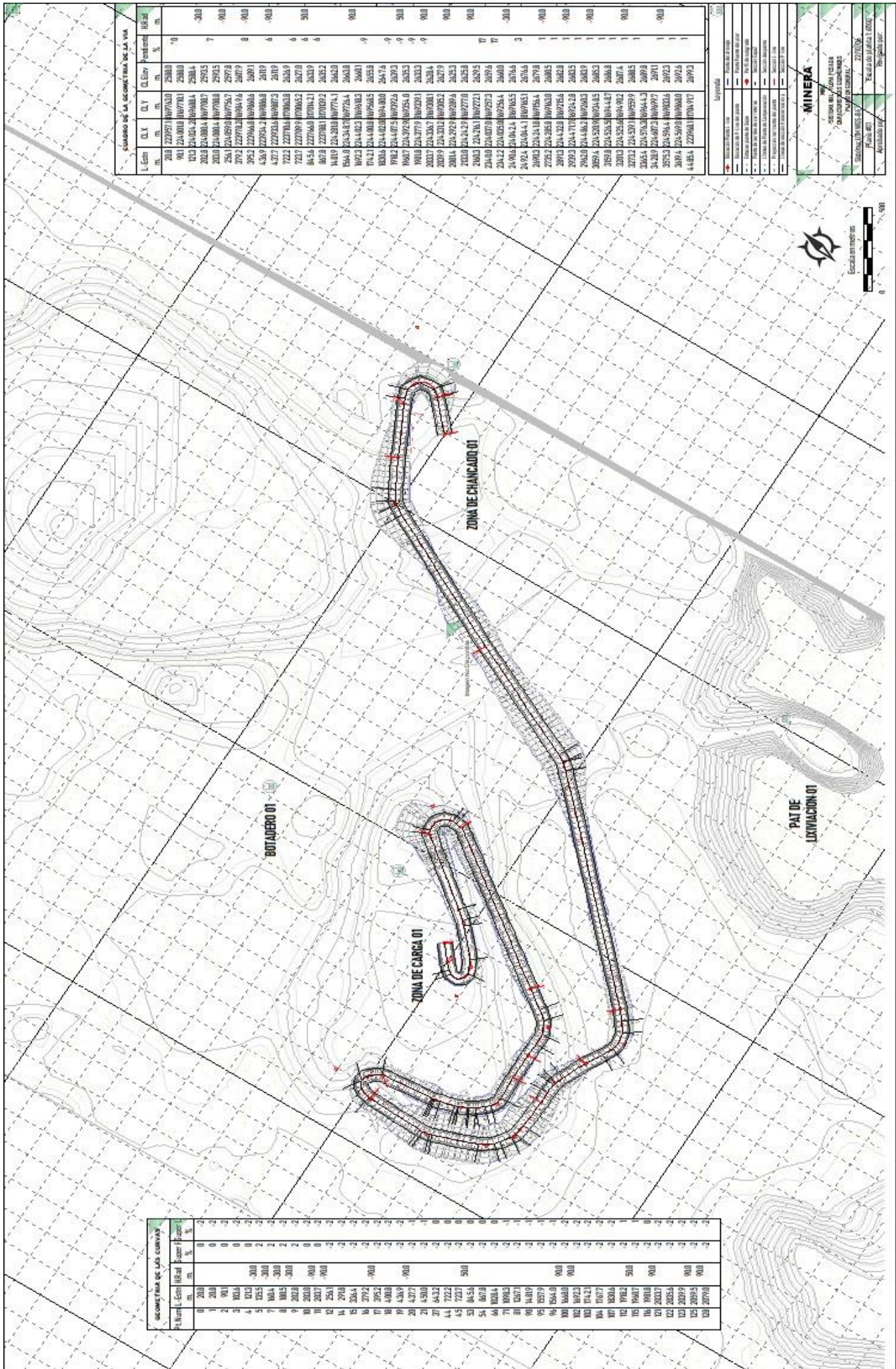
Juliaca, de de 20.....

