



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE RODADURAS
PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE ACARREO Y TRANSPORTE DEL
MATERIAL EN TUNELERÍA**

Emilio Rolando Vásquez Galvez

Asesorado por el Ing. Fredy Enrique Ríos Godínez

Guatemala, abril de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE RODADURAS
PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE ACARREO Y TRANSPORTE DEL
MATERIAL EN TUNELERÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EMILIO ROLANDO VÁSQUEZ GALVEZ

ASESORADO POR EL ING. FREDY ENRIQUE RÍOS GODÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE RODADURAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE ACARREO Y TRANSPORTE DEL MATERIAL EN TUNELERÍA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha noviembre de 2011.



Emilio Rolando Vásquez Galvez

Guatemala, octubre de 2012

Ingeniero

Mario Estuardo Arriola Ávila

Coordinador del Área de Topografía y Transportes

Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Ingeniero Arriola:

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación **"EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE RODADURAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE ACARREO Y TRANSPORTE DEL MATERIAL EN TUNELERÍA"**, elaborado por el alumno Emilio Rolando Vásquez Gálvez, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular me despido.

Atentamente,



Ing. Fredy Enrique Ríos Godínez

Fredy Enrique Ríos Godínez
Colegiado 3143
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 3143



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
30 de enero de 2013

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE RODADURAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE ACARREO Y TRANSPORTE DEL MATERIAL EN TUNELERÍA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Emilio Rolando Vásquez Gálvez, quien contó con la asesoría del Ing. Fredy Enrique Ríos Godínez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Fredy Enrique Ríos Godínez y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Emilio Rolando Vásquez Galvez, titulado EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE RODADURAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE ACARREO Y TRANSPORTE DEL MATERIAL EN TUNELERÍA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, abril de 2013.

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.230-2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE RODADURAS PAR LA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE ACARREO Y TRANSPORTE DEL MATERIAL EN TUNELERÍA**, presentado por el estudiante universitario: **Emilio Rolando Vásquez Gálvez** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, abril de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser una luz en mi camino brindándome sabiduría para lograr esta meta.
- Patricia Gálvez** Ser que me dio la vida y que en todo momento mantuvo su paciencia, apoyo y educación, desempeñando un gran papel de padre y madre en todo momento.
- Amadeo Vásquez
(q.e.p.d.)** Por ser mi inspiración desde el cielo.
- Yolanda Jurado** Por ser otra madre que me ha brindado un gran apoyo en mi camino y en mis estudios.
- Hermanos** Thelma Patricia, Luis Alejandro, Luis Fernando Vásquez Galvez, por ser una importante influencia en mi carrera.
- Familia Pineda Vásquez** Por ser ejemplo y fuente de inspiración para lograr esta meta.
- Sofía Calvillo** Por sus consejos y apoyo incondicional brindado en todo momento.

Familia Rivera Ticas

Por sus consejos para lograr culminar esta investigación.

Amigos

Por el compañerismo, apoyo y amistad brindado en el transcurso de nuestra carrera.

Facultad de Ingeniería

Mi alma máter y casa de estudios que me inspiró a seguir esta carrera.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por formarme como profesional a través del conocimiento técnico y científico.

AGRADECIMIENTOS A:

Fredy Ríos	Por su asesoría y apoyo brindado para la elaboración de este trabajo de graduación.
Fridolin Birk	Por darme la oportunidad de realizar esta investigación en su empresa.
Catedráticos	Por ser las personas que hicieron posible mi formación en la facultad.
Familia Morales Sierra	Por su asesoría brindada.
Personal de Grupo EMO	Por la asesoría brindada en las diferentes ramas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Antecedentes de la minería en el mundo	1
1.1.2. Minería en Guatemala	2
1.1.3. Proyectos recientes	3
1.1.4. Área de trabajo de Grupo EMO, S.A., en la Mina Marlin.....	4
1.2. Justificación	16
1.3. Planteamiento del problema	16
1.4. Marco teórico.....	17
1.4.1. Maquinaria utilizada en obras subterráneas para explotación minera.....	17
1.4.2. Curvas de desempeño de camiones	21
1.4.3. Consideraciones para el diseño de carpetas de rodadura	21
1.4.4. Consideraciones para una economía desconocida.....	21
1.4.5. Diseño de rodaduras para transporte	23

1.4.6.	Mantenimiento de carpetas	25
1.4.7.	Tipos de rodaduras utilizadas en túneles	27
1.4.7.1.	Grava.....	27
1.4.7.2.	Concreto pobre	28
1.4.7.3.	Hormigón	28
1.4.7.4.	Concreto seco	30
1.4.7.5.	Balasto.....	31
1.4.7.6.	Asfalto.....	32
1.4.7.7.	Otras alternativas.....	33
2.	FACTORES QUE AFECTAN EL COSTO DEL CICLO DE ACARREO Y TRANSPORTE.....	35
2.1.	Capacidad del balde.....	35
2.2.	Metodología de carguío.....	35
2.2.1.	Gradiente.....	35
2.2.2.	Trazo de malla.....	36
2.2.3.	Perforación	38
2.2.4.	Cargue de explosivos	39
2.3.	Pendiente de rutas de transporte	40
2.3.1.	Resistencia en pendientes.....	40
2.3.2.	Resistencia a la rodadura	42
2.4.	Distancia de frenado.....	45
2.5.	Radios de curvatura	46
2.6.	Influencia del agua	48
2.6.1.	Ejemplo ilustrativo.....	49
3.	MARCO METODOLÓGICO	53
3.1.	Ensayos de campo	53
3.1.1.	Desgaste de la carpeta de rodadura en campo	53

3.1.2.	Carpeta de bach	53
3.1.3.	Carpeta de bach seco.....	55
3.1.4.	Grava.....	58
3.1.5.	Hormigón	61
	3.1.5.1. Cargas de uso	62
3.1.6.	Aspectos constructivos	64
3.2.	Análisis de tiempo	66
3.2.1.	Estudio del tiempo del ciclo	66
3.3.	Análisis de costos.....	66
3.3.1.	Cálculo de costos de ciclo de rezaga	67
	3.3.1.1. Cálculo de costo de transporte de camiones	67
	3.3.1.1.1. Costo para carpeta de bach.....	78
	3.3.1.1.2. Costo para carpeta de grava sencilla.....	84
	3.3.1.1.3. Costo para carpeta de grava formal.....	89
	3.3.1.1.4. Costo para carpeta de concreto hidráulico ..	95
3.4.	Ensayos de laboratorio	100
3.4.1.	Compactación (Proctor).....	101
3.4.2.	Relación soporte california (CBR).....	103
3.4.3.	Granulometría.....	105
3.4.4.	Plasticidad	106
	3.4.4.1. Límite líquido	106
	3.4.4.2. Límite plástico.....	107

