

FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

Carrera de Ingeniería de Minas

“DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE VÍAS DEL ACCESO MINERO PARA EL TRÁNSITO DE MAQUINARIA PESADA EN UNA MINA DE ORO A TAJO ABIERTO, CAJAMARCA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Cristhian Johnny Bazan Cabrera
Jose Antonio De la Rosa Briones

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Cristhian Johnny Bazán Cabrera

Esta tesis está dedicada principalmente a Dios, por haberme dado la vida y perseverancia para poder lograr esta meta de la mano de mis padres mis Rocío Cabrera Malca y Johny Bazán Ponce; quienes desde el inicio de mi vida universitaria me animaron a seguir mis sueños. Gracias a mi hermana Alisson Bazán Cabrera, quien con su amor incondicional me brindo los mejores consejos en los momentos más difíciles de mi formación académica.

José Antonio De la Rosa Briones

Dedicada principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta aquí, un momento muy importante en mi formación profesional.

A mis Padres, Antonio y Frida, mis abuelos Violeta y José, que me guía y cuida desde el cielo, al igual que mi Mamá Carmen, por su apoyo incondicional, confianza en todo momento y muestra de sus grandes valores, los cuales me guiaron desde pequeño hasta el día de hoy, no hubiera podido lograr nada sin su ayuda y motivación, los quiero inmensamente.

AGRADECIMIENTO

Cristhian Johnny Bazán Cabrera

Toda mi gratitud a Dios por la fuerza y por protegerme siempre, también, a todos los docentes de mi alma mater, por haberme acompañado en este largo camino, impartiendo en mí, sus conocimientos y experiencias, las que, sin duda alguna, me servirán en mi vida profesional. Un agradecimiento muy especial al Ing. Víctor Álvarez, por su total apoyo en la realización de la tesis presentada.

Jose Antonio De la Rosa Briones

Infinita gratitud a Dios y su divina misericordia, a mi familia, por ser el soporte y apoyo en cada tropiezo a lo largo de mi vida, por nunca dejarme solo y enseñarme que, con sacrificio y esfuerzo, todo es posible.

Un grato y especial agradecimiento al Ing. Víctor Eduardo Álvarez León, por su incondicional, y valioso apoyo y guía a lo largo del desarrollo de esta investigación.

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivos.....	12
1.3.1. Objetivo general.....	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
1.4. Hipótesis.....	13
1.4.1. Hipótesis general.....	13
1.4.2. Hipótesis específicas.....	14
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	15
2.1. Tipo de investigación.....	15
2.2. Población y muestra.....	15
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	15
2.3.1. Técnicas y análisis de recolección de datos.....	15
2.3.2. Técnicas y análisis de datos.....	16
2.4. Procedimiento.....	16
2.4.1. De Gabinete:.....	16
2.4.2. De Campo:.....	17
2.4.3. Procesamiento de Datos:.....	17
2.5. Aspectos éticos.....	18
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	19
3.1. Parámetros del Diseño Geométrico de la vía del acceso minero.....	19
3.1.1. Parámetros para el diseño de curvas en acceso a mina.....	23
3.1.2. Diseño del alineamiento vertical en caminos de acarreo.....	29
3.1.3. Longitud de curvas verticales en función de pendientes.....	30
3.1.4. Diseño de escapes o Runaways.....	34
$S = \Delta v^2 2g(\sin\theta - b)$	35
3.2. Parámetros del Diseño Estructural de la vía del acceso minero en base al Método del CBR.....	40
3.2.1. Características y tamaños máximos.....	40
3.2.2. Compactación.....	40
3.2.3. Capa de rodadura.....	41
3.3. Mezclas óptimas para la capa de rodadura de la vía del acceso minero.....	43
3.3.1. Mezcla de dos materiales.....	43
3.3.2. Procedimientos constructivos.....	45

3.4.	Tipos de mantenimiento después de la construcción de las vías de acceso minero	50
3.4.1.	<i>Actualización topográfica</i>	50
3.4.2.	<i>Mantenimiento de vías</i>	50
3.4.3.	<i>Mantenimiento de vías en época de lluvias</i>	52
3.4.4.	<i>Recomendaciones en el uso de vías</i>	53
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		54
4.1	Discusión	54
4.2	Conclusiones	55
REFERENCIAS		57
ANEXOS		59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ancho de Vías y Bermas en Relación al Tamaño de los Camiones	19
Tabla 2: Ancho real de la vía.....	20
Tabla 3: Parámetros de diseño para curvas en acceso de mina	25
Tabla 4: Parámetros de Diseño CAT 793D (9.09 m) - Ancho operativo de 30 m.....	25
Tabla 5: Parámetros de Diseño CAT 793D (9.09 m) - Ancho operativo de 27 m.....	26
Tabla 6: Parámetros de Diseño CAT 793F (9.44 m) - Ancho operativo de 30 m.....	26
Tabla 7: Parámetros de Diseño CAT 793F (9.44 m) - Ancho operativo de 27 m.....	27
Tabla 8: Parámetros de Diseño CAT 785C (7.20 m) - Ancho operativo de 25 m	27
Tabla 9: Parámetros de Diseño CAT 785C (6.55 m) - Ancho operativo de 20 m	28
Tabla 10: Longitud de curvas Verticales.....	31
Tabla 11: Longitud de curvas verticales en cambio de pendientes	33
Tabla 12: Relación entre pendientes y los espaciamientos necesarios para el diseño de escape.....	34
Tabla 13: Altura de la berma según el tamaño del camión	34
Tabla 14: Relaciones que deben cumplir entre la pendiente del escape con la longitud del mismo	39
Tabla 15: Gradación recomendada para capa de rodadura.....	41
Tabla 16: Propiedades recomendadas para la capa de rodadura	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Medidas tomadas en cuenta para el diseño de la vía	20
Figura 2: Secciones típicas de vía de doble carril y con berma en la parte central para separar los carriles (1)	21
Figura 3: Secciones típicas de vía de doble carril y con berma en la parte central para separar los carriles (2)	22
Figura 4: Diseño de curvas en acceso a mina	24
Figura 5: Longitud mínima del diseño del alineamiento vertical en caminos de acarreo ..	29
Figura 6: Cambio de pendiente cuando se sigue en subida o en bajada.....	30
Figura 7: Cambio de pendiente de una posición positiva a una negativa y viceversa	32
Figura 8: Diseño de Rampa de escape - Planta	36
Figura 9: Diseño de Rampa de escape – Elevación	37
Figura 10: Detalles del Diseño de berma	38
Figura 11: Curvas granulométricas	43
Figura 12: Porcentajes de pasante según el material.....	44
Figura 13: Organigrama para la construcción de la vía	46

RESUMEN

La presente investigación titulada Diseño y mantenimiento de vías del acceso minero para el tránsito de maquinaria pesada en una mina de oro a tajo abierto, Cajamarca 2020; nace a partir de la mejora continua que rige la industria minera en los procedimientos de diseño y mantenimiento de vías de acceso minero. Se planteó como objetivo general, determinar las actividades de Diseño y Mantenimiento de vías de acceso minero para el tránsito de maquinaria pesada, orientadas a contrarrestar los efectos dañinos de los fenómenos naturales y del tránsito de maquinaria pesada sobre las vías, a fin de mejorar la seguridad de operación vehicular. La investigación es aplicada, No experimental-descriptivo. Se consideró como población a las vías de acceso de acarreo de mineral y desmonte de una empresa minera de la región Cajamarca, en donde se puede realizar el estudio de desgaste por el tránsito de maquinaria pesada, diseño y mantenimiento. Se determinaron los parámetros del Diseño Geométrico de la vía de acceso minera, de tal manera que, se pudo identificar los principales requisitos para una correcta construcción de vías de acceso, siguiendo los pasos mencionados. Asimismo, se describió los parámetros del diseño estructural de la vía del acceso minero en base al método del CBR, luego se establecieron las mezclas óptimas para la elaboración de la capa de rodadura de la vía del acceso minero para garantizar su adecuado comportamiento del tránsito de maquinaria pesada. Se describieron los diferentes tipos de mantenimiento que se deben realizar en la Construcción de las Vías de acceso minero, tales como el Mantenimiento Rutinario el cual se aplica esporádicamente y puede realizarse una vez por semana o cada quince días. También se debe realizar el Mantenimiento Preventivo, el cual se realiza para evitar el deterioro por desgaste de las vías y no llegar a un mantenimiento correctivo. Asimismo, se aplica el Mantenimiento Correctivo que es aplicado siempre y cuando se evidencie una necesaria reparación en las vías por haber sido dañadas.

Palabras clave: Diseño, mantenimiento, acceso, berma, parámetro, rodadura, carril.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El diseño y mantenimiento de vías en minería para el acceso de maquinaria pesada y de vehículos menores es fundamental para el carguío, acarreo, transporte de personal y demás labores esenciales dentro de este ámbito. Por lo cual, es de suma importancia tener un plan de acción ante el deterioro de los caminos por los cuales circulan los diferentes equipos necesarios en las empresas mineras. El principal punto a trabajar es un diseño de mantenimiento de vías para el tránsito de maquinaria pesada, teniendo en cuenta los parámetros fundamentales en el diseño de las mismas.

Los principales factores por lo que las vías de acceso en mina se deterioran son las lluvias en época de invierno y la falta de lluvia en verano. Lo cual, genera un gran impacto, puesto que el exceso de lluvia se ve reflejado en un deterioro en la capa superficial y aumenta el riesgo de derrape de los equipos por la alta presencia de finos, por otro lado, la ausencia de lluvias genera polvaredas, por lo que es un riesgo por la falta de visibilidad, además, ocasiona el deterioro acelerado de las piezas de los equipos de acarreo. Por lo tanto, se ve toda la producción afectada por el mal estado de las vías principales de transporte de mineral y el necesario mantenimiento de la maquinaria.

(Amstrong, 2012), en la enciclopedia “Salud y Seguridad en el Trabajo en la OIT”, en el Tomo III, parte IX “Industrias Basadas en Recursos Naturales”, indica que dentro del ámbito minero el proceso de transporte suele superar el 50% del coste total de operaciones, aunque actualmente la implementación de trituradoras dentro de mina y fajas transportadoras han logrado una gran reducción de estos costos. Asimismo, describe la óptima forma de diseñar una vía de acceso dentro de una mina a tajo abierto.

Se debe tener en cuenta si las vías serán de un solo carril o de dos, como también si la conducción será por la derecha o izquierda de la vía, de tal forma esto ayudará al operario a tener una mejor visibilidad de las ruedas de la máquina para evitar accidentes. También, es de suma importancia tener en cuenta las pendientes máximas permitidas para transporte sostenido, al igual que el ancho de las bermas.

(Yoza, 2010), en su tesis “Gestión de Vías de Proyectos Open Pit”, señala que para una mayor productividad, eficiencia, durabilidad y menor consumo de combustible es necesario contar con una buena vía de acceso, que cuente con la calidad que se necesita de acuerdo a lo requerido. También, es un punto importante en la seguridad cuando son épocas de lluvia, ya que, con un buen plan de mantenimiento, se podrá conservar los puntos importantes como las pendientes de las vías o las curvas amplias.

(Bladimir, 2019), en su tesis “Influencias del Mantenimiento de Vías de Acarreo en la Productividad del Tajo Ferrobamba – Minera Las Bambas – Apurímac”, indica que un diseño eficiente de mantenimiento de vías está directamente relacionado con la productividad de la empresa, teniendo resultados de hasta un 4% más de movimiento de tierras y un porcentaje de 5% en mayor durabilidad de las llantas de los equipos. También, recomienda dar un mantenimiento preventivo casi diario, lo cual se verá reflejado en una disminución de los mantenimientos correctivos. Uno de los puntos más importantes en el mantenimiento es escoger el material que será empleado para el recubrimiento de las vías, ya que tienen que tener ciertas características para obtener una mayor eficiencia.

(Golosinski, 2020), en su artículo “Mantenimiento Minero: reducción de costos en maquinaria” de la revista Tiempo Minero; señala que, para alcanzar los objetivos en mina, es necesario darle un buen mantenimiento técnico a toda la maquinaria, y junto con la selección del dimensionamiento de equipos necesario para empezar la producción, también, es necesario un buen diseño de vías de tránsito, lo cual reducirá accidentes y un claro beneficio en los costos. Del mismo modo, afirma que el mantenimiento de las vías tiene un costo bastante alto, y la mejor forma de reducir costos es perfeccionando las primeras etapas como planificación y diseño de las mismas. En cuanto a seguridad, el diseño de las vías es de suma importancia, puesto que al diseñar una vía en óptimas condiciones se evitarán accidentes y pérdidas materiales y humanas.