.....
Dr. ARNALDO YANA TORRES
.....
DNI N°

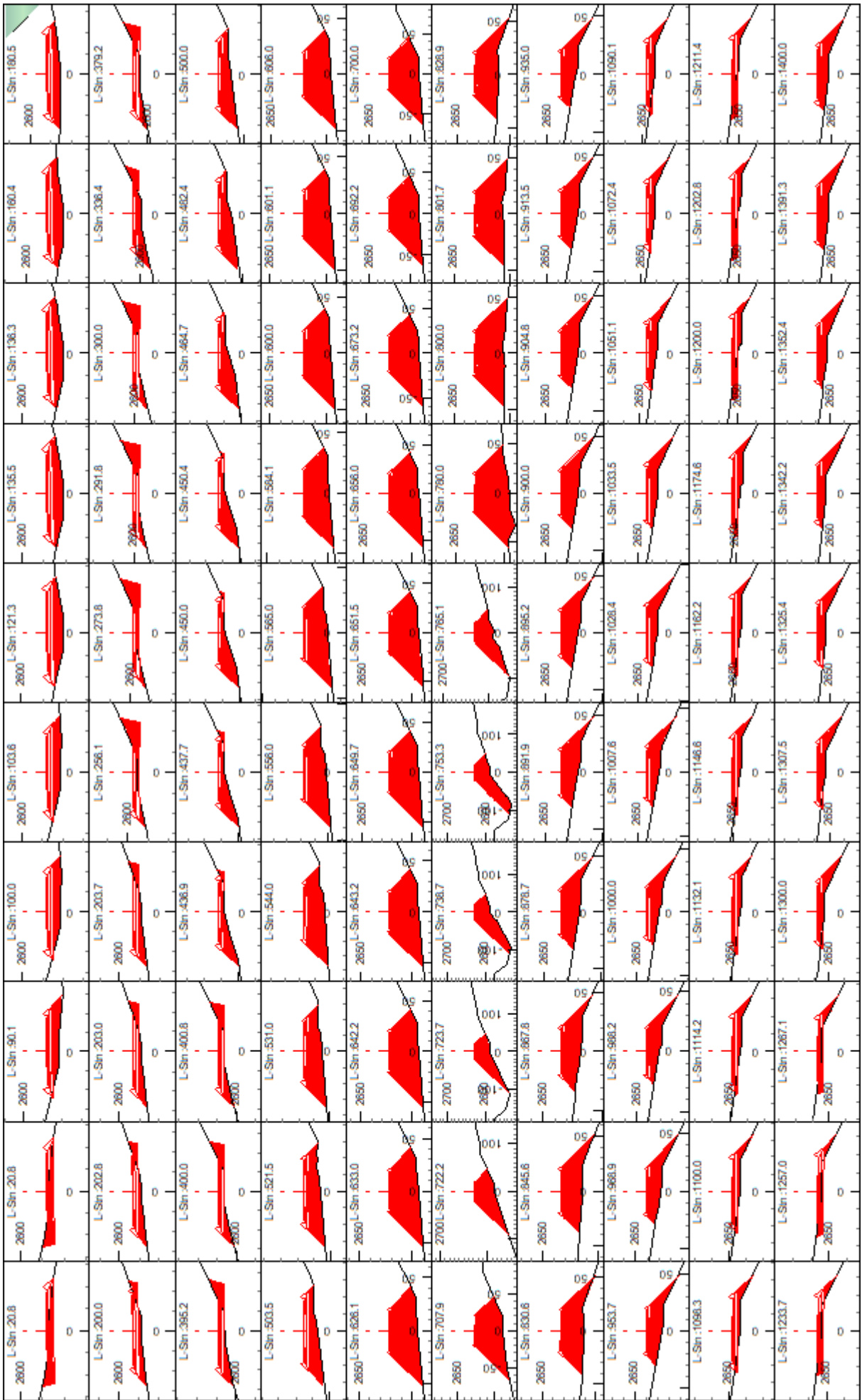
Firma y post firma experto.....