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	109
4.1.	Resultados de campo	109
4.1.1.	Suelo estéril.....	109
4.1.1.1.	Proctor modificado.....	109
4.1.1.1.1.	Conclusión.....	111
4.1.1.2.	Relación de Soporte California (CBR).....	111
4.1.1.2.1.	Conclusión.....	113
4.1.1.3.	Análisis granulométrico.....	113
4.1.1.3.1.	Conclusión.....	115
4.1.1.4.	Plasticidad	116
4.1.1.4.1.	Conclusión.....	116
4.1.2.	Suelo mineral.....	116
4.1.2.1.	Proctor modificado.....	116
4.1.2.1.1.	Conclusión.....	118
4.1.2.2.	Relación de Soporte California (CBR).....	118
4.1.2.2.1.	Conclusión.....	121
4.1.2.3.	Granulometría.....	121
4.1.2.3.1.	Conclusión.....	123
4.1.2.4.	Plasticidad	123
4.1.2.4.1.	Conclusión.....	124
4.2.	Tabulación de datos	124
4.3.	Interpretación de resultados	126
4.4.	Alternativas para la optimización del ciclo de acarreo y transporte del material en tunelería	127
4.4.1.	Operadores capacitados.....	127
4.4.2.	Metodología para el acarreo y transporte del material.....	129

4.4.3. Accesorios adicionales para la maquinaria.....	130
CONCLUSIONES	133
RECOMENDACIONES.....	135
BIBLIOGRAFÍA.....	137
APÉNDICES	139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo minero	4
2.	Área de trabajo en mal estado	5
3.	Exceso de lodo en área de trabajo.....	6
4.	Tiempo de vida útil de neumáticos para camiones.....	11
5.	Dimensiones de equipo de bajo perfil AD30.....	19
6.	Dimensiones de equipo de bajo perfil AD30.....	19
7.	Dimensiones de <i>Scooptram</i> R1600.....	20
8.	Dimensiones de <i>Scooptram</i> R1600.....	20
9.	Roca de tamaño considerable en el suelo.....	26
10.	Neumático de <i>scooptram</i> cortado por una roca.....	26
11.	Medición de gradiente	36
12.	Plantilla de perforación de 4,00 m x 4,50 m	37
13.	Medición de la separación de la malla de perforación.....	37
14.	Paralelismo en perforación.....	38
15.	Desviaciones en el paralelismo	39
16.	Personal cargando frente de mineral	40
17.	Fuerzas resultantes del neumático.....	45
18.	Distancia entre radio de curvatura en túneles	47
19.	Material no detonado en el suelo	48
20.	Malla de perforación para túnel de sección 5 x 5 metros	49
21.	Vista lateral de malla de perforación para agujeros de 3,50 m.....	50
22.	Bomba extractora de agua	51
23.	Manguera que conecta a bomba extractora	52

24.	Aplicación de bach con <i>Scooptram</i>	54
25.	Carpeta de bach día 6.....	54
26.	Aplicación de bach seco con camión AD30	56
27.	Bach seco luego de ser aplicado	56
28.	Maquinaria en rodadura de bach seco.....	57
29.	Carpeta mejorada con bach seco	57
30.	Representación de carpeta de grava	59
31.	Carpeta de grava	60
32.	Área de trabajo con carpeta mejorada	60
33.	Diseño de carpeta de concreto hidráulico	64
34.	Costo real versus costo teórico de maquinaria	71
35.	Costo real al 75 por ciento de vida útil versus costo teórico de maquinaria	75
36.	Extracción de muestra	100
37.	Material previo a aplicarse porcentaje de agua.....	101
38.	Material uniformemente húmedo	102
39.	Material compactado a 25 golpes	102
40.	Material razado	103
41.	Preparación de material para ensayo CBR 10 golpes	103
42.	Preparación de probetas para correr el CBR	104
43.	Material previo a lavarse	105
44.	Lavado de material	105
45.	Colocación de material en tamices	106
46.	Curva peso unitario seco versus humedad relativa	110
47.	Curva porcentaje CBR versus porcentaje compactación.....	113
48.	Curva de distribución granulométrica por tamizado	115
49.	Curva peso unitario seco versus humedad relativa	117
50.	Curva porcentaje CBR versus porcentaje compactación.....	121
51.	Curva de distribución granulométrica por tamizado	123

52.	Capacitación de personal para lograr mayor eficiencia.....	128
53.	Cadena protectora en <i>Scooptram</i>	131

TABLAS

I.	Tiempo de ciclo de rezaga cámara 26 nivel de perforación	7
II.	Ciclo de entrada y salida cámara 26 nivel de perforación	8
III.	Tiempo de ciclo de rezaga cámara 3 nivel de acarreo.....	9
IV.	Tiempo de entrada y salida cámara 3 nivel de acarreo.....	10
V.	Zonas de aplicación para neumáticos.....	12
VI.	Cálculo de la producción por metro cúbico	14
VII.	Costo actual para una hora de rezaga	15
VIII.	Especificaciones de equipos pesados	18
IX.	Resistencia a la rodadura y a la adhesión	43
X.	Distancia máxima de frenado según peso	46
XI.	Desgaste de rodadura para concreto pobre.....	55
XII.	Abrasivo a utilizar.....	62
XIII.	Carga por eje camión AD30.....	62
XIV.	TPD medido en portal de entrada mina Marlin.....	63
XV.	Vida útil calculada de los neumáticos	70
XVI.	Costo real versus costo teórico de maquinaria	71
XVII.	Demostración de sobrecosto de maquinaria.....	73
XVIII.	Costo de neumáticos al 75 por ciento	74
XIX.	Demostración de sobrecosto de maquinaria al 75 por ciento	75
XX.	Diferencia costo actual versus costo al 75 por ciento de vida útil	76
XXI.	Medida de tiempos para una sección de 300 metros de bach	78
XXII.	Tiempo de entrada y salida cámara 3 nivel de acarreo.....	79
XXIII.	Estudio de carpeta de bach	80
XXIV.	Tiempo aproximado para realizar actividades.....	82

XXV.	Costo para carpeta de bach	82
XXVI.	Estudio de carpeta de grava sencilla	84
XXVII.	Tiempo aproximado para realizar actividades	86
XXVIII.	Costo para carpeta de grava sencilla	87
XXIX.	Estudio de carpeta de grava formal.....	89
XXX.	Tiempo aproximado para realizar actividades	91
XXXI.	Costo para carpeta de grava formal	93
XXXII.	Estudio de carpeta de concreto hidráulico.....	95
XXXIII.	Tiempo aproximado para realizar actividades	97
XXXIV.	Costo para carpeta de concreto hidráulico	98
XXXV.	Clasificación típica para el uso de diferentes materiales AASHTO T-193	104
XXXVI.	Peso unitario seco máximo y humedad óptima para suelo estéril	110
XXXVII.	Datos del ensayo de expansión para CBR.....	111
XXXVIII.	Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido.....	112
XXXIX.	Datos para construir curva porcentaje de CBR versus porcentaje de compactación.....	112
XL.	Análisis granulométrico por tamizado	114
XLI.	Resultado de límites de Atterberg	116
XLII.	Peso unitario seco máximo y humedad óptima para suelo mineral.....	117
XLIII.	Datos del ensayo de expansión para CBR.....	118
XLIV.	Datos de carga-penetración para el ensayo <i>CBR</i> sumergido.....	119
XLV.	Datos para construir curva porcentaje de CBR versus porcentaje de compactación.....	120
XLVI.	Análisis granulométrico por tamizado	122
XLVII.	Resultado de límites de Atterberg	124

XLVIII.	Sobrecosto actual	125
XLIX.	Sobrecosto al 75 por ciento de vida útil del neumático	125
L.	Costo por año para diferentes tipos de carpeta	125