(Chipana, 2018), en su tesis “Dimensionamiento De Equipos De Carguío - Acarreo Y Optimización Del Plan De Mantenimiento De Vías Para Los Tajos Pampa Verde Y San Pedro Sur Mina La Zanja S.R.L.”, avala que, para perfeccionar el proceso de carguío y acarreo, es esencial el implemento de un plan estratégico para un correcto mantenimiento y conservación de vías. Teniendo en cuenta que hay una gran diferencia entre mantener una vía en buen estado y una en mal estado, ya que el tiempo de ciclo de carguío se prolongará al tener un camino imperfecto. Después de un estudio de mejora de las vías de acceso dentro de las minas mencionadas, se obtuvieron buenos resultados en lo que concierne el acarreo de mineral y de desmonte. Obteniéndose un 16% de mayor productividad a diferencia de trabajar con una vía sin mantenimiento constante.

(Huarocc, 2014), en su tesis “Optimización Del Carguío Y Acarreo De Mineral Mediante El Uso De Indicadores Claves De Desempeño U.M. Chuco Ii De La E.M. Upkar Mining S.A.C”, evalúa una serie de causas que generan improductividad y un elevado costo operativo, como vías en mal estado con una pérdida de tiempo de producción para su reparación, manejo de zonas de desagüe dentro de las vías de tránsito, cambios de aceite, mantenimientos de equipos y reducción de material sobrante de las bermas de los botaderos.

Las principales limitaciones para el desarrollo de esta tesis, ha sido el permiso y la obtención de los documentos correspondientes para llevar a cabo el estudio de vías dentro de mina, asimismo, una de las limitaciones para el desarrollo de este estudio fue el idioma, ya que, dentro del repositorio de documentos con información afines al tema desarrollado, se han hallado tesis en idioma extranjero.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el diseño y mantenimiento de vías del acceso minero para el tránsito de maquinaria pesada de una mina a tajo abierto en Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Establecer el Diseño y Mantenimiento de vías de acceso minero para el tránsito de maquinaria pesada, orientadas a contrarrestar los efectos dañinos de los fenómenos naturales y del tránsito de maquinaria pesada sobre las vías, a fin de mejorar la seguridad de operación vehicular.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros del Diseño Geométrico de la vía del acceso minero.
- Describir los parámetros del Diseño Estructural de la vía del acceso minero en base al Método del CBR.
- Establecer mezclas óptimas para la capa de rodadura de la vía del acceso minero para garantizar su adecuado comportamiento del tránsito de maquinaria pesada.
- Describir los tipos de mantenimiento para la vía de acarreo después de su construcción de las vías de acceso minero.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Al definir los parámetros de diseño geométrico, estructural y establecer las mezclas óptimas de la capa de rodadura, se establecerán las actividades de diseño y con los reportes de topografía se realizará el plan de mantenimiento semanal de las vías de acceso minero para el tránsito de maquinaria pesada, a fin de mejorar la seguridad de la operación vehicular.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Especificando el ancho de vía, altura de bermas y diseños de curvas en función de las pendientes, se determinará los parámetros del diseño geométrico de las vías del acceso minero.
- Evaluando las características del material de cantera y de desmonte se requerirá un $CBR > 40\%$, en el caso de base el CBR debe ser mayor al 80% para el 95% de compactación Proctor modificado.
- Utilizando las gráficas de análisis granulométrico de los suelos 1 y 2 se ubicará la mezcla óptima que caiga dentro del Huso Granulométrico y la mezcla óptima se realizará con la gráfica con 50% de suelo 1 y 50% de suelo 2.
- La aplicación de un mantenimiento preventivo y otro correctivo se elaborará un plan semanal de mantenimiento de las vías de acceso minero.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según la finalidad, esta investigación es aplicada puesto que para llegar al objetivo se buscan estrategias y/o mecanismos. Es de diseño no experimental-descriptivo, porque describimos y analizamos el proceso del diseño y mantenimiento de las vías de acceso minero para el tránsito de maquinaria pesada en una mina a tajo abierto en la región Cajamarca. Los diseños no experimentales, se basan exclusivamente en la observación, y se trabaja con hechos de experiencia directa no manipulando las variables. (Sampieri & Mendoza, 2018)

2.2. Población y muestra

Se considera como población a las vías de acceso de acarreo de mineral y desmonte de una empresa minera de la región Cajamarca, en donde se puede realizar el estudio de desgaste por el tránsito de maquinaria pesada, diseño y mantenimiento. Desde el cual se podrán tomar datos probabilísticos de cada factor que influye en estas situaciones de diseño y mantenimiento.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Para poder identificar los principales puntos de desgaste dentro de las vías y la necesidad de hacer un previo diseño de estas aplicando el CBR, se tomará muestras de los puntos con mayor tránsito dentro de todo el ciclo de acarreo dentro de mina.

Para realizar el análisis de datos, se elaboró cuadros comparativos entre las mallas y el porcentaje de material que logra pasar, poniendo en el eje vertical una escala ascendente de 0 a 100 y en el eje vertical de derecha a izquierda el suelo 1 y de izquierda a derecha el suelo 2, así obteniendo las relaciones que se pueden obtener entre los dos diferentes materiales que se han usado para el procedimiento y el estudio de datos.

2.3.1. Técnicas y análisis de recolección de datos

Como principal técnica de recolección de datos, se ha usado la observación directa, analizando las deficiencias y posibles oportunidades de mejora e implementación. Al observar una vía por donde se movilizan las maquinarias dentro de una empresa minera, uno puede apreciar que en pocos casos cuentan con una vía diseñada y lo que se usa para el tránsito de los equipos son trochas improvisadas.

2.3.2. Técnicas y análisis de datos

Con los datos recogidos del análisis documental, y de otras fuentes alternas con estudios semejantes al expuesto en este proyecto, se ha visto propicio la realización de gráficos, gráficos estadísticos, tablas, mapas conceptuales y el implemento de algunas imágenes con datos esenciales para elaborar un diseño y mantenimiento de vías.

2.4. Procedimiento

Dentro del procedimiento aplicado a este proyecto de investigación, he realizado dos tipos de procedimientos, los cuales detallo a continuación.

2.4.1. De Gabinete:

Dentro de este campo, se han realizado diferentes labores de recolección de datos; como el estudio, comparación y contraste de temas similares al proyecto elaborado, se buscó información en repositorios de tesis, Google académico, Redalyc, Scielo y otras revistas. Teniendo en cuenta los siguientes parámetros de exclusión: confiabilidad de la información obtenida, idioma del artículo (español), antigüedad máxima de diez años y palabras clave (diseño y mantenimiento de vías en mina a tajo abierto). Además, se tomaron algunos datos de catálogos de Caterpillar para aplicar las características de los camiones

gigantes *CAT 785C, CAT 793 serie B, D, C y F*, que se tomarán en cuenta para el diseño y mantenimiento de las vías de acceso en esta mina.

2.4.2. De Campo:

Dentro de lo que refiere el trabajo de campo, se realizaron trabajos dentro de laboratorio de suelos a fin de realizar el análisis granulométrico por el método de la pipeta del suelo 1 y el suelo 2, de los cuales se obtuvieron muestras 5 kg, para después hacer su dispersión en vasos aplicando 10 mL de pirofosfato de sodio y 100 mL de agua destilada. Al dejarlo reposar por 24 horas se lo lleva a agitación mecánica durante 10 minutos para que a continuación de lo pase por las mallas usadas para el procedimiento. Estos materiales se obtuvieron de canteras y desmontes respectivamente, que son de mayor facilidad de obtener dentro de la mina. Al concluir el análisis granulométrico, el suelo 1 y suelo 2 de pasaron por las mallas siguientes: 3/4”, 1/2”, 5/8”, #4, #8, #16, #30, #50 y #100.

2.4.3. Procesamiento de Datos:

Los datos de las mediciones del análisis granulométrico del suelo fueron procesados mediante el Software Microsoft Excel para una mejor interpretación de resultados en tablas. Asimismo, se realizaron gráficos en AutoCad 2018 para el diseño de Secciones típicas de vía de doble carril y con berma en la parte central para separar los carriles (1 y 2), diseño de curvas en acceso a Mina, diseño de rampa de escape-planta, diseño de rampa de escape-elevación, y detalles del diseño de berma.

2.5. Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación se realizará de acuerdo con el formato establecido por la Universidad Privada del Norte, por ello el investigador en primer lugar está sujeto a cumplir la normatividad institucional que rigen una investigación como derechos de autor; en segundo lugar, revelar las fuentes y hallazgos informativos considerados para el presente trabajo; en tercer lugar, brindar información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica, cuyos resultados serán mostrados y compartidos para nuevas y futuras investigaciones; en cuarto lugar, presentar un contenido entendible de todo el trabajo, recalcando metodología, análisis e interpretación de resultados, este trabajo de investigación no genera un riesgo al medio ambiente. Se usó como principal fuente de toma de datos del diseño del manual de vías de minera Yanacocha S.R.L, que consta de 47 páginas.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Parámetros del Diseño Geométrico de la vía del acceso minero

Dentro de los parámetros que se han tomado en cuenta para el diseño y mantenimiento de vías de acceso, se tomaron datos de camiones gigantes de la marca CAT, teniendo en cuenta los modelos más usados dentro del ámbito minero. A continuación, se detalla en cuadros y graficas que son necesarias para realizar el diseño geométrico de las vías de acceso.

Tabla 1:

Ancho de Vías y Bermas en Relación al Tamaño de los Camiones

Camión Modelo	A (1) (m)	D (m)	L (m)	Ancho de vía (2) Según la mina	Ancho de la vía (4) Estándar Perú	Altura de Berma (4) (m)
777D	6.03	2.64	9.78	19.6	18.1	2.0
785C	7.17	2.96	10.61	23.3	21.5	2.2
793B	7.71	3.42	12.85	25.1	23.1	2.6
793C	7.73	3.42	12.87	25.1	23.2	2.6
793D	7.68	3.56	12.86	25	23.0	2.7
793F	8.30	3.56	13.70	27	24.9	2.7
Komatsu8 30E	7.32	3.58	14.15	23.8	22.0	2.7

Fuente: Elaboración propia.

(1) Ancho total del cuerpo del camión

(2) 3.25 x ancho del camión

(3) 3 x ancho del camión

(4) 0.75 x ancho de la llanta

Tabla 2:

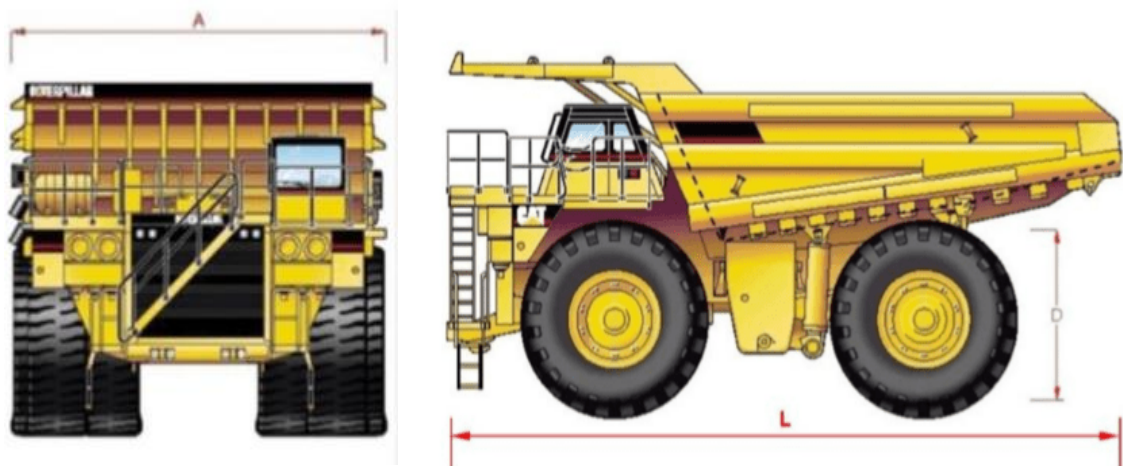
Ancho real de la vía

Ancho real de la vía	Factor
25	4.1
25	3.5
27	3.5
27	3.5
27	3.5
27	3.3
27	3.7

Fuente: Datos de campo.