DNI N°

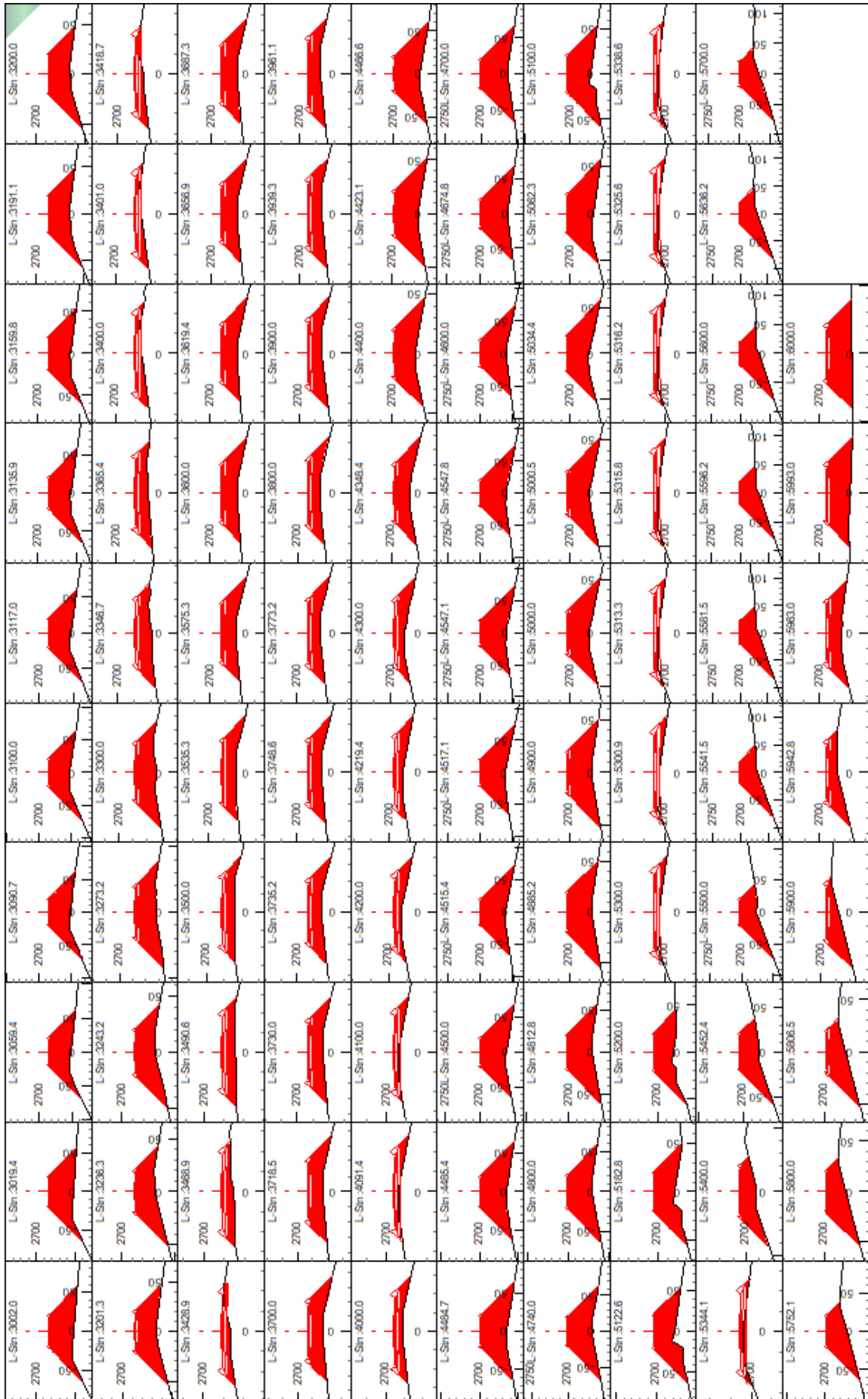
PLANO I Plano la vía de acarreo