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
CO	Costo de operación
CP	Costo de posesión
D	Depreciación
US\$	Dólares americanos
FC	Factor de carga
FI	Factor de indirectos
IP	Índice plástico
I	Interés de capital invertido
IMA	Inversión media anual
KN	Kilo Newton
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
lb	Libra
psi	Libra sobre pulgada cuadrada
LL	Límite líquido
CMR	Mantenimiento y reparación
Mpa	Mega Pascal
m	Metro
m²	Metro cuadrado
mm	Milímetro
mph	Millas por hora

PBM	Peso bruto de máquina
PUS	Peso unitario seco
%CBR	Porcentaje <i>California Bearing Ratio</i>
%C	Porcentaje de compactación
%H	Porcentaje de humedad
plg	Pulgadas
RR	Resistencia a la rodadura
RP	Resistencia a pendientes
ton	Tonelada
Va	Valor de adquisición
Vr	Valor de rescate
VEU	Vida económica útil

GLOSARIO

Acuñar	Eliminación de roca suelta o insegura en las paredes del túnel.
AD30	Camión de bajo perfil utilizado para transporte de material en minería.
Adhesión	Evita que los neumáticos resbalen en el camino.
Bach	Sobrenombre que recibe el concreto pobre en Mina Marlin.
Barreno	Agujero perforado en la roca para colocar explosivo.
Bolter	Equipo minero diseñada para fortificar los frentes que han sido detonados previamente.
Cámara	Labor de extracción de material mineral y de acceso a niveles de trabajo.
Carguío	Dícese al cargue de explosivos, o al cargue y transporte del material.
Explosivo	Sustancia que se transforma en gases en el momento que se autoabastece por una onda de choque.

Factor de carga	Cantidad de explosivo en kilogramos que se necesita para detonar un metro cúbico de material.
Fortificación	Colocación de mallas de acero a través de pernos en las paredes del túnel con suelo suelto.
Frente	Cara libre en una voladura, donde previamente es trazado y perforado.
Gradiente	Línea guía existente dentro del túnel para mantener la pendiente al ser trazada la malla de perforación.
Jumbo	Equipo minero diseñado para perforar los agujeros donde es colocado el explosivo.
LHD	Por sus siglas en inglés <i>Load Haul Dump</i> (Carguío, Transporte y Vaciado) es una de las maquinarias más usadas en la minería subterránea.
Licuefacción	Describe el comportamiento de suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa (carga), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido.
Malla de perforación	Esquema trazado en frente de trabajo para iniciar perforación.
Nivel de acarreo	Labor de extracción del material debido a una voladura en un nivel superior.

Nivel de perforación	Labor de perforación y detonación de material para ser rezagado en el nivel de acarreo.
Patero	Agujeros perforados en la parte inferior del frente.
Rezaga	Ciclo de acarreo y transporte del material en minería.
<i>Scooptram</i>	Cargador de bajo perfil diseñado exclusivamente para el trabajo subterráneo.
Veta	Yacimiento compuesto por un cuerpo mineral en forma alargada.
Voladura	Fragmentación y detonado de rocas a través del uso de explosivos.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación “Evaluación del rendimiento de diferentes tipos de rodaduras para la optimización del ciclo de acarreo y transporte del material en tunelería”, tiene como objetivo ser una guía para lograr una rezaga óptima con la que se obtenga el costo anual mínimo en la utilización de neumáticos en la maquinaria a través de la implementación de carpetas de rodadura dentro de la Mina Marlin ubicada en el municipio de San Miguel Ixtahuacán, departamento de San Marcos, Guatemala.

En el primer capítulo se desarrolla las generalidades del proceso que actualmente se utiliza para realizar el ciclo de acarreo y transporte del material en los frentes de trabajo designados a Grupo EMO, S.A., tomando como base los tiempos de rezaga con su respectivo costo.

El segundo capítulo describe todos aquellos factores que provocan que el ciclo de acarreo y transporte se vea afectado, tales como la metodología de carguío del frente o algo simple como es la influencia del agua en el área de trabajo.

En el tercer capítulo se muestra todos los ensayos de campo y de laboratorio aplicados para este tipo de estudio, así como también la descripción de las carpetas de rodadura propuestas con su respectivo cálculo de costos para su posterior comparación.

El cuarto capítulo resume los datos obtenidos a través del cálculo, partiendo de los resultados actuales hacia los que desean obtener, brindando alternativas para optimizar el ciclo de acarreo y transporte.

Todos los capítulos contienen una sección didáctica que permite al estudiante e ingeniero civil profundizar y aplicar en campo los métodos desarrollados para lograr la optimización en esta rama de la minería.

OBJETIVOS

General

Desarrollar procedimientos que definan un sistema que garantice la producción continua subterránea, para evitar tiempos muertos que provoque contratiempos, y en consecuencia costos no previstos.

Específicos

1. Guiar hacia una mejor ejecución los procedimientos que se realizan en el acarreo y transporte en un proyecto subterráneo.
2. Minimizar los errores en la asignación de flota en el acarreo y transporte de material de las construcciones subterráneas.
3. Comprobar la factibilidad en tiempo y costos de un buen sistema de rezaga.
4. Definir los métodos aplicables en la optimización del acarreo y transporte de material en construcciones subterráneas.

INTRODUCCIÓN

La complejidad que lleva una obra civil subterránea no puede ser comparada con cualquier construcción, debido a que ésta mantendrá siempre un frente compuesto por roca. Por tal motivo es necesario un estudio previo del estado del suelo, para tener una idea generalizada de los estratos que se encuentran en el lugar mientras se avanza linealmente.

Un método común para la extracción de roca es mediante el diseño de una malla de explosivos, definida por una topografía previa, barrenación con maquinaria para concluir con el cargue de explosivos. Debe considerarse que se emplean equipos especializados y costosos, así también que los explosivos son materiales de manejo delicado.

El avance lineal encarece notablemente el proceso, por atrasos en la carga y barrenación secundaria. Los caminos deben revestirse con material extraído previamente y tendido con tractor para luego ser compactada con rodos vibratorios, o fundir concreto hidráulico para contar con superficies planas en donde los pesados camiones puedan realizar el acarreo con eficiencia.

Si algún proceso es erróneo conlleva a una serie de problemas entre los cuales destaca los gastos imprevistos y la disminución del avance de la obra.

Este trabajo de graduación expone un tema considerado como poco trascendental, que mucho se ignora en Guatemala, el cual si fuese tomado en cuenta la obra se tornaría en un avance continuo sin mayores dificultades.

Por medio de esto, se pretende iniciar una cultura en la obra civil subterránea, para cualquier estudiante de ingeniería o profesional que se interese en el tema brindando puntos clave en aplicación de metodologías que permitan minimizar costos y aumente la producción continua dentro de un túnel.

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La investigación del presente trabajo ha sido desarrollada en Mina Marlin, propiedad de Montana Exploradora, ubicada en San Miguel Ixtahuacán departamento de San Marcos, Guatemala, en el área de trabajo asignada a la empresa denominada Grupo EMO, S.A., misma que entre sus especialidades cuenta con la construcción de obras subterráneas, y por ello se está trabajando en el diseño de carpetas de rodadura para los diferentes medios de transporte utilizados en esta actividad.

1.1.1. Antecedentes de la minería en el mundo

La minería subterránea existe desde el principio de la historia de la humanidad, pues se han encontrado restos de una mina de hematita con una antigüedad de unos 40 000 años en el cerro de Bomvu, Suiza, y de minas explotadas en torno al 15 000 antes de Cristo, de las que los hombres primitivos extraían sílex para fabricar sus herramientas y útiles.