Figura 1:

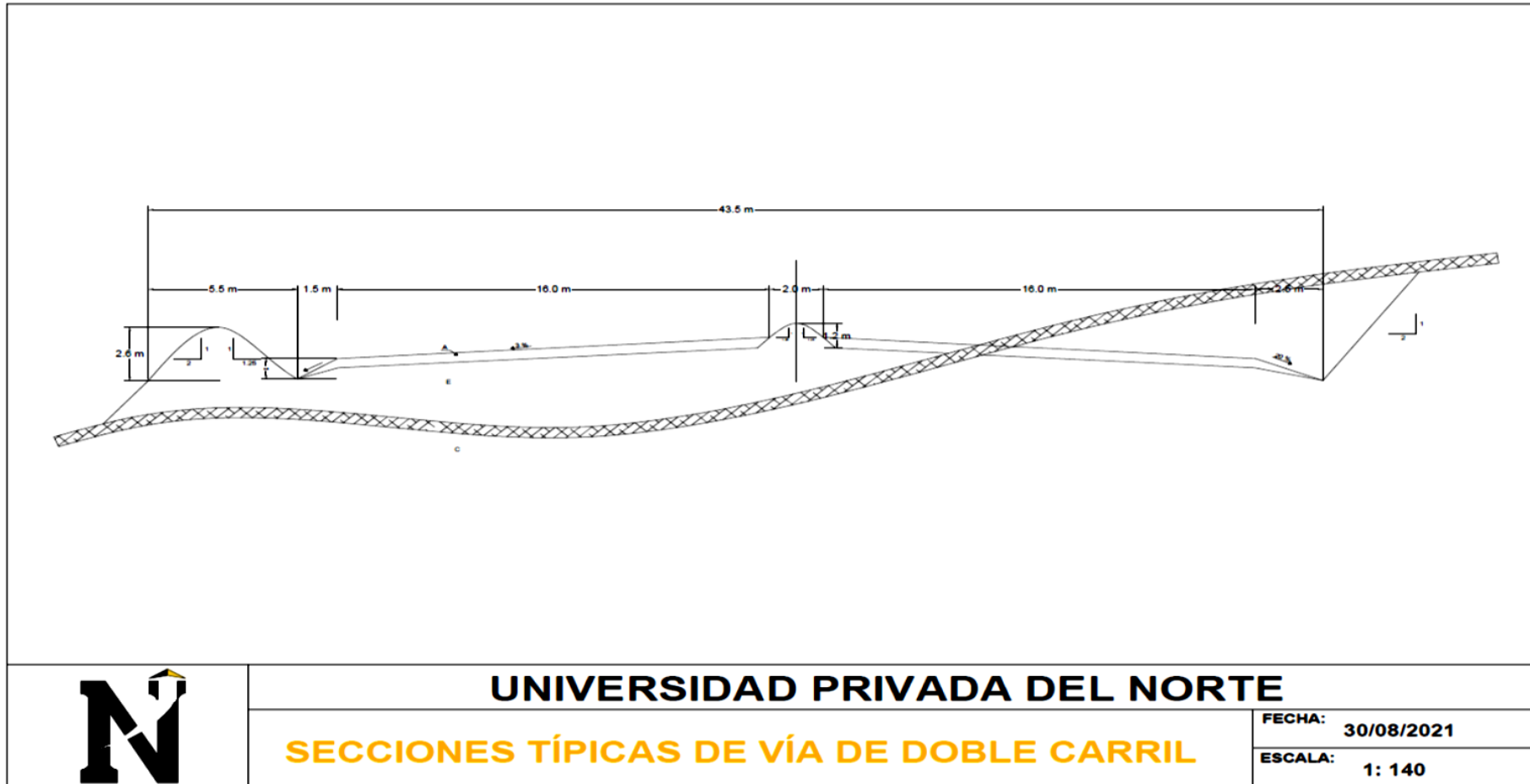
Medidas tomadas en cuenta para el diseño de la vía



Fuente: Ficha técnica del camión minero.

Figura 2:

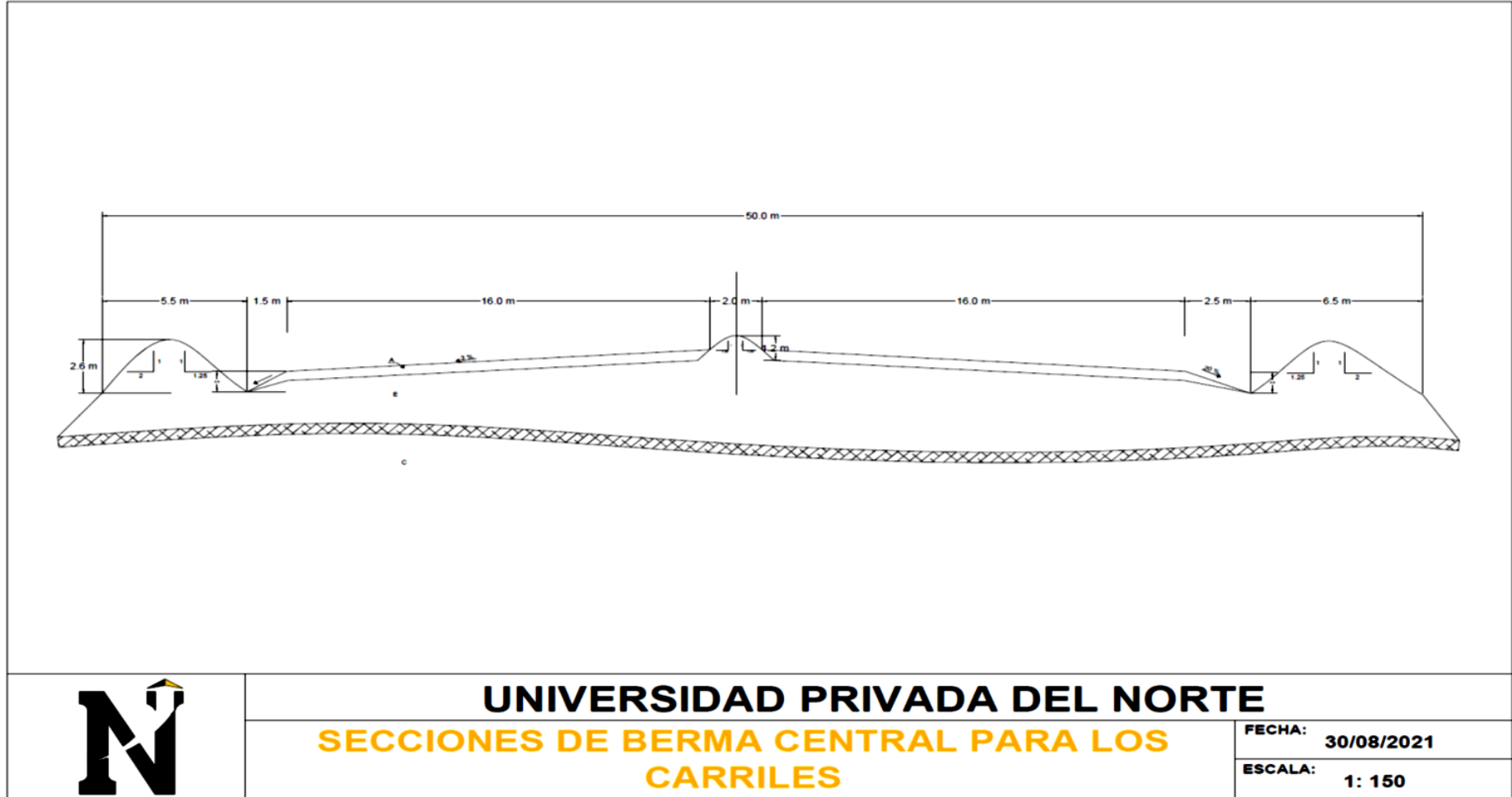
Secciones típicas de vía de doble carril y con berma en la parte central para separar los carriles (1)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3:

Secciones típicas de vía de doble carril y con berma en la parte central para separar los carriles (2)



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2 y 3 se muestran los planos de las secciones típicas de doble carril con berma según las dimensiones del camión, el valor de Z varía dependiendo por donde pasa la vía.

3.1.1. Parámetros para el diseño de curvas en acceso a mina

En la figura que se muestra a continuación se muestra el plano del diseño de curvas en acceso a mina.

Los parámetros mostrados son los siguientes:

CC: Centro de curva

PC: Punto de comienzo de curva

PI: Punto de deflexión

PT: Termino de curva

I: Ángulo de deflexión

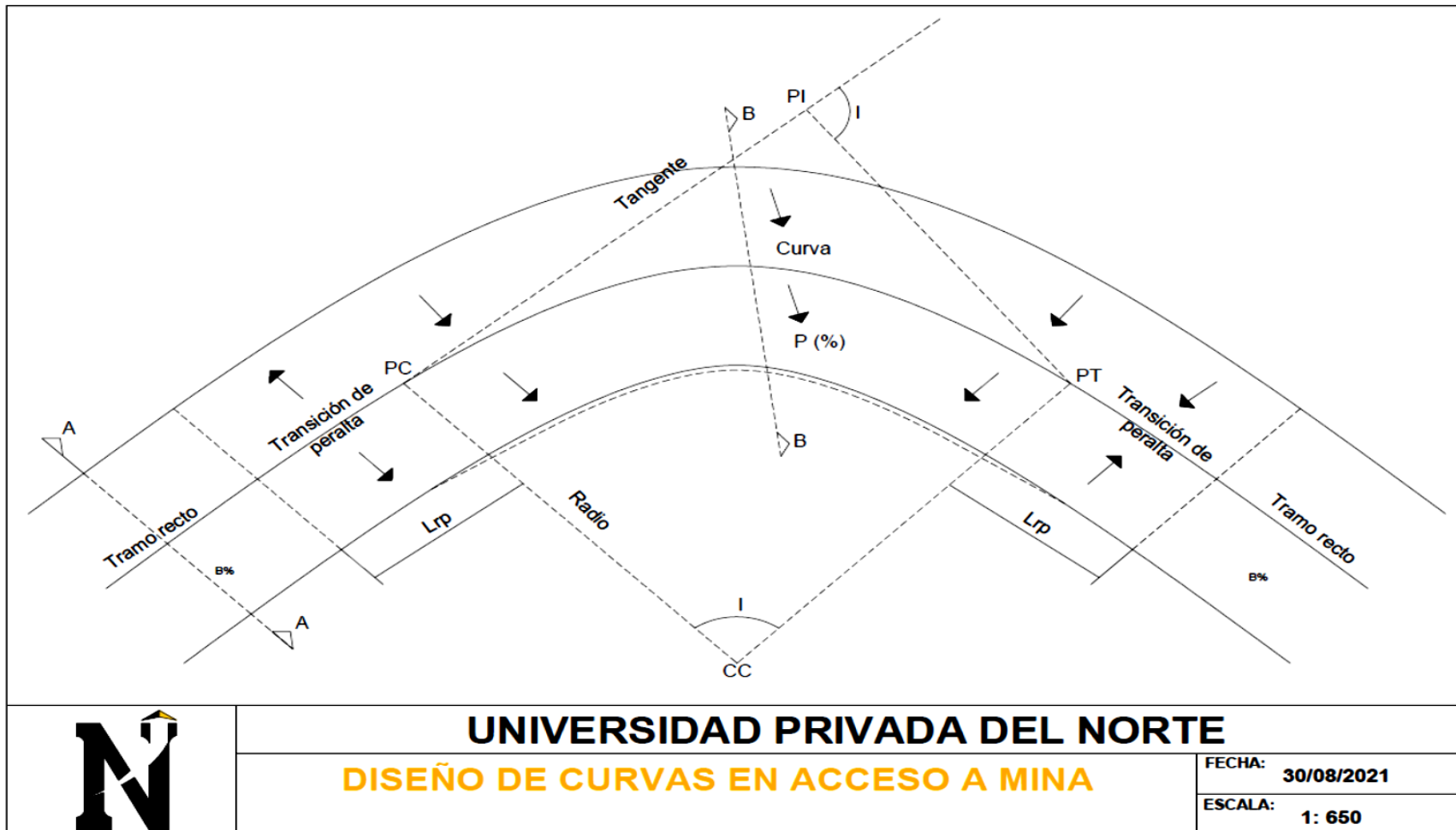
Lrp: Longitud de rampa de peralte

P%: Peralte

B%: Bombeo

Sa: Sobreancho

Figura 4:
Diseño de curvas en acceso a mina



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3:

Parámetros de diseño para curvas en acceso de mina

VELOCI. DISEÑO (Km/h)	P. MÁX (%)	Radio mínimo (m)
30	7.00%	30
40	7.00%	50
50	7.00%	85
60	7.00%	125
70	7.00%	175

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los parámetros de diseño del eje posterior, específicamente la parte frontal, para diferentes anchos operativos.