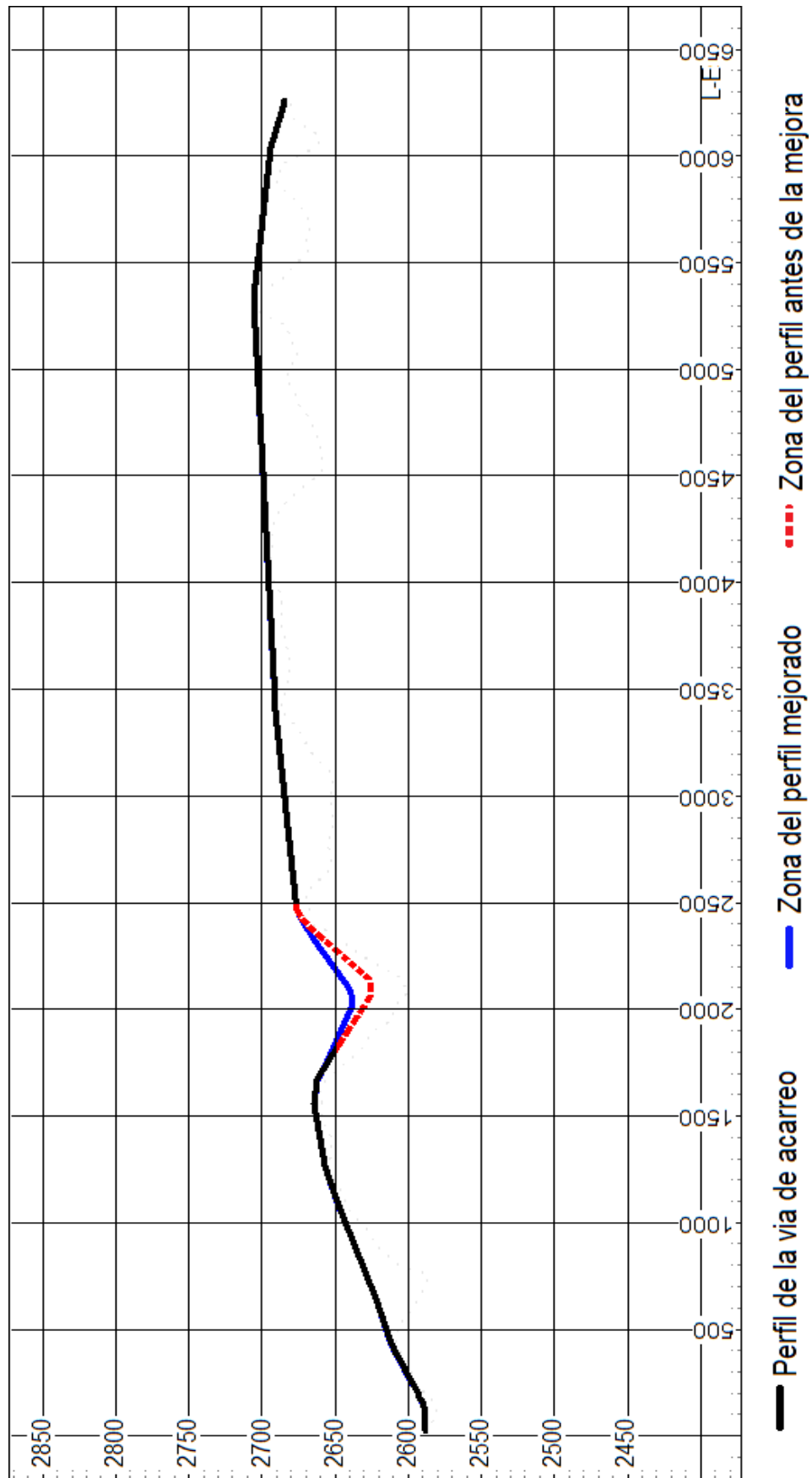
Secciones la vía de acarreo (0 m @ 2650 m)