Pero la minería como tal está muy ligada al cobre, que ya se explotaba mediante distintos métodos mineros. Desde entonces, la minería subterránea ha sufrido un gran desarrollo tecnológico, muchas veces unido a grandes avances de la ciencia, como la aparición de las máquinas de vapor o de la electricidad en el siglo XIX, que supusieron el comienzo de la mecanización de las labores mineras.

Estos avances no sólo no se detuvieron, sino que experimentaron su mayor impulso durante el siglo XX, y esta evolución de los equipos continúa en el siglo actual. La adquisición de los equipos suele rondar el 40-45 por ciento de los costes de capital de una mina y, de ellos, un gran porcentaje se destina a las operaciones de carga, transporte y extracción. Además, solo la carga y el transporte ocupan entre un 25 por ciento y un 45 por ciento del tiempo total de un relevo normal.

Por tanto, las operaciones de carga, transporte y extracción adquieren una gran relevancia en el ciclo minero, y de su rendimiento y buena organización depende en gran medida la producción. Esa organización, aunque indispensable para cualquier tipo de minería, es aún más necesaria, a la vez que más complicada, en minería de interior. La selección del sistema más adecuado y de los equipos idóneos para cada una de estas operaciones, así como el acoplamiento entre ellas, se convierte en un parámetro fundamental de optimización de una explotación minera.

1.1.2. Minería en Guatemala

Guatemala tiene un alto potencial de explotación de minerales metálicos y no metálicos por la alta variedad de materiales disponibles en su suelo, los cuales en su mayoría se encuentran inexplorados. Los principales se listan a continuación:

- Potencial minero no metálico: arcillas férricas, arenas y gravas, caliza, caolín, cuarzo, feldespato, filita, mármol, magnesita, serpentina y talco.
- Materiales de las minas no metálicos: barita, calcita, caliza, dolomita, feldespato, yeso, talco y azufre.

- Potencial minero metálico: cobre, níquel, cromo, cobalto, oro, plata, cinc y plomo.
- Minerales de las minas metálicos: antimonio, cobre, oro, hierro, plomo y titanio.

Estos minerales y rocas pueden ser procesados para conformar distintos materiales que son utilizados en otras industrias manufactureras y de construcción.

A pesar de que Guatemala no ha realizado suficiente investigación geológica para cuantificar y caracterizar sus recursos minerales, se conoce el potencial que posee debido a estudios realizados durante décadas.

1.1.3. Proyectos recientes

Se inician labores de exploración de los depósitos lateríticos de níquel en el departamento de Izabal, en 1957.

En 1960 se funda en Guatemala la empresa EXMIBAL cuyos derechos de exploración y explotación de níquel pertenecían a International Nickel Company of Canada (INCO).

En años posteriores Skye Resources adquirió EXMIBAL cambiándole el nombre a Compañía Guatemalteca de Níquel.

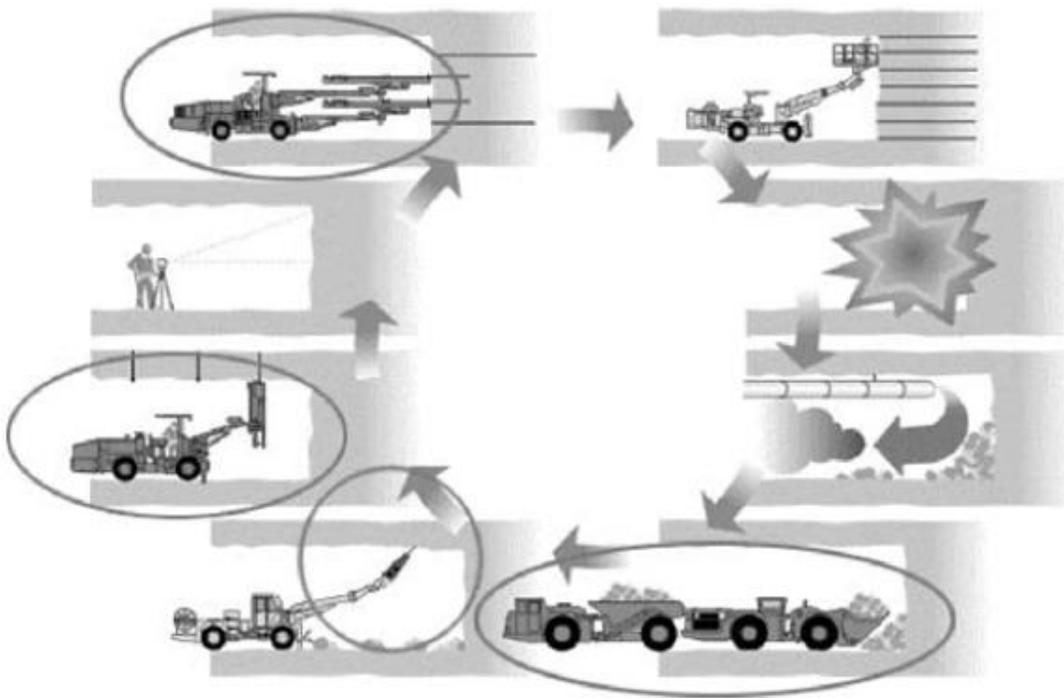
En 2003 la mina Marlin obtuvo su licencia para la explotación minera e inició funciones en octubre de 2005.

1.1.4. Área de trabajo de Grupo EMO, S.A., en la Mina Marlin

En Mina Marlin existen dos frentes de trabajo para la extracción de roca, la primera roca mineral y la segunda roca estéril.

La forma de extracción es en base a un ciclo repetitivo a través del uso de agentes explosivos como se muestra en la figura 1. Cuyo proceso inicia con trabajos de topografía, perforación para montaje de malla de explosión, colocación de explosivos, detonación, extracción del material producto de la explosión, eliminación de roca suelta o insegura en las paredes del túnel, concluyendo con la fortificación del área.

Figura 1. Ciclo minero



Fuente: DÍAZ AGUADO, María B. Carga, Transporte y Extracción en Minería Subterránea. p. 10.

Un problema muy frecuente es el desgaste de la maquinaria especialmente los camiones y cargadores de bajo perfil. Los mencionados tienden a desgastar sus neumáticos prematuramente, tanto así que no alcanzan muchas veces ni el 35 por ciento de su vida útil. Esto debido al mal mantenimiento de las carpetas de rodadura, que lo convierte también en un lugar poco agradable al trabajo, bajando el rendimiento del personal e incluso elevando el riesgo de un accidente debido al exceso de lodo y rocas de gran tamaño dispersas en el camino.

Figura 2. **Área de trabajo en mal estado**



Fuente: cámara 26 Nivel de perforación. Mina Marlin.

Figura 3. **Exceso de lodo en área de trabajo**



Fuente: cámara 3 Nivel de Acarreo. Mina Marlin.

Para lograr cambios positivos es necesario comenzar por hacer un estudio de los ciclos de trabajo para examinar la producción existente y sacar una conclusión del problema.

Para esto se tomó como lugar de prueba la cámara 26 nivel de perforación y la cámara 3 nivel de acarreo de Mina Marlin.

Para una mejor didáctica los costos que sean manejados en esta investigación, se realizarán en quetzales (Q), aclarando que todo trabajo referente a minería maneja la moneda estadounidense (US\$).