Tabla 4:

Parámetros de Diseño CAT 793D (9.09 m) - Ancho operativo de 30 m

RADIOS	P. MAX (%)	Velo. Max (km/h)	Lrp (m)	Sa (m)
25	7.00%	30	40.00	2.00
30	7.00%	30	40.00	1.70
35	7.00%	30	40.00	1.50
40	7.00%	30	40.00	1.30
45	7.00%	40	42.90	1.20
50	7.00%	40	42.90	1.10
55	7.00%	40	42.90	1.00
60	7.00%	40	42.90	1.00
65	7.00%	40	42.90	0.90
70	7.00%	50	46.20	0.90
75	7.00%	50	46.20	0.80
80	7.00%	50	46.20	0.80
85	7.00%	50	46.20	0.80
90	7.00%	50	46.20	0.70

Fuente: Datos de campo.

Tabla 5:

Parámetros de Diseño CAT 793D (9.09 m) - Ancho operativo de 27 m

RADIOS	P. MAX (%)	Velo. Max (km/h)	Lrp (m)	Sa (m)
25	7.00%	30	36.00	2.00
30	7.00%	30	36.00	1.70
35	7.00%	30	36.00	1.50
40	7.00%	30	36.00	1.30
45	7.00%	40	38.60	1.20
50	7.00%	40	38.60	1.10
55	7.00%	40	38.60	1.00
60	7.00%	40	38.60	1.00
65	7.00%	40	38.60	0.90
70	7.00%	50	41.50	0.90
75	7.00%	50	41.50	0.80
80	7.00%	50	41.50	0.80
85	7.00%	50	41.50	0.80
90	7.00%	50	41.50	0.70
100	7.00%	60	45.00	0.70

Fuente: Datos de campo.

Tabla 6:

Parámetros de Diseño CAT 793F (9.44 m) – Ancho operativo de 30 m

RADIOS	P. MAX (%)	Velo. Max (km/h)	Lrp (m)	Sa (m)
25	7.00%	30	40	2.2
30	7.00%	30	40	1.8
35	7.00%	30	40	1.6
40	7.00%	30	40	1.4
45	7.00%	40	42.9	1.3
50	7.00%	40	42.9	1.2
55	7.00%	40	42.9	1.1
60	7.00%	40	42.9	1
65	7.00%	40	42.9	0.9

70	7.00%	50	46.2	0.9
75	7.00%	50	46.2	0.9
80	7.00%	50	46.2	0.8
85	7.00%	50	46.2	0.8
90	7.00%	50	46.2	0.8
100	7.00%	60	50	0.7

Fuente: Datos de campo.

Tabla 7:

Parámetros de Diseño CAT 793F (9.44 m) - Ancho operativo de 27 m

RADIOS	P. MAX (%)	Velo. Max (km/h)	Lrp (m)	Sa (m)
25	7.00%	30	36	2.2
30	7.00%	30	36	1.8
35	7.00%	30	36	1.6
40	7.00%	30	36	1.4
45	7.00%	40	38.6	1.3
50	7.00%	40	38.6	1.2
55	7.00%	40	38.6	1.1
60	7.00%	40	38.6	1
65	7.00%	40	38.6	0.9
70	7.00%	50	41.5	0.9
75	7.00%	50	41.5	0.9
80	7.00%	50	41.5	0.8
85	7.00%	50	41.5	0.8
90	7.00%	50	41.5	0.8
100	7.00%	60	45	0.7

Fuente: Datos de campo.

Tabla 8:

Parámetros de Diseño CAT 785C (7.20 m) - Ancho operativo de 25 m

RADIOS	P. MAX (%)	Velo. Max (km/h)	Lrp (m)	Sa (m)
25	7.00%	30	33.3	1.4
30	7.00%	30	33.3	1.2
35	7.00%	30	33.3	1
40	7.00%	30	33.3	0.9
45	7.00%	40	35.7	0.9
50	7.00%	40	35.7	0.8
55	7.00%	40	35.7	0.7
60	7.00%	40	35.7	0.7

65	7.00%	40	35.7	0.6
70	7.00%	50	38.5	0.7
75	7.00%	50	38.5	0.6
80	7.00%	50	38.5	0.6
85	7.00%	50	38.5	0.6
90	7.00%	50	38.5	0.6
100	7.00%	60	41.7	0.6

Fuente: Datos de campo.

Tabla 9:

Parámetros de Diseño CAT 785C (6.55 m) - Ancho operativo de 20 m

RADIOS	P. MAX (%)	Velo. Max (km/h)	Lrp (m)	Sa (m)
25	7.00%	30	26.7	1.2
30	7.00%	30	26.7	1
35	7.00%	30	26.7	0.9
40	7.00%	30	26.7	0.8
45	7.00%	40	28.6	0.8
50	7.00%	40	28.6	0.7
55	7.00%	40	28.6	0.7
60	7.00%	40	28.6	0.6
65	7.00%	40	28.6	0.6
70	7.00%	50	30.8	0.6
75	7.00%	50	30.8	0.6
80	7.00%	50	30.8	0.5
85	7.00%	50	30.8	0.5
90	7.00%	50	30.8	0.5
100	7.00%	60	33.3	0.5

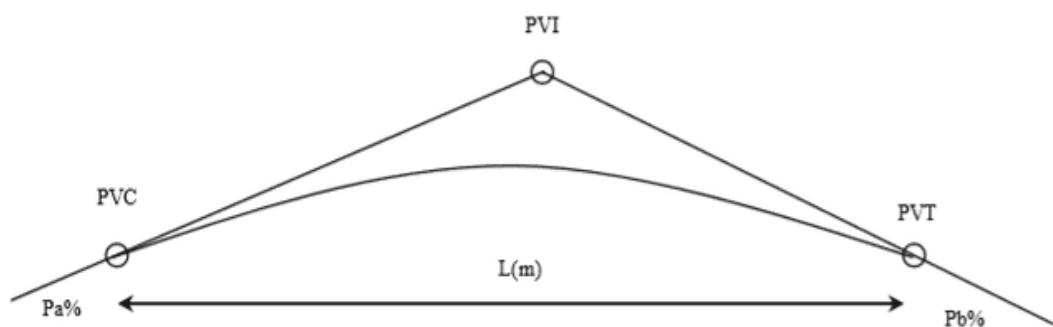
Fuente: Datos de campo.

3.1.2. Diseño del alineamiento vertical en caminos de acarreo

Los alineamientos verticales son importantes para, y siempre se debe tener en cuenta para el diseño de las vías, ya que de ello depende la fluidez del ciclo de la producción y esto garantizará buenos resultados económicos. Además, los ángulos de las pendientes deben oscilar entre los 0.5% a 0.10%, de esta manera la eficiencia mecánica de los camiones dedicados a carguío será mayor, asimismo, se verá optimizado en gran parte los precios del combustible.

Figura 5:

Longitud mínima del diseño del alineamiento vertical en caminos de acarreo



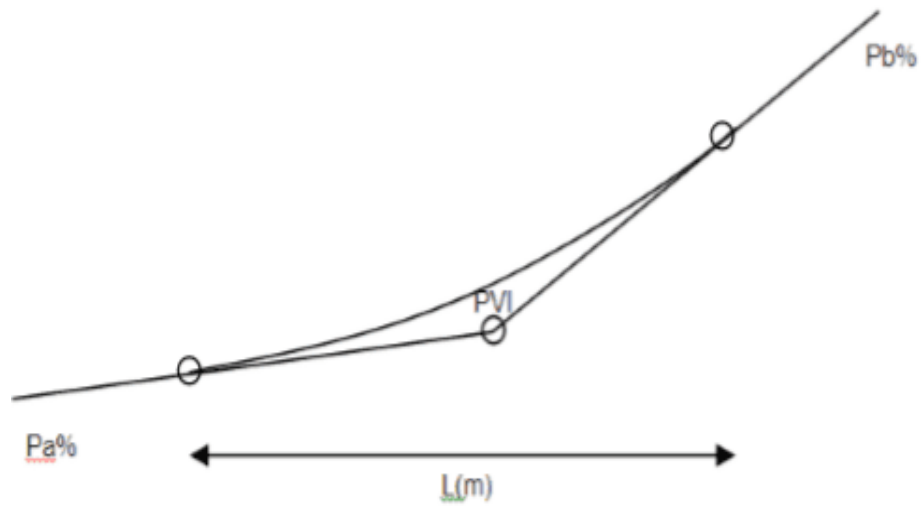
Fuente: Datos de campo.

En esta figura se observa la longitud mínima (L), está dada por la formula $L=1400*\theta$, donde el valor mínimo de L es 80.00 m, para una mejor visibilidad. Pero en ocasiones excepcionales se le puede dar un valor de 60.00 m con sus respectivas restricciones de velocidad según el diseño de la vía. Cuando $\theta \leq 0.11$ el valor de $L=154.00$ m. Y cuando $\theta < 0.02$ ya no es necesario diseñar una curva vertical.

3.1.3. Longitud de curvas verticales en función de pendientes

Figura 6:

Cambio de pendiente cuando se sigue en subida o en bajada



Fuente: Datos de campo.

Tabla 10:

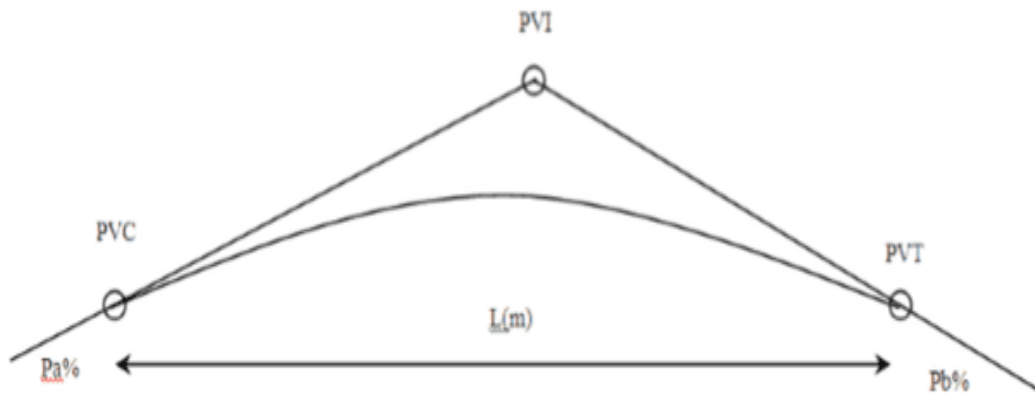
Longitud de curvas Verticales

Longitud de curvas verticales	Pb (%)											
	0.50%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	
0.50%	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	100	100	120	140
1%	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	100	120	120
2%	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	100	100
3%	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	100
4%	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>
5%	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>
6%	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>
7%	100	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>
8%	100	100	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>
9%	120	120	100	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>
10%	140	120	100	100	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>	<u>80</u>

Fuente: Datos de campo.

Figura 7:

Cambio de pendiente de una posición positiva a una negativa y viceversa



Fuente: Datos de campo.

Tabla 11:

Longitud de curvas verticales en cambio de pendientes

Longitud de curvas verticales	Pb (%)										
	0.50%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
0.50%	80	80	80	80	80	80	100	110	120	140	150
1%	80	80	80	80	80	90	100	120	130	140	160
2%	80	80	80	80	90	100	120	130	140	160	170
3%	80	80	80	90	100	120	130	140	160	170	190
4%	80	80	90	100	120	130	140	160	170	190	200
Pa (%) 5%	80	90	100	120	130	140	160	170	190	200	210
6%	100	100	120	130	140	160	170	190	200	210	230
7%	110	120	130	140	160	170	190	200	210	230	240
8%	120	130	140	160	170	190	200	210	230	240	260
9%	140	140	160	170	190	200	210	230	240	260	270
10%	150	160	170	190	200	210	230	240	260	270	280

Fuente: Datos de campo.