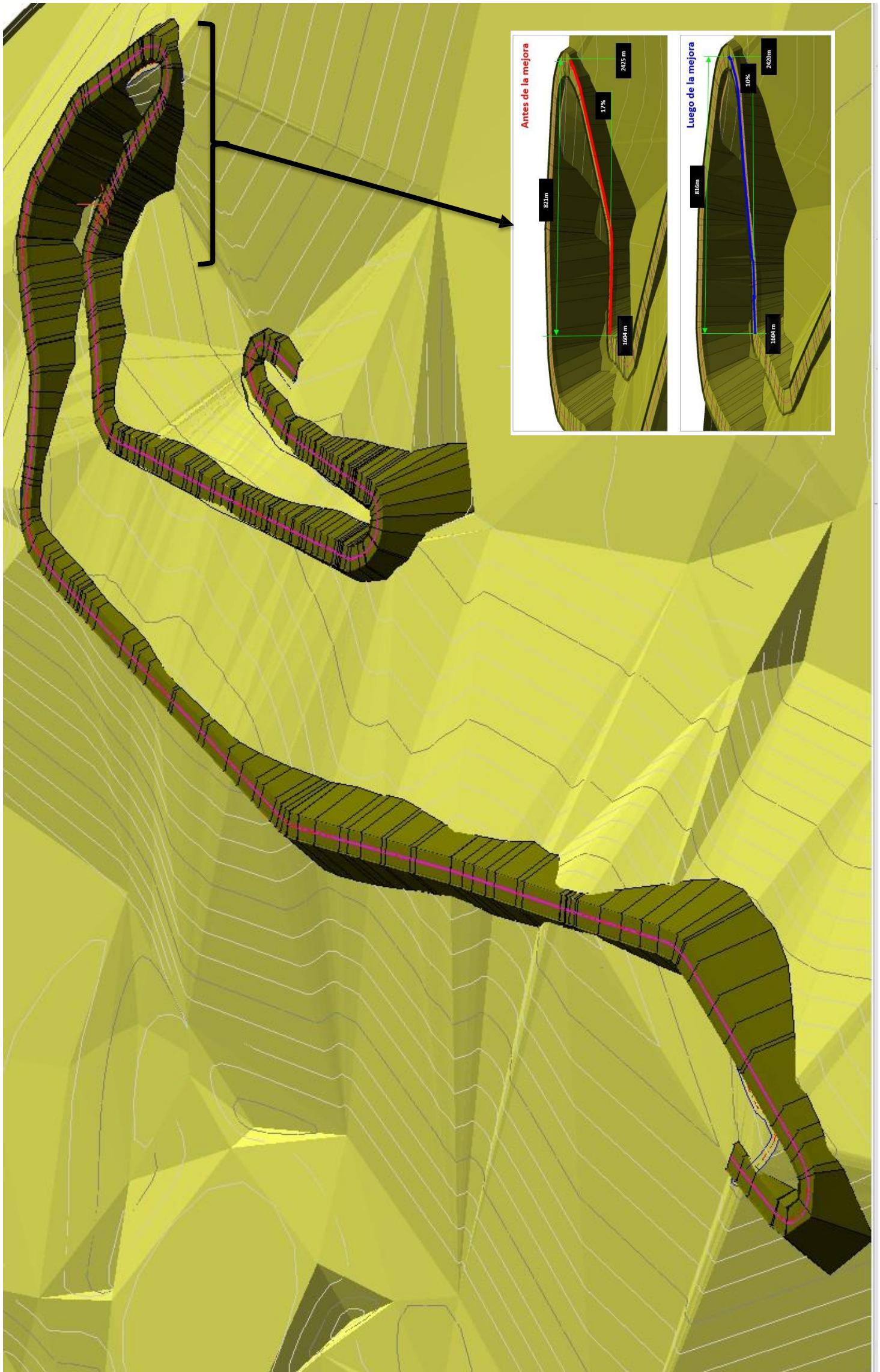
Secciones la vía de acarreo (2750 m @ 3002 m)



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: _____

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: Pavel Lenin Reynaldo Rosas Zegarra
 Dirección: Calle Los Albaricogues 365 departamento 1 - La Molina Lima
 DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 89729819
 Teléfono: 996031764 email: pavel.rosas1978@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____
 Dirección: _____
 DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____
 Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL
 Escuela Profesional o Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES
 Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL
 Asesor: DR. SEGUNDO ORTIZ CONSAYA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:
 Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: PROPUESTA PARA MEJORAR UNA VIA DE ACARREO EN UNA MINA A
TAJO ABIERTO CON EL FIN DE OPTIMIZAR EL TRASLADO DE MINERALES
EN LA FLOTA DE CAMIONES CAT 777F

Palabras claves, (3 a 5 términos): VÍAS DE ACARREO EN MINAS, CAMIONES DE ACARREO MINEROS

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?
1, 2

¹ 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.
² 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.

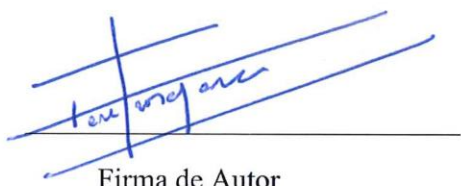
La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

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: TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION - P50


Firma de Autor



huella digital

10/12/2024
Fecha