Tabla I. **Tiempo de ciclo de rezaga cámara 26 nivel de perforación**

Cámara 26 Nivel de perforación						
Distancia aproximada: 3,4 km						
No.	Tipo de vehículo	Tiempo de entrada	Tiempo de rezaga	Tiempo de salida	Tiempo de descarga	Tiempo total de ciclo
1	CAT AD30	0:06:50	0:09:42	0:11:07	0:05:10	0:32:49
2	CAT AD30	0:06:52	0:08:27	0:10:50	0:06:25	0:32:34
3	CAT AD30	0:07:20	0:08:28	0:10:51	0:05:14	0:31:53
4	CAT AD30	0:07:14	0:08:46	0:10:34	0:05:10	0:31:44
5	CAT AD30	0:06:31	0:06:16	0:10:05	0:05:12	0:28:04
6	CAT AD30	0:06:45	0:07:05	0:10:52	0:05:16	0:29:58
7	CAT AD30	0:06:43	0:07:54	0:11:10	0:05:20	0:31:07
8	CAT AD30	0:06:19	0:08:43	0:11:23	0:05:24	0:31:49
9	CAT AD30	0:06:55	0:09:32	0:11:09	0:05:28	0:33:04
10	CAT AD30	0:06:41	0:10:21	0:10:55	0:05:32	0:33:29
PROMEDIO		0:06:49	0:08:31	0:10:54	0:05:25	0:31:39

Fuente: elaboración propia. Conteo vehicular realizado en campo.

$$\frac{60 \text{ minutos/hora}}{\text{Tiempo de ciclo}} = \frac{60 \text{ minutos/hora}}{31,39 \text{ min/ciclo}} = 1,91 \text{ ciclos/h}$$

A continuación se omite el tiempo de rezaga, con el fin de establecer el tiempo neto en que el camión trabaja dentro del túnel.

Tabla II. **Ciclo de entrada y salida cámara 26 nivel de perforación**

No.	Tipo de vehículo	Tiempo de entrada	Tiempo de salida	Tiempo de descarga	Tiempo total de ciclo
1	CAT AD30	0:06:50	0:11:07	0:05:10	0:23:07
2	CAT AD30	0:06:52	0:10:50	0:06:25	0:24:07
3	CAT AD30	0:07:20	0:10:51	0:05:14	0:23:25
4	CAT AD30	0:07:14	0:10:34	0:05:10	0:22:58
5	CAT AD30	0:06:31	0:10:05	0:05:12	0:21:48
6	CAT AD30	0:06:45	0:10:52	0:05:16	0:22:53
7	CAT AD30	0:06:43	0:11:10	0:05:20	0:23:13
8	CAT AD30	0:06:19	0:11:23	0:05:24	0:23:06
9	CAT AD30	0:06:55	0:11:09	0:05:28	0:23:32
10	CAT AD30	0:06:41	0:10:55	0:05:32	0:23:08
	PROMEDIO	0:06:49	0:10:54	0:05:25	0:23:08

Fuente: elaboración propia. Conteo vehicular realizado en campo.

Se puede definir la producción normal como el ciclo donde no se considera el tiempo de demoras pero si se considera el tiempo de espera (tiempo donde una máquina se detiene, por ejemplo cuando un camión se detiene para cederle el paso a otro), en este caso se ha trabajado el tiempo como producción normal.

Tabla III. **Tiempo de ciclo de rezaga cámara 3 nivel de acarreo**

Cámara 3 Nivel de acarreo						
Distancia aproximada: 3,403 km						
No.	Tipo de vehículo	Tiempo de entrada	Tiempo de rezaga	Tiempo de salida	Tiempo de descarga	Tiempo total de ciclo
1	CAT AD30	0:06:50	0:09:15	0:11:08	0:05:45	0:32:58
2	CAT AD30	0:06:20	0:09:52	0:11:04	0:05:43	0:32:59
3	CAT AD30	0:06:40	0:09:28	0:11:21	0:05:14	0:32:43
4	CAT AD30	0:06:45	0:08:12	0:10:34	0:05:12	0:30:43
5	CAT AD30	0:06:31	0:08:56	0:11:45	0:05:16	0:32:28
6	CAT AD30	0:06:45	0:09:05	0:10:51	0:05:27	0:32:08
7	CAT AD30	0:07:01	0:09:14	0:11:37	0:05:38	0:33:30
8	CAT AD30	0:06:31	0:09:23	0:11:23	0:05:49	0:33:06
9	CAT AD30	0:06:45	0:09:32	0:11:09	0:06:00	0:33:26
PROMEDIO		0:06:41	0:09:13	0:11:12	0:05:34	0:32:40

Fuente: elaboración propia. Conteo vehicular realizado en campo.

$$\frac{60 \text{ minutos/hora}}{\text{Tiempo de ciclo}} = \frac{60 \text{ minutos/hora}}{32,40 \text{ min/ciclo}} = 1,85 \text{ ciclos/h}$$

Tabla IV. **Tiempo de entrada y salida cámara 3 nivel de acarreo**

No.	Tiempo de entrada	Tiempo de salida	Tiempo de descarga	Tiempo total de ciclo
1	0:06:50	0:11:08	0:05:45	0:23:43
2	0:06:20	0:11:04	0:05:43	0:23:07
3	0:06:40	0:11:21	0:05:14	0:23:15
4	0:06:45	0:10:34	0:05:12	0:22:31
5	0:06:31	0:11:45	0:05:16	0:23:32
6	0:06:45	0:10:51	0:05:27	0:23:03
7	0:07:01	0:11:37	0:05:38	0:24:16
8	0:06:31	0:11:23	0:05:49	0:23:43
9	0:06:45	0:11:09	0:06:00	0:23:54
PROMEDIO	0:06:41	0:11:12	0:05:34	0:23:27

Fuente: elaboración propia. Conteo vehicular realizado en campo.

Estos ciclos generan un costo de acarreo por metro cúbico aproximado de Q. 125,00. Un valor alto que se deriva de una mala área de trabajo, afectando mayormente a la maquinaria.

El costo de los neumáticos es una parte importante del valor hora/máquina. La mejor estimación de este rubro se obtiene cuando el período de la vida útil del neumático es rentable y el mismo está basado en la experiencia.

Figura 4. **Tiempo de vida útil de neumáticos para camiones**



Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar Inc. Edición 30. Capítulo 22. p. 31.

La figura 4 muestra 3 zonas de aplicación las cuales dependerán del terreno donde el neumático recorra constantemente.

Tabla V. **Zonas de aplicación para neumáticos**

Zona	Descripción
A	Casi todos los neumáticos se desgastan hasta la banda de rodadura debido a la abrasión
B	Algunos neumáticos se desgastan normalmente pero otros sufren fallos prematuros debido a cortes por rocas, impactos y pinchazos irreparables
C	Pocos o ninguno de los neumáticos se desgastan hasta la banda de rodadura debido a daños irreparables, generalmente debido a cortes por rocas, impactos y continua sobrecarga

Fuente: Manual de rendimiento, Caterpillar Inc. Edición 30. Capítulo 22. p. 31

El desgaste actual de los neumáticos se encuentra en la zona C, esto debido a que éstos no sobrepasan las 1 200 horas.

El costo actual por metro cúbico se encuentra entre los Q. 125,00 a Q. 156,00 dependiendo de los ciclos por hora que se realicen.