3.1.4. Diseño de escapes o Runaways

El diseño y construcción de los Escapes o Runaways es implementado para prevenir accidentes de alto potencial cuando los camiones de acarreo en un caso eventual sufran de una falla total en el sistema de frenado, asimismo, según el reglamento de Seguridad e Higiene Minera de MEM, dentro del artículo 196, ítem h e i, los menciona como “carreteras de alivio” y afirma que su construcción debe ser obligatoria en pendientes mayores al 5%. Estos escapes o runaways se construirán en pendientes mayores al 5% según lo que especifica el siguiente cuadro.

Tabla 12:

Relación entre pendientes y los espaciamientos necesarios para el diseño de escape

PENDIENTE DE LA VIA PRINCIPAL	ESPACIAMIENTOS MAXIMOS ENTRE ESCAPES (m)
5%	1200
6%	770
7%	550
8%	430
9%	350
10%	300

Fuente: Datos de campo.

Las alturas de las bermas serán proporcionales al tamaño de las llantas del camión más grandes que transiten por las vías. Teniendo en cuenta que la altura de esta debe ser de al menos las $\frac{3}{4}$ partes del tamaño de la llanta del camión con mayor tamaño.

Tabla 13:

Altura de la berma según el tamaño del camión

MODELO DEL CAMIÓN	ANCHO CAMIÓN (m)	ALTURA LLANTA (m)	ALTURA BERMA (m)
777 D	6.03	2.64	2.0
785 C	7.17	2.96	2.03
793 B	7.71	3.42	2.6
793 C	7.73	3.42	2.6

Fuente: Datos de campo.

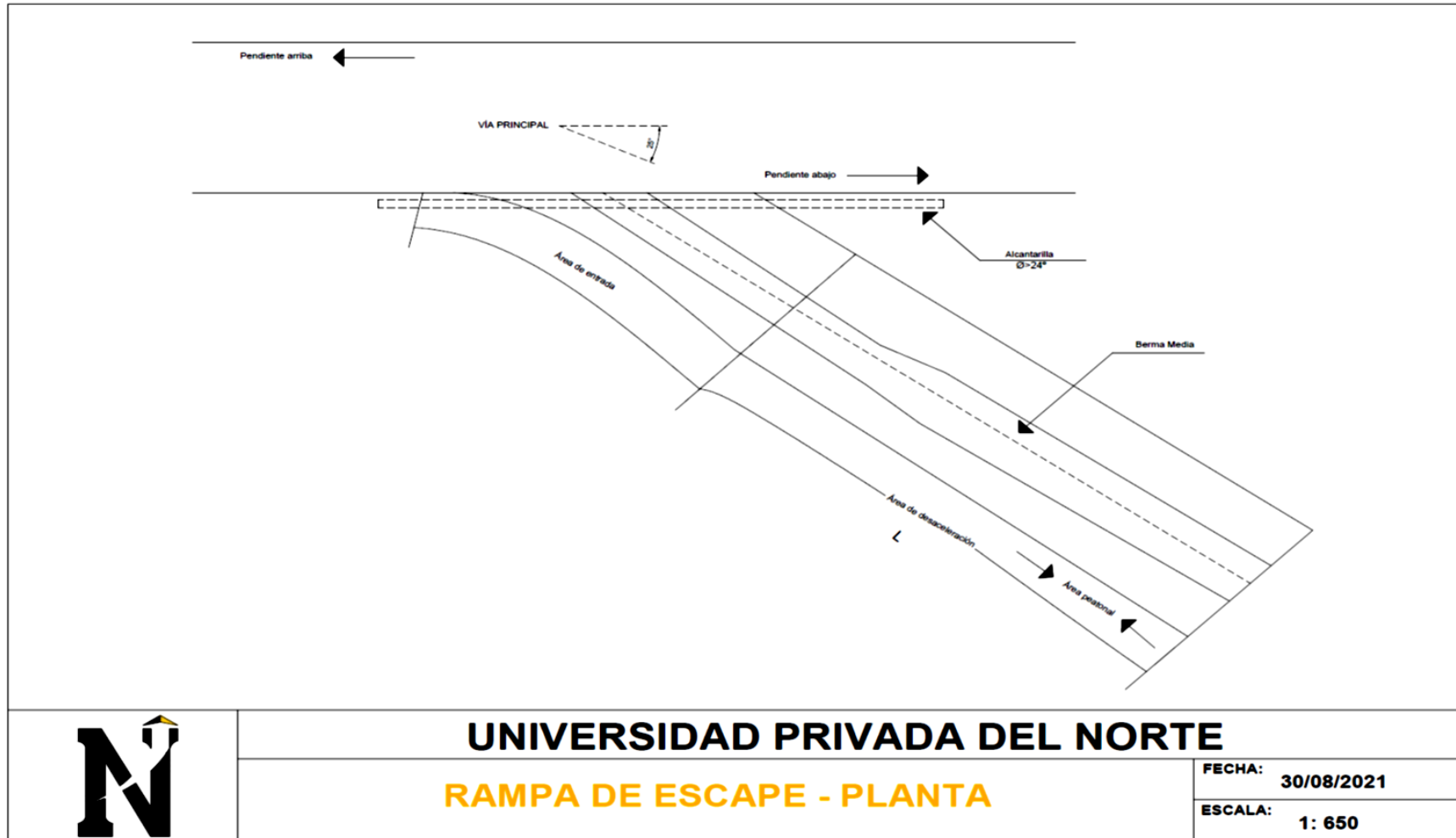
Tomando como velocidad promedio 30 km/h, puesto que, dentro de mina no se puede exceder los 100 km/h sin llegar a un escape, se empleó la siguiente formula, con $b = 0.035$ como coeficiente de resistencia al rodado.

$$S = \frac{\Delta v^2}{2g(\sin \theta - b)}$$

Dentro de la empresa minera de estudio hay dos tipos de Runaways: rampa de escape y berma de escape o frenado, las cuales pueden ser laterales o centrales.

Figura 8:

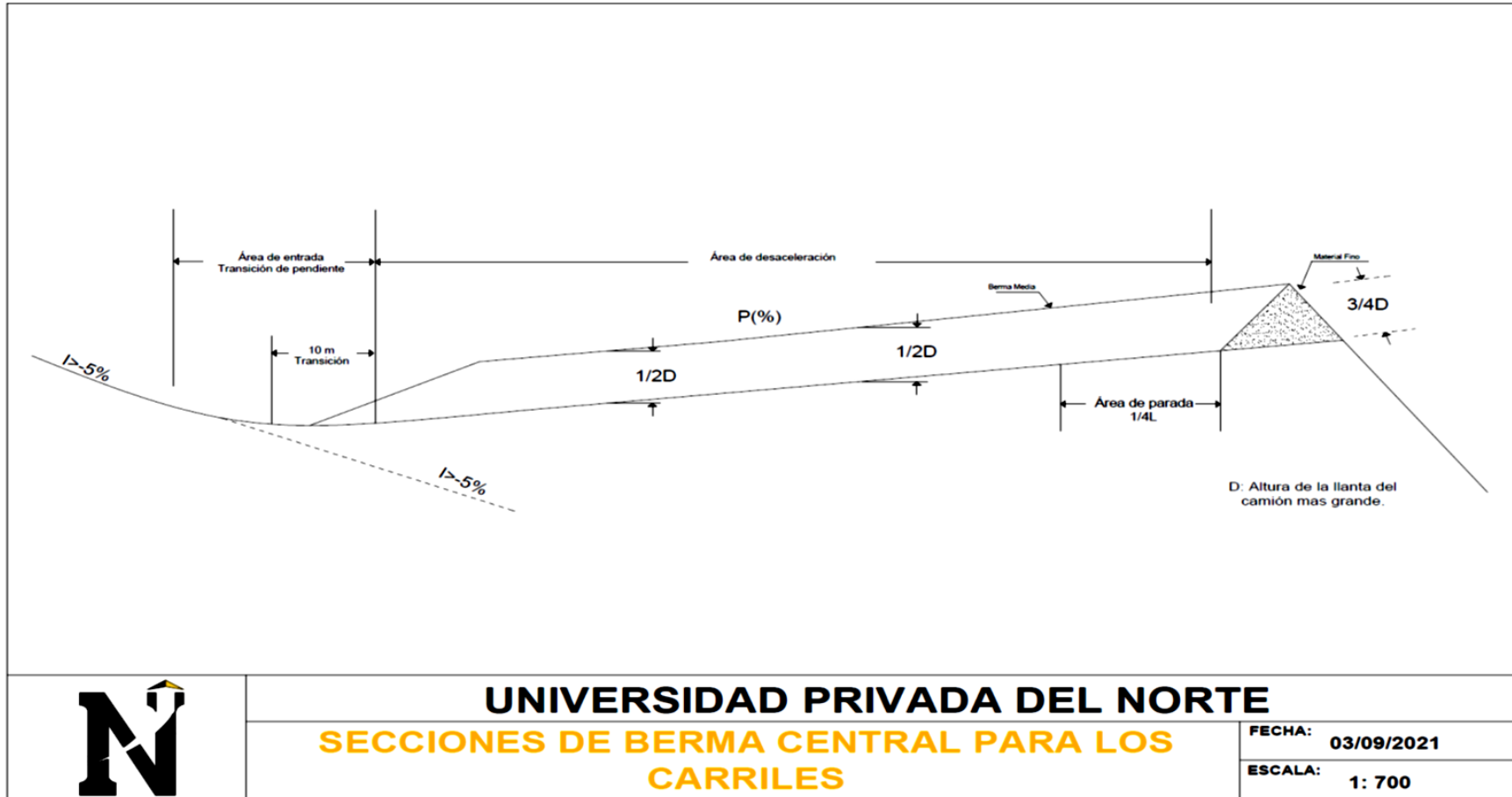
Diseño de Rampa de escape - Planta



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9:

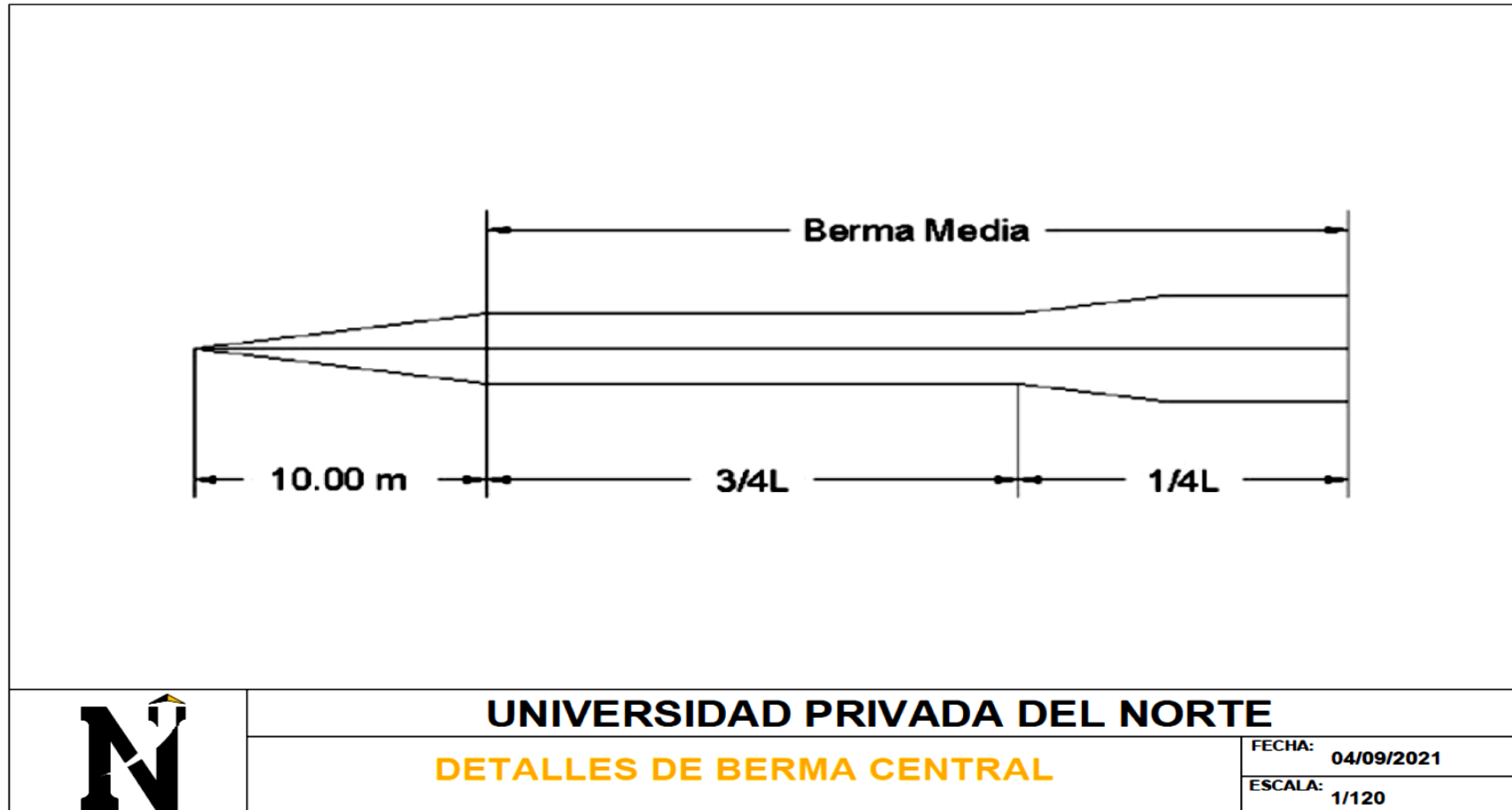
Diseño de Rampa de escape – Elevación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10:

Detalles del Diseño de berma



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8, se describe las principales características de los escapes o runaways, donde se aprecia que el ángulo es de 25° entre la autopista que va en descenso y el escape normativo obligatorio. Teniendo un ancho de escape de 10 m y la altura de la berma de 1.80 m en un ancho de 3 m.

En la figura 9, se evidencia el diseño de la elevación de la rampa de acuerdo a las medidas aplicadas después de identificar el camión más grande que transita por la vía.

Y por último en la figura 10, se muestra el detalle de la berma central de frenado con sus respectivas medidas a ciertas distancias para un óptimo resultado.

Longitud del escape

Tabla 14:

Relaciones que deben cumplir entre la pendiente del escape con la longitud del mismo

PENDIENTE DEL ESCAPE	LONGITUD DEL ESCAPE (m)
10%	75
15%	70
20%	65
25%	60

Fuente: Datos de campo.

Condiciones que deben cumplir los escapes

- Deben estar correctamente señalizados y a una distancia prudente antes del escape.
- El material usado en la elaboración del piso y bermas de los escapes será granular de un tamaño menor a 3”
- Deberá de permanecer libre de obstáculos.
- Se debe evitar baches, badenes, gibas u otros fenómenos que impidan un tránsito normal sobre el escape, además, en el caso que haya presencia de drenajes o cunetas, se debe plantear alcantarillas.
- En el caso de presencia de rocas o material que obstaculice el paso hacia el escape, estos deberán ser removidos.
- El piso será ripeado con frecuencia, y mensualmente trabajado con tractor o motoniveladora.

3.2. Parámetros del Diseño Estructural de la vía del acceso minero en base al Método del CBR

3.2.1. Características y tamaños máximos

Se trabaja con material granular, teniendo en cuenta un CBR > 40%, y en el caso de la base el CBR debe ser > 80% para el 95% de compactación Proctor Modificado y los 0.15 m superiores no debe contener rocas mayores a 3”.

3.2.2. Compactación

- ✓ Para suelos de Cantera o de Desmonte Seleccionado: Rodillo Vibratorio Autopropulsado, en espesor máximo de 3 veces el tamaño máximo del agregado.

- ✓ Para suelos No Clasificados de Cantera o de Desmonte: Equipo de Obra, en espesor máximo de 50 cm.
- ✓ Se tomarán medidas de la compactación con rodillo vibratorio por cada capa, a razón de 1 cada 1500 m², por lo menos, distribuidas en tresbolillo (derecha, centro, izquierda).
- ✓ Las medidas de la compactación deberán ser como mínimo, del 95% de la Máxima Densidad Seca obtenida con el ensayo de Proctor Modificado (AASHTO T180) hecho en el mismo tipo de materia que se está controlando.

3.2.3. Capa de rodadura

Debe tener un CBR>80% para el 98% de compactación Proctor Modificado, además debe estar dentro de la franja granulométrica indicada en la siguiente tabla.

Tabla 15:

Gradación recomendada para capa de rodadura

TAMAÑO	% EN PESO QUE PASA
76 mm (3")	100
38 mm (1.5")	70 – 100
25 mm (1")	55 – 88
9.5 mm (3/8")	40 – 70
#4	30 – 55
#10	22 – 42
#200	5 – 10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16:

Propiedades recomendadas para la capa de rodadura

Propiedad	Min.	Max.	Impacto en la funcionalidad
Contracción del producto	25	200	Reduce el deslizamiento, pero es propenso a la pérdida de agregados.
Coefficiente de gradación	20	35	Reduce el índice de erosión, pero aumenta la probabilidad de pérdida de material.
Relación de polvo	0.4	0.6	Disminuye polvo, pero hay probabilidad de perder material.
Límite líquido (%)	17	24	Reduce deslizamiento, pero aumenta polvo.
Límite plástico (%)	12	17	Reduce deslizamiento, pero aumenta polvo.
Índice de plasticidad	4	8	Reduce deslizamiento, pero aumenta polvo.
CBR al 98% P.M	80		Resiste la erosión y mejora la transitabilidad.
Tamaño máximo		40	Facilita el mantenimiento y conserva los neumáticos.

Fuente: Elaboración propia.

Compactación

- Rodillo vibratorio autopulsado, en dos capas de 25 cm.
- Se tomarán medidas de compactación, teniendo una relación de 1 cada 1500 m^2 , por lo menos, distribuida en tresbolillo (derecha, centro e izquierda)
- Las medidas de la compactación deberán arrojar como mínimo, el 98% de la Máxima Densidad Seca obtenida con el ensayo de Proctor Modificado (AASHTO T180) hecho sobre el mismo tipo de materia que se está controlando.

3.3. Mezclas óptimas para la capa de rodadura de la vía del acceso minero

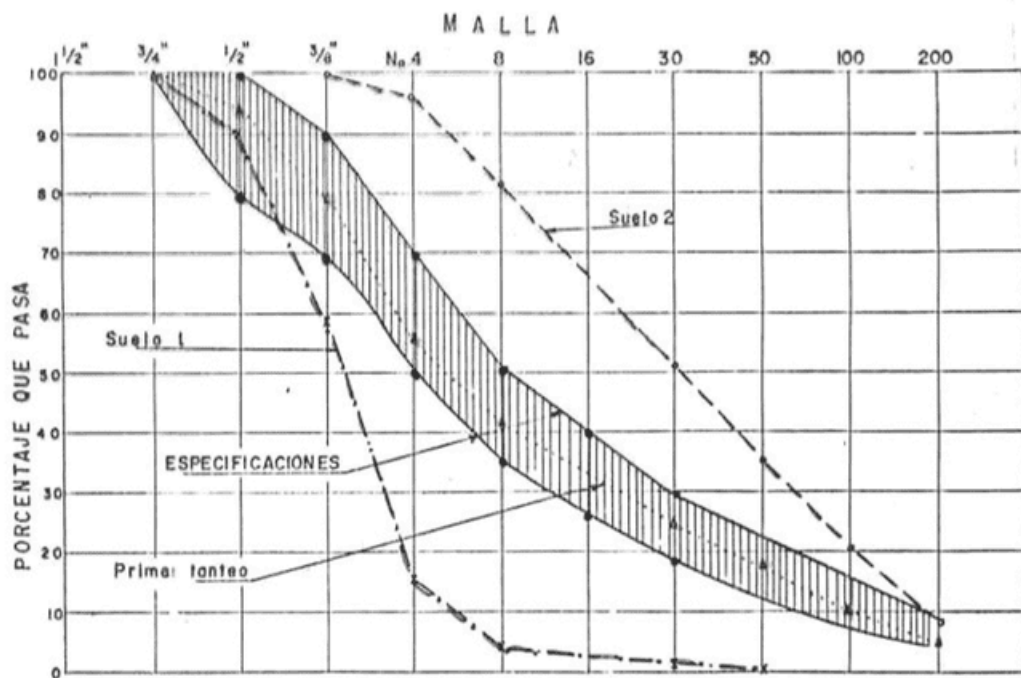
Con el fin de satisfacer las necesidades de construir y diseñar una vía que contenga un material granulométrico y una capa de rodadura óptima para garantizar una mayor producción y un buen comportamiento, es que a continuación se muestra el procedimiento para obtener un tercer material a partir de la mezcla de dos materiales cuyas características granulométricas son conocidas, a fin de obtener un tercer material que cumpla con las exigencias del Huso Granulométrico especificado.

3.3.1. Mezcla de dos materiales

Para realizar la mezcla de dos materiales, se han usado mallas de diferentes tamaños que a continuación de detalla en la figura, para obtener un tercer material que presente las características requeridas para el Huso Granulométrico.

Figura 11:

Curvas granulométricas



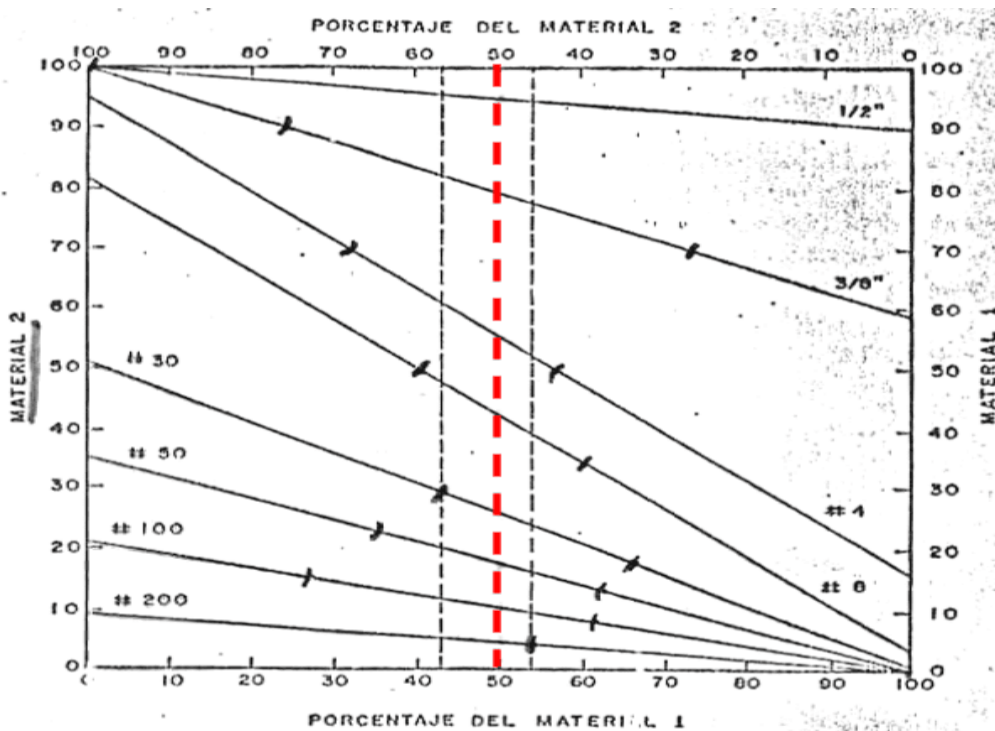
Fuente: Datos de campo.

Se muestran dos curvas granulométricas (suelo 1 y suelo 2), que no cumplen con las características para aplicar en la capa de rodadura. Se observa que porcentaje de cada material pasa por las mallas indicadas en la parte superior de la imagen.

El procedimiento en gabinete para demostrar la obtención de un tercer material, es dibujar un cuadro, colocando en los ejes verticales una escala de 0 a 100 y así mismo en los ejes horizontales, pero de izquierda a derecha el material 1 en la parte inferior, y de derecha a izquierda el material 2 en la parte superior como se muestra en la siguiente figura.