Para el caso en estudio queda de la siguiente forma:

$$\text{Capacidad de carga} = \frac{\text{Capacidad (ton)}}{\text{Densidad } \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right)} = \frac{30 \text{ ton}}{2,43 \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right)} = 12,34 \text{ m}^3$$

$$\text{F. C.} = \text{Factor de carga} = 0,80$$

$$\text{Carga estimada} = \text{Capacidad (m}^3\text{)} \times \text{F. C} = (12,34\text{m}^3)(0,80) = 9,87\text{m}^3$$

$$\text{Producción por unidad en cada hora} = \text{Carga estimada (m}^3\text{)} \times \frac{\text{Ciclo}}{\text{hora}}$$

$$\text{Producción por unidad en cada hora} = 9,87\text{m}^3 \times 1,85 = 18,26 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

$$\text{Producción por flota} = (\text{Producción por unidad en cada hora}) \times (\text{No. de camiones})$$

$$\text{Producción por flota} = \left(18,26 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}\right) \times (2) = 36,52 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Entonces el costo por metro cúbico queda de la siguiente forma:

$$\text{Costo de m}^3 = \frac{\text{Costo total/hora}}{\text{Producción/hora}} = \frac{\text{Q } 4\,914,00}{36,52 \text{ m}^3/\text{hora}} = \text{Q } 134,56 \text{ m}^3$$

Donde Q. 4 914,00 equivale a dos camiones de \$. 150,00 y dos *scooptram* de \$. 165,00.

Tabla VI. **Cálculo de la producción por metro cúbico**

Densidad de roca	2,4328	ton/m ³
Capacidad de carga de camión	30 000	Kg
Capacidad de carga de camión	12,34	m ³
Factor de carga	0,8	
Carga estimada	9,87	m ³
Producción por unidad en cada hora	18,26	m ³ /h
Producción de la flota por hora	36,52	m ³ /h

Fuente: elaboración propia.

Este rendimiento incluye dos camiones y dos cargadores de bajo perfil con sus respectivos operadores.

Si la distancia de la entrada al punto de trabajo es de 3,403 kilómetros, entonces para un ciclo completo (entrada y salida) la distancia será de 6,81 kilómetros.

Tabla VII. **Costo actual para una hora de rezaga**

Tarea	Cantidad	Unidad	Costo	Total
Rezaga	36,52	m ³	Q. 134,56	Q. 4 914,13
Seguridad Industrial	4	Global	Q. 3,28	Q. 13,10
Subtotal				Q. 4 927,53
F.I. (30%)				Q. 1 478,26
Imprevistos (5%)				Q. 246,37
Total				Q. 6 652,16

Fuente: elaboración propia.

Con los datos anteriores el costo del kilómetro recorrido quedará de la siguiente forma:

$$\text{Costo por kilómetro} = \frac{\text{Costo hora de rezaga}}{(\text{Distancia}) \left(\frac{\text{Ciclo}}{\text{Hora}} \right)} = \frac{\text{Q } 6\,652,16}{(6,81 \text{ km}) \left(\frac{1,82}{\text{Hora}} \right)} = \text{Q. } 536,72$$

El reto de la minería del futuro es continuar disminuyendo costes y consumos, así como mejorando rendimientos y productividad de todas las operaciones mineras en general y del sistema acoplado carga-transporte-extracción en particular.

Antes de proceder a describir estas tres operaciones es importante situarlas en el contexto del ciclo básico minero o ciclo de avance, pues van muy ligadas a la producción y, por ello, al avance y al arranque.

1.2. Justificación

Guatemala recién comienza a estructurar una metodología de trabajo en el ámbito de la construcción de túneles, por lo cual crea incertezas en la ejecución de un proyecto a gran escala. De esta manera se provocan pérdidas en dinero y tiempo, desacreditando la capacidad del ente constructor.

Descartando un mínimo detalle podría desorientar el rumbo de ejecución, por tanto es de gran importancia como constructor subterráneo tener un amplio criterio en la toma de decisiones rápidas para hacer del proyecto una obra realizada a tiempo en bajo costo y de máxima calidad.

1.3. Planteamiento del problema

Existe poco conocimiento de obras civiles para explotación minera en Guatemala, por lo cual desde un inicio se torna costoso el proyecto debido a la mano de obra extranjera que se busca para la solución del problema.

Al inicio de la obra se lleva un ciclo constante que hace que la obra avance rápidamente, pero al paso del tiempo cuando se lleva una buena cantidad de metros recorridos la situación cambia y comienza a existir poca producción y problemas de retiro de material. Esto se debe a que comúnmente se olvida la colocación de sistemas preventivos que haga que el camino de acceso hacia el estrato a extraer o explotar sea más funcional.

Tomando en cuenta que en este tipo de construcciones el tiempo y la inversión juegan un papel importante, se trata de evitar detenerse a aplicar algún tipo de material que garantice el fácil acceso, pensando erróneamente que será un gasto y tiempo perdido.

Esto al final detiene la obra, porque el tiempo de trabajo se reduce, la extracción de material incrementa considerablemente su costo debido al desgaste prematuro en la maquinaria, restándole rentabilidad al proyecto.

Por tal motivo el profesional debe tomar en cuenta todos los aspectos que influirán en el transcurso del avance en un túnel, haciendo buen manejo de costos que dependerán de ello el éxito del proyecto.

1.4. Marco teórico

Los trabajos de minería están constituidos por diferentes aspectos y diseños, los cuales deben cumplir con los requerimientos mínimos que la compañía contratista desee, buscando la mejor solución al menor costo.

1.4.1. Maquinaria utilizada en obras subterráneas para explotación minera

Los túneles disponen de un grado de mecanización cada vez mayor. Características comunes a todas las máquinas de funcionamiento subterráneo son la articulación sobre ruedas de goma, el uso de motores diesel y la tracción en las cuatro ruedas.

Los camiones mineros se utilizan para el transporte de materiales en minería subterránea. Son vehículos especialmente diseñados para labores de transporte en este tipo de actividad, es decir, en la industria minera.

Se distinguen por su capacidad de transporte y por sus bajas dimensiones. Son comunes los camiones Caterpillar AD30 y los cargadores de bajo perfil *Scooptram*. Todos éstos mantienen las mismas características:

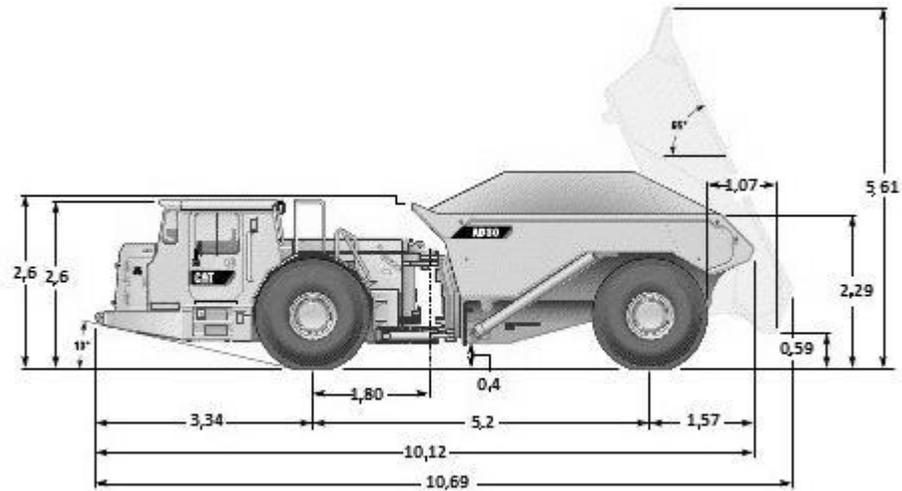
- Son equipos diesel o eléctricos.
- Cuentan con articulación central.
- El precio de adquisición es mayor que los camiones convencionales de carretera, y el mismo es elevado.
- Vida útil típica es 5 años.

Tabla VIII. **Especificaciones de equipos pesados**

Equipo	Especificación	Capacidades (ton)			Medidas (m)			Volumen m ³
		Carga útil	Peso bruto	Peso Máximo	Largo	Ancho	Alto	
Caterpillar AD30	Bajo perfil articulado	30	30	60	10,12	2,69	2,60	12
Caterpillar AD45	Bajo perfil articulado	45	40	85	11,19	3,00	3,61	18
Caterpillar AD55	Bajo perfil articulado	55	47	102	12,04	3,35	3,85	26,9
Caterpillar 730	Articulado	28,12	22,85	50,97	9,92	2,88	3,44	16,89
Scooptram R1300	Cargador bajo perfil	6,60	20	26,60	8,66	2,01	2	2,80
Scooptram R1600	Cargador bajo perfil	9,24	29,80	39,04	9,71	2,66	2,40	4,20
Scooptram R1700	Cargador bajo perfil	10,22	36	46,22	10,44	2,82	2,63	4,60

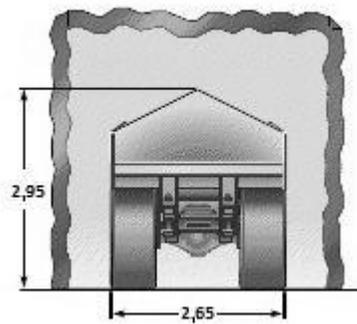
Fuente: Manual de especificaciones Caterpillar AD30.

Figura 5. Dimensiones de equipo de bajo perfil AD30



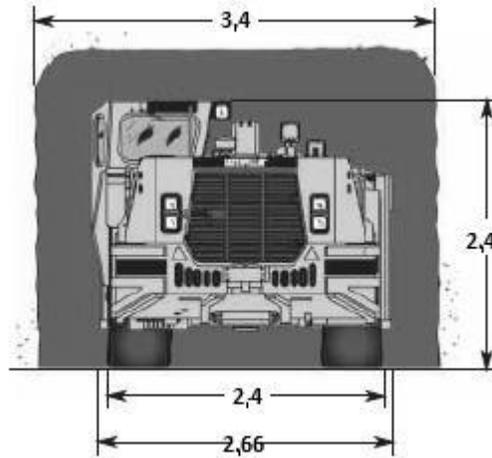
Fuente: Manual de especificaciones Caterpillar AD30.

Figura 6. Dimensiones de equipo de bajo perfil AD30



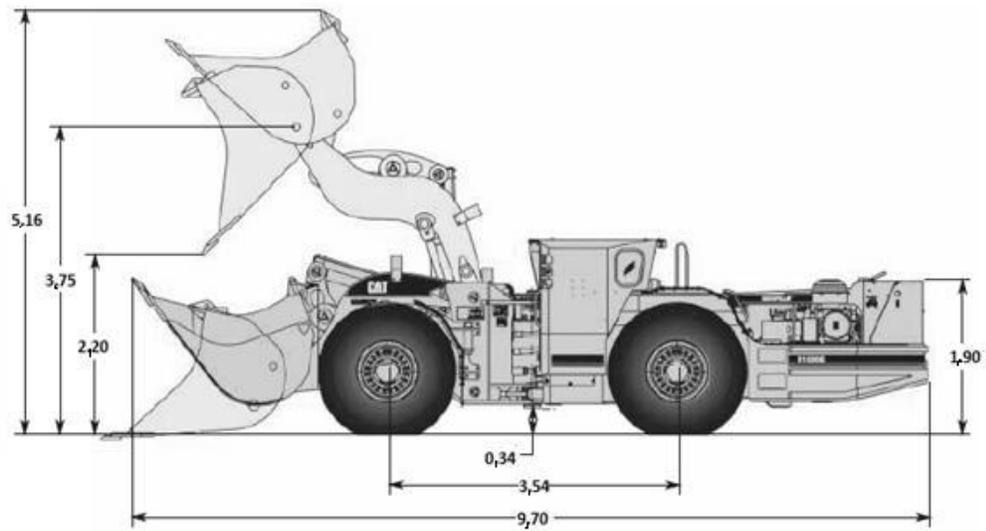
Fuente: Manual de especificaciones Caterpillar AD30.

Figura 7. **Dimensiones de Scooptram R1600**



Fuente: Manual de especificaciones Caterpillar Scooptram R1600.

Figura 8. **Dimensiones de Scooptram R1600**



Fuente: Manual de especificaciones Scooptram R1600.

1.4.2. Curvas de desempeño de camiones

Las curvas de desempeño nos indican dada la condición del camino la velocidad máxima que puede alcanzar el camión tanto en subida-bajada-plano desde el punto de vista del equipo.

En un camino en subida y horizontal el motor debe vencer las fuerzas de fricción entre el área de rodadura y los neumáticos.

En un camino en pendiente negativa el camión tiene que ejercer un cierto freno para mantenerse a una velocidad prudente.

1.4.3. Consideraciones para el diseño de carpetas de rodadura

El diseño, construcción y manejo de los caminos mineros se ha desarrollado en base a los requerimientos de los operadores para tener sistemas de transporte más seguros y eficientes para contar con un ambiente operacional más predecible, controlable y durable.

Se debe tomar en cuenta que hoy en día existen deficiencias en el diseño de carpetas de rodadura, dejando en evidencia la resistencia baja al deslizamiento y piedras grandes en el camino.

1.4.4. Consideraciones para una economía desconocida

Cuando se habla de una inversión alta inicial en situaciones económicas inciertas, las decisiones se analizan minuciosamente debido a no tener un panorama claro de cómo serán los resultados.

Sin embargo un diseño bien planificado a largo plazo, reditúa mejores eficiencias y operaciones más seguras. El foco de este proceso de evaluación en desarrollo recaerá en las operaciones de transporte de carga, sencillamente en virtud de su contribución al costo total de las operaciones.

Aunque el resultado final, mejor eficiencia y menor costo por tonelada transportada, no es el único problema, también es la ruta y el proceso que se sigue para lograr estos ahorros, lo que debe ser manejado cuidadosamente. Para eliminar defectos críticos de seguridad, es clave comprender cómo se diseña un camino, y fundamentalmente, la relación entre un buen diseño y un transporte seguro y rentable.

Los costos de diseño y construcción para la mayoría de los caminos de transporte representan solamente una pequeña proporción de los costos de mantenimiento y operación totales de la mina durante su vida útil. A pesar que es posible construir un camino de transporte minero que no requiera mantenimiento durante su vida útil, aquello sería excesivamente caro. Por otra parte, un camino de construcción barata sería caro de operar, en términos de costos de operación de los camiones y mantenimiento del camino.

El diseño de una camino de transporte es un componente fundamental de una operación en minas de superficie y subterráneas. La mayoría de los operadores en las minas están de acuerdo en que existe una fuerte relación entre caminos bien contruidos y mantenidos, y operaciones mineras eficientes y seguras.