Figura 12:

Porcentajes de pasante según el material



Fuente: Datos de campo.

Se toma de referencia la figura 7, para identificar que porcentajes pasantes de cada material, y así trazar una recta de derecha a izquierda que representa a cada malla.

Por ejemplo, en el material 1 un en la malla 8 pasa el 5% y en el material dos con la misma malla pasa el 82%. Entonces se traza una recta que representa la malla 8.

Como siguiente paso se procede a dibujar las líneas sobre las rectas obtenidas en el paso anterior, para definir los límites de Huso Granulométrico para cada malla.

Como se muestra en la figura 7 que el tipo de material 1 corta al Huso Granulométrico en 50% y 70%. Y esas son las marcas que se aprecian en la figura 12.

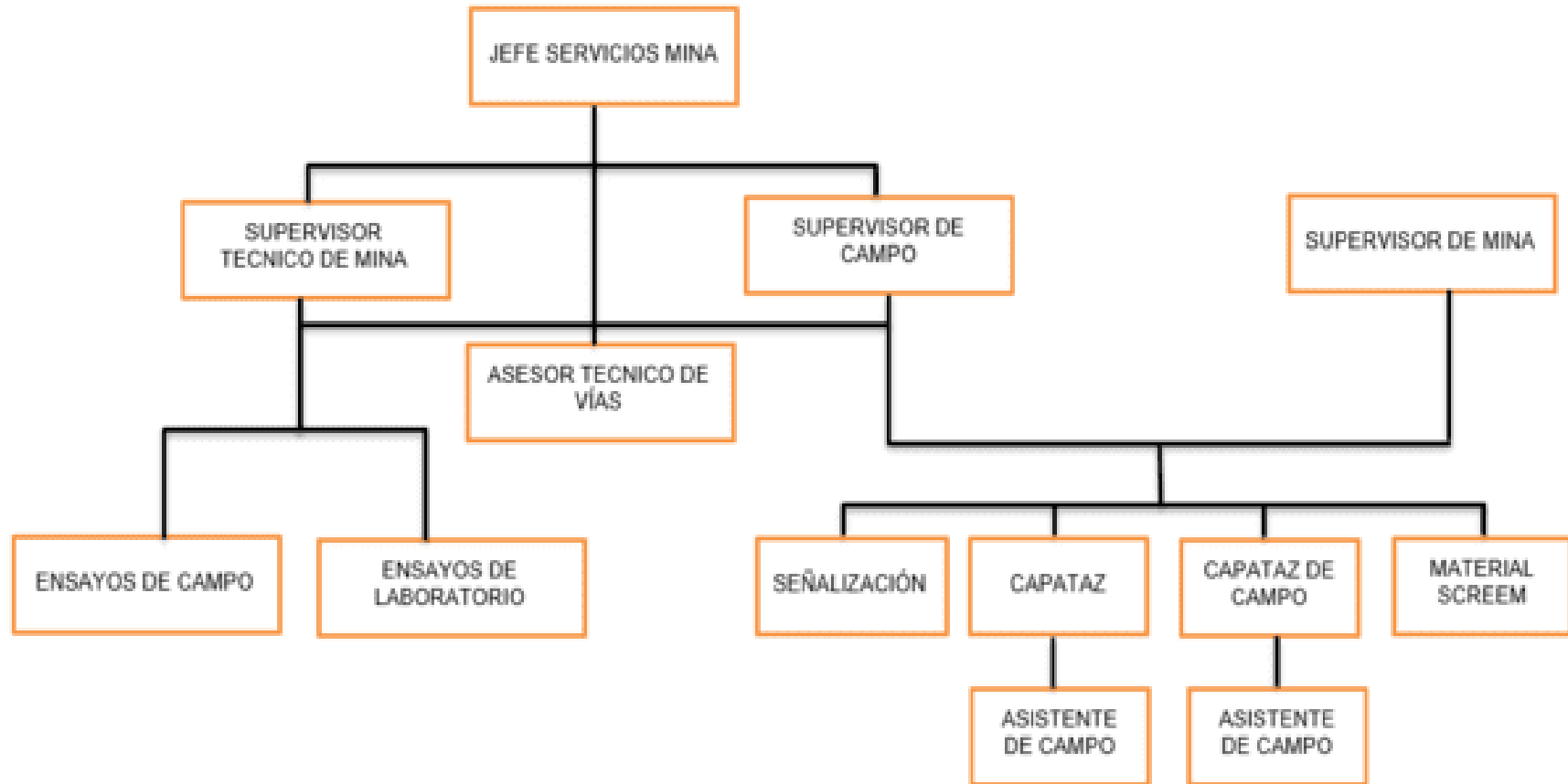
3.3.2. Procedimientos constructivos

Previamente al inicio de las obras de pavimentación y construcción de los accesos a mina, se debe realizar el correspondiente levantamiento topográfico de la zona, y la evaluación geotécnica del tramo o sector por construir. En relación con la información obtenida, esto permitirá empezar con el diseño geométrico de perfiles, peraltes, alineamientos horizontales, anchos operativos, etc.; asimismo analizar y seleccionar el modelo de pavimento a aplicar que sea el más apropiado.

La construcción de la vía se realizará bajo el siguiente organigrama.

Figura 13:

Organigrama para la construcción de la vía



Fuente: Elaboración propia.

- En las labores de diseño y construcción de las vías, los encargados tales como, el Supervisor Técnico de vías se encarga de coordinar con el Supervisor de Campo para empezar a realizar la construcción de los accesos a mina sin perjudicar los procesos que ya se vienen siguiendo dentro de las operaciones.
- Posteriormente, el Supervisor de Campo se encarga de estar presente durante toda la construcción de obra, para poder verificar la calidad de los materiales a usar en las capas del pavimento, la eficiente construcción de alcantarillas y pozas de drenaje.
- Entre los Supervisores (técnico y de campo), deberán coordinar para llegar a un acuerdo sobre si es propicia la construcción de la vía por carriles o a todo lo ancho; todo esto teniendo en cuenta el fácil tránsito de los vehículos.
- Se inicia el trabajo con la remoción de tierras (corte y relleno), hasta llegar al nivel Sub-rasante. Todos los materiales sobrantes y los que no cumplan con las características para ser usados en la construcción de las vías, serán removidos fuera de la mina a lugares previamente establecidos.
- Se continuará con el perfilado y la conformación de la superficie Subrasante, realizando una compactación con los equipos de obra. En los suelos blandos, que son fáciles de identificar al hundir con facilidad el dedo pulgar en el terreno ($CBR < 5\%$), se colocan mallas biaxial o triaxial a nivel de subrasante.
- La construcción de las cunetas y alcantarillas es de prioridad en la construcción, estas deben estar a ambos lados de la vía o en un solo lado, con el fin de mantener libre de acumulaciones de agua durante la construcción de la misma.
- El Supervisor de Campo es el responsable de mantener todas las vías en construcción libres de acumulaciones de agua.

- Culminando la preparación de la Subrasante, se procederá a colocar la capa del “Cuerpo del Pavimento”, que consiste en aplicar materiales de la sub base o base, dependiendo del diseño aplicado; los cuales serán compactados mediante varias pasadas de equipo de obra, hasta llegar a una densidad del 95% de su Proctor Modificado y un grosor no mayor a los 50 cm.
- A continuación, se coloca la segunda capa de material con características de Material Base, que será compactado de igual manera con el equipo de obra, hasta alcanzar una densidad del 95% de su Proctor Modificado y un espesor no mayor a 50 cm.
- Al haber finalizado con el proceso de compactación, se procede a aplicar capas de Geo compuesto de Drenaje, que consiste en un “sándwich” de Geotextil, Geo membrana, Geotextil, lo que se debe realizar de manera secuencial y sin interrupciones.
- Con respecto a la aplicación de la primera capa de rodadura, se deberá aplicar la misma con Humedad Optima, mediante rodillos vibratorios autopropulsados que pesen al menos 10 toneladas, de tal manera que al finalizar se tenga como resultado una capa con 98% de su Máxima Densidad Seca Proctor Modificado, y un espesor de 25 cm.
- En los casos que el terreno por donde se construirá la vía sea de características naturales excelentes ($CBR \geq 80\%$, fácilmente de reconocer por ser gravo-arenoso o roca), se podrá colocar la primera capa de rodadura directamente sobre el terreno natural compactado usando rodillos autopropulsados con un mínimo de 10 toneladas, hasta obtener 95% de su Máxima Densidad Seca Proctor Modificado por lo menos, y una profundidad no menos a 30 cm, en

este caso el control de la compactación se realizará por métodos Volumétricos a Gran Escala.

- Durante toda la construcción de las vías será necesario la colocación de señalizaciones preventivas e informativas.

3.4. Tipos de mantenimiento después de la construcción de las vías de acceso minero

3.4.1. Actualización topográfica

- Realizar un levantamiento topográfico planeado durante las operaciones de mina, permitirá recaudar información necesaria sobre el estado actual de las Vías de Acarreo.
- Estos levantamientos topográficos, deben ser realizados con equipos de alta precisión, de manera continua e implementarlo en el Plan Semanal de Mina.
- La información recabada ayudará a realizar un monitoreo minucioso de las transformaciones naturales que sufren las vías por desgaste y fenómenos atmosféricos.
- Permitirá llevar un control de las secciones, perfiles, peraltes, alineamientos horizontales, anchos operativos, etc.

3.4.2. Mantenimiento de vías

- a. Con la información recaudada de la topografía, se comunica al supervisor de vías para que de su mano sea elaborada un Plan Semanal de mantenimiento.
- b. Los Supervisores de Vías y de Mina deberán coordinar para elaborar un plan de mantenimiento de vías sin afectar las operaciones.
- c. El Supervisor de Vías deberá realizar un tour por todas las vías, con el fin de anticipar la necesidad del Mantenimiento.
- d. Los Mantenimientos se darán de dos tipos: Mantenimiento Rutinario o Preventivo y Mantenimiento Correctivo.
- e. El primer tipo de Mantenimiento es el Rutinario, que se lleva a cabo cuando es necesaria la eliminación de finos acumulados en las superficies por: caída de material de los camiones de acarreo, arrastre de los neumáticos, por

desgaste de la capa de rodadura. Este tipo de mantenimiento se pone en evidencia cuando ocurren derrapes de los camiones después de realizar el riego o por la presencia de lluvias.

Este tipo de mantenimiento será realizado con Motoniveladora siguiendo los procedimientos de: escarificación ligera (entre 5 a 10 cm de profundidad), esparcimiento sobre toda la superficie material granular de tamaño máximo de una pulgada y con el espesor medio de la escarificación ligera efectuada en el paso previo, y compactación de lo aplicado con Rodillo vibratorio con un mínimo de cuatro pasadas. En este caso ya no es necesario la medición de la densidad.

- f. El mantenimiento preventivo también comprenderá el perfilado y la conformación de la superficie que estuviera en mal estado, eliminando piedras y barros, realizar limpieza diaria de alcantarillas, cunetas y pozas. Las entradas y salidas de las alcantarillas, sangrías y cunetas serán protegidas con enrocados, geotextil o costales llenos de material fino, y finalmente con la conformación de los taludes de corte y las bermas.
- g. El Mantenimiento Correctivo, se pone en evidencia cuando se pueden apreciar dentro de las vías ahuellamientos, corrimientos o hundimientos que se presentan en la capa de rodadura. Estos serán tratados conforme al Mantenimiento correctivo expuestos en los puntos anteriores; cortando y eliminando fuera de la vía a todos los materiales que no pertenezcan a la capa de rodadura, lo que se deberá determinar son los espesores de corte mediante calicatas.
- h. En el caso que se produzcan hundimientos en vías que han sido tratadas con Geo sintéticos, el Mantenimiento Correctivo consistirá en escarificar

ligeramente la superficie, colocar una nueva malla biaxial o triaxial y sobre ella una capa de rodadura de 25 cm de espesor, compactada al 98% de su Máxima Densidad Seca Proctor Modificado. Este procedimiento se aplicará en todo el sector dañado, cuidando de no modificar radicalmente la geometría de la vía.

- i. Todos los materiales excedentes serán colocados en el centro de la vía, para evitar su derramamiento a las cunetas o alcantarillas; para después ser desechado.
- j. Se llenarán partes con los principales datos de los involucrados en el mantenimiento de las vías, asimismo, se detallarán los equipos usados, tipo de mantenimiento realizado, paralizaciones, abastecimiento de combustible, etc.
- k. Estos mantenimientos, se realizarán por carriles, para no obstaculizar el paso del resto de equipos. Siempre usando señalizaciones preventivas e informativas en todas las vías durante el proceso.
- l. El principal responsable de que las vías se encuentren en buen estado de transitabilidad, sin hendiduras, baches, encalaminados, piedras, y de dar continuidad a la evaluación de las aguas es el Supervisor de Vías.

3.4.3. Mantenimiento de vías en época de lluvias

Cuando hay presencia de lluvias, no es propicio cortar la superficie con motoniveladora, eliminando el material saturado hacia la cuneta, sino hacia el

centro de la vía, para después ser eliminado cuando calmen las lluvias. Además, se debe mantener siempre limpias las cunetas y sangrías de sedimentos que impidan u obstruyan el libre drenaje de las aguas.

- **Prioridades**

Primera: Cero baches y piedras en todas las vías de la mina.

Segunda: Los mantenimientos rutinarios cuentan como preventivos.

Tercera: Mantener las capas de rodadura en condiciones óptimas.

Cuarta: Mantener siempre limpio y libre el drenaje superficial.

Quinta: El control de polvo es la primera prioridad cuando no llueve.

3.4.4. Recomendaciones en el uso de vías

- ❖ Buena selección de la marcha en los camiones.
- ❖ No sobrecargar y centrar las cargas en los camiones.
- ❖ Reducir la velocidad en las curvas.
- ❖ Reportar el derramamiento de material sobre las vías.
- ❖ Mantener el peralte en las vías.
- ❖ Mantener las cunetas y sangrías siempre limpias.
- ❖ Realizar un buen compactado de acuerdo a las especificaciones.
- ❖ Si la superficie de rodadura de las vías se encuentra resbalosa, los operadores de los camiones deberán reducir la velocidad de sus vehículos al 50% para evitar accidentes.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Nuestra investigación formuló la siguiente hipótesis: Al definir los parámetros de diseño geométrico, estructural y establecer las mezclas óptimas de la capa de rodadura, se establecerán las actividades de diseño y con los reportes de topografía se realizará el plan de mantenimiento semanal de las vías de acceso minero para el tránsito de maquinaria pesada, a fin de mejorar la seguridad de la operación vehicular. En la comparativa respecto a otros documentos hallados con información concerniente a la tesis expuesta en la tesis “Influencia del mantenimiento de vías sobre la productividad del proceso de acarreo en el minado del tajo Pampa Verde, minera La Zanja, Cajamarca”, de (Marinovich, 2016), donde asevera la importancia de un previo plan de mantenimiento y diseño de vías para verse reflejado en la producción. En el artículo publicado por CAT “Mantenimiento de los caminos de acarreo: Como mejorar la vida útil de los camiones mineros y los neumáticos”, (CAT, 2020), indica que con un buen mantenimiento de vías dentro de una empresa minera ayudará directamente al ahorro de dinero por mantenimiento de equipos y cambio de neumáticos, asimismo, habrá una optimización en el consumo de combustible. Tal como se expone en este documento, se puede apreciar que un previo diseño y correcto plan de mantenimiento de vías será una de las mejores formas de evitar un gasto excesivo en la reparación y cambio de repuestos en los equipos utilizados.

Dentro del ámbito minero, es de suma importancia la implementación de un correcto plan de diseño y mantenimiento de vías, ya que de esta forma se pueden evitar una serie de situaciones que perjudiquen a la empresa, desde un exceso de gastos por mantenimientos

correctivos en los equipos de acarreo, hasta prevenir un accidente por un mal mantenimiento o diseño de los caminos.

Por tal motivo se puede resumir en que absolutamente todas las empresas mineras reconocidas y autorizadas por el Estado deben poseer un plan que ayude a realizar un buen diseño, mejorar y mantener sus principales caminos de acarreo usando lo descrito en esta tesis para lograr una óptima elaboración de las vías y aplicando los respectivos procedimientos de mantenimientos de acuerdo a los parámetros utilizados en cada empresa minera. Asimismo, se debe tener en cuenta que al establecer un plan de correcto diseño y mantenimiento de las vías de acceso se logrará optimizar una serie de procesos que son fundamentales para la producción minera.

4.2 Conclusiones

Se determinaron los parámetros del Diseño Geométrico de la vía de acceso minera, de tal manera se pudo identificar los principales requisitos para una correcta construcción de vías de acceso, siguiendo los pasos mencionados.

Describimos los parámetros del diseño estructural de la vía del acceso minero en base al método del CBR, en el cual nos indica un cierto grado de compactación para cierto tipo de camino dentro de la mina, de tal forma se logrará una cierta dureza de la vía antes de la aplicación de otra capa requerida de acuerdo al manual del diseño.

Establecimos las mezclas óptimas para la elaboración de la capa de rodadura de la vía del acceso minero para garantizar su adecuado comportamiento del tránsito de maquinaria pesada, teniendo en cuenta sus características que deben estar implicadas dentro del Huso Granulométrico después de las pruebas en laboratorio realizadas. De tal forma llegar a obtener un material adecuado para la construcción de la vía.

Se describieron los diferentes tipos de mantenimiento que se deben realizar en la Construcción de las Vías de acceso minero, tales como el Mantenimiento Rutinario el cual se aplica esporádicamente de acuerdo a lo programado con los respectivos Supervisores de vías y minas. Puede realizarse una vez por semana o cada quince días. También se debe realizar el Mantenimiento Preventivo, el cual se realiza para evitar el deterioro por desgaste de las vías y no llegar a un mantenimiento correctivo. Asimismo, se aplica el Mantenimiento Correctivo que es aplicado siempre y cuando se evidencie una necesaria reparación en las vías por haber sido dañadas.

REFERENCIAS

- Bladimir, N. (2019). *Influencia de Mantenimiento de Vías de Acarreo en la Productividad del Tajo Ferrobamba - Minera las Bambas - Apurimac*. Cusco.
- CAT. (2020). Mantenimiento de los caminos de acarreo: como mejorar la vida útil de los camiones mineros y los neumáticos.
- Chipana, J. P. (2018). *DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS DE CARGUIO - ACARREO Y OPTIMIZACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE VÍAS PARA LOS TAJOS PAMPA VERDE Y SAN PEDRO SUR MINA LA ZANJA S.R.L.* Arequipa.
- Golosinski, T. (2020). Mantenimiento Minero: reducción de costos en maquinaria. *Tiempo Minero*.
- Huarocc, P. (2014). *Optimización de carguío y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores clave del desempeño*. Huancayo.
- James Armstrong, R. M. (2012). *INDUSTRIAS BASADAS EN RECURSOS NATURALES*. España.
- Marinovich, F. (2016). *Influencia del mantenimiento de vías sobre la productividad del proceso de acarreo en el minado del tajo Pampa Verde, minera La Zanja, Cajamarca*. Trujillo.

Yoza, A. (2010). *Gestion de Vias en Proyectos Open Pit*.

Sampieri, R.H., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación. Las rutas
cuantitativa, cualitativa y mixta*.

ANEXOS

ANEXO N° 01. FICHA TECNICA DE MAQUINARIA PESADA CAT 793D

Especificaciones	
Aviso: Todos los datos listados son verificados por el equipo de LECTURA Specs. Sin embargo, puede haber datos incompletos o contener errores. Póngase en contacto con nuestro equipo con cualquier sugerencia de cambio.	
Peso	165.75 t
Neumáticos estándar	40.00-R57 t
Capacidad de la cuchara bivalva	129 m ³
Carga útil	218 t
Longitud de transporte	12.86 m
Anchura transporte	7.6 m
Altura de transporte	6.49 m
Velocidad	54.3 km/h
Radio de torneado exterior	28.42 m
Altura de carga	5.871 m
Fabr. del motor	Caterpillar
Modelo de motor	3516B HD EUI
Rendimiento de motor	1743 kW
Cilindrada	78 l
cilindro Diámetro x carrera	170x215 mm
Nivel de emisión	Tier 1
Dirección	###
Medidas l x a x x	###
Revoluciones	###
Par máximo	###
N° de cilindros	###
Modelo base con cabina Rops y equipo estándar	

ANEXO N° 02. FICHA TECNICA DE MAQUINARIA PESADA CAT 793F

Especificaciones

Aviso: Todos los datos listados son verificados por el equipo de LECTURA Specs. Sin embargo, puede haber datos incompletos o contener errores. Póngase en contacto con nuestro equipo con cualquier sugerencia de cambio.

Peso	163.29 t
Neumáticos estándar	40.00R57
Carga útil	226.8 t
Longitud de transporte	13.7 m
Anchura transporte	8.29 m
Altura de transporte	6.6 m
Velocidad	60 km/h
Radio de torneado exterior	33 m
Altura de carga	6.53 m
Fabr. del motor	Caterpillar
Modelo de motor	C175-16
Rendimiento de motor	1848 kW
Cilindrada	85 l
cilindro Diámetro x carrera	175x220 mm
Nivel de emisión	Tier 2
Capacidad de la cuchara bivalva	###
Dirección	###
Medidas l x a x n	###
Revoluciones	###
Par máximo	###
N° de cilindros	###

Modelo base con cabina Rops y equipo estándar

ANEXO N° 03. FICHA TECNICA DE MAQUINARIA PESADA CAT 785C

Especificaciones

Aviso: Todos los datos listados son verificados por el equipo de LECTURA Specs. Sin embargo, puede haber datos incompletos o contener errores. Póngase en contacto con nuestro equipo con cualquier sugerencia de cambio.

Peso	102 t
Neumáticos estándar	33.00-R51 (E4)
Capacidad de la cuchara bivalva	91 m ³
Carga útil	136 t
Longitud de transporte	11.02 m
Anchura transporte	6.64 m
Altura de transporte	5.77 m
Velocidad	54.8 km/h
Radio de torneado exterior	27.5 m
Altura de carga	4.97 m
Fabr. del motor	Caterpillar
Modelo de motor	3512B EUI
Rendimiento de motor	1082 kW
Cilindrada	51.8 l
N° de cilindros	16
cilindro Diámetro x carrera	170x190 mm
Nivel de emisión	Tier 1
Dirección	###
Medidas l x a x h	###
Revoluciones	###
Par máximo	###

Modelo base con cabina Rops y equipo estándar

**ANEXO N° 04. VÍA REFERENCIAL TOMADA PARA OBTENER DATOS EN LA
UNIDAD MINERA.**



**ANEXO N° 05. VÍAS ALTERNAS REFERENCIALES TOMADA PARA OBTENER
DATOS EN LA UNIDAD MINERA**



**ANEXO N° 06. VÍA REFERENCIAL UTILIZADA POR MAQUINARIA PESADA Y
TRANSPORTE DE MATERIAL TOMADA PARA OBTENER DATOS EN LA
UNIDAD MINERA**



**ANEXO N° 07. VÍA REFERENCIAL TOMADA PARA OBTENER DATOS EN LA
UNIDAD MINERA**



**ANEXO N° 08. VÍA ALTERNA UTILIZADA POR VEHICULOS DE TRANSPORTE
DE PERSONAL TOMADA PARA OBTENER DATOS EN LA UNIDAD MINERA**



**ANEXO N° 09. NUESTRA PERSONA TOMANDO MEDIDAS EN UNA VÍA
REFERENCIAL UTILIZADA PARA TRANSPORTE DE MATERIAL MINERAL
EN LA UNIDAD MINERA**



**ANEXO N° 10. NUESTRA PERSONA TOMANDO MEDIDAS EN UNA VÍA
REFERENCIAL UTILIZADA PARA TRANSPORTE DE MATERIAL MINERAL
EN LA UNIDAD MINERA**



**ANEXO N° 11. NUESTRA PERSONA TOMANDO MEDIDAS EN UNA VÍA
REFERENCIAL UTILIZADA PARA TRANSPORTE DE MATERIAL MINERAL
EN LA UNIDAD MINERA**



**ANEXO N° 12. NUESTRA PERSONA TOMANDO MEDIDAS EN UNA VÍA
REFERENCIAL UTILIZADA PARA TRANSPORTE DE PERSONAL EN LA
UNIDAD MINERA**