Las grandes mineras de superficie generalmente incorporan altos estándares para trabajo en diseño de caminos en todo el plan minero. El resultado normalmente es una carretera bien construida que es segura de

operar y fácil de mantener. Esta situación puede ser bastante diferente en el caso de operaciones mineras en superficie o subterráneas más pequeñas, donde se usan pocos vehículos para transportar material o los volúmenes de tráfico son comparativamente bajos.

Las faenas más grandes normalmente exhiben una filosofía de gestión más sólida y mejor definida en la que a menudo se le da una consideración especial a la construcción y a la mantención de los caminos de transporte, mientras que las faenas más pequeñas, debido a su tamaño, generalmente operan sin una gestión tan amplia.

1.4.5. Diseño de rodaduras para transporte

El diseño de un camino de transporte seguro y eficiente sólo se puede lograr a través de un enfoque de diseño integrado. Si un componente del diseño es deficiente, los otros componentes no funcionarán a su máximo potencial y muchas veces se comprometerá la seguridad y el buen funcionamiento del camino. En la mayoría de los casos estos se verán como caminos funcionalmente inadecuados o inseguros y requerirán de un programa intenso de mantenimiento, mismo que con el tiempo es caro y comúnmente con una alta resistencia a la rodadura. Esta combinación de circunstancias se traduce en caminos riesgosos de baja productividad y alto costo de operación.

Para un mal diseño, el remedio no es necesariamente mantenimiento más frecuente; tiempos de ciclo más rápidos, mejores hábitos de conducción, etcétera. Ya que ningún programa de mantenimiento podrá corregir un camino como éste. Un determinado recorrido para reducir los tiempos de ciclo podría comprometer la seguridad; mientras el entrenamiento del conductor depende en gran medida de cuán bien éste lee y se anticipa a la condiciones del camino.

Las diferentes temáticas que deben ser abordadas en un diseño de camino para transporte son:

- El diseño geométrico es comúnmente el punto de partida para todo diseño de este tipo de camino y se refiere al trazado y la alineación del camino, tanto en el plano horizontal (radio de curva) como vertical (pendiente, descenso, gradientes de rampa, caída transversal), distancias de detención, distancias visibles, trazado de uniones, dentro de los límites impuestos por el método minero.
- El objetivo final es producir un diseño óptimamente eficiente y de geometría segura. Ya existe gran cantidad de datos correspondientes a buenas prácticas de ingeniería en diseño de geometría, suficiente para decir que un diseño óptimamente seguro y eficiente sólo se puede lograr cuando se aplican sólidos principios de diseño geométrico junto con los diseños de mantención, estructurales y funcionales óptimos.
- El diseño estructural, el cual proporcionará a los caminos la resistencia para transportar las cargas impuestas durante el período de la vida útil del camino sin necesidad de mantención excesiva, causada por la deformación de una o más capas en el camino en la mayoría de los casos materiales blandos o mojados in situ debajo de la superficie del camino.
- El diseño funcional, centrado en la selección de materiales de la carpeta asfáltica (o de recubrimiento) donde se requiere la selección, aplicación y estrategia de mantención más apropiadas, esto para maximizar la resistencia a la rodadura y la formación de defectos en la superficie del camino.

- El diseño del mantenimiento que identifica la frecuencia óptima de corrección para cada sección del camino se puede planificar, programar y priorizar para lograr el óptimo funcionamiento de éste y los mínimos costos totales (operación de los vehículos y mantención del camino). Esto es particularmente importante cuando los recursos para el mantenimiento del camino son limitados y deben ser usados para que den el mejor efecto.

1.4.6. Mantenimiento de carpetas

La mantención de carpetas abarca diferentes aspectos, logrando en todos ellos un óptimo funcionamiento, pudiendo mencionar algunos como:

- Mejora en la seguridad para el trabajador.
- Los costos de la maquinaria se reducen y las productividades aumentan debido a:
 - Reducción del desgaste de neumáticos.
 - Reducción en el desgaste de la articulación central del LHD.
 - Reducción en el tiempo de viaje de equipos.
 - Reducción en el número de impacto laterales de las máquinas lo que afecta tanto al equipo pesado como a los pilares en las galerías.
- Mejor ambiente de trabajo y por lo tanto en las eficiencias del personal.

Figura 9. **Roca de tamaño considerable en el suelo**



Fuente: rampa 4. Mina Marlin.

La figura 10 muestra el tamaño de roca que se encuentra en la rodadura, lo cual afecta en gran consideración el área de trabajo, especialmente para los camiones Caterpillar AD30 que frecuentan su paso por el lugar.

Figura 10. **Neumático de *scooptram* cortado por una roca**



Fuente: portal de entrada. Mina Marlin.

Por este tipo de problemas que ocasiona el camino de acceso a la mina a los diferentes tipos de vehículos que ingresan a la misma, es que se justifica mejora la rodadura ya que con ello se evitará la pérdida de los neumáticos y se logrará optimizar el tiempo de vida útil de los mismos.

Todas ellas afectan el rendimiento y costos de operación de equipos de carguío. La experiencia en el tema del diseño de mezclas asfálticas, abarca tres rubros: la selección de materiales, el ajuste de la combinación de agregados y la determinación del óptimo contenido de bitumen. Al respecto, no existe consenso aún con relación a los criterios más convenientes a emplear en cada uno de estos temas, por lo tanto, lo que se refiere a continuación es una recopilación de las recomendaciones más empleadas.

1.4.7. Tipos de rodaduras utilizadas en túneles

A diferencia de la minería a cielo abierto, la cual maneja diferentes tipos de rodadura (concreto, asfalto, etcétera), en minería subterránea es necesario un estudio que mejore en el menor tiempo posible las actividades dentro del túnel.

1.4.7.1. Grava

En el caso de las carpetas de rodaduras granulares, en que no existen grandes alternativas técnicas de cuando y como intervenir, la estrategia que optimizará los recursos consistirá en seleccionar la carpeta que mejor se adapte a las condiciones propias del lugar. Ello implica definir espesores y propiedades de los materiales por colocar.

Cuando se mantiene adecuadamente se obtienen un alto coeficiente de adhesión con baja resistencia a la rodadura. Algunas de sus ventajas son:

- Bajo costo
- Construcción rápida
- Alternativa cuando la ruta tendrá un uso limitado
- Subbase, y base se pueden construir de material selecto

1.4.7.2. Concreto pobre

El principal uso del concreto pobre es rellenar los llamados tiros largos, pero en ocasiones es utilizado como carpeta de rodadura. Su dosificación de 3:1:1 lo convierte en un mecanismo poco resistente por lo cual se debe dar un mantenimiento continuo.

1.4.7.3. Hormigón

El principal uso, que se le da a los hormigones en túneles, es para confeccionar obras de pavimentación (carpetas de concreto hidráulico), pero realizar este tipo de obras en el interior de una mina subterránea, puede parecer en principio innecesario o poco rentable, esto es debido a que:

En primer lugar, el suelo rocoso proporciona una excelente base de apoyo, y realizando algunos trabajos de nivelación, se podrían obtener una carpeta de rodado aceptable para los vehículos mineros.

En segundo lugar, el tiempo promedio que toma la exploración de un sector de producción minero muchas veces es relativamente bajo, comparado con la de los pavimentos carreteros que es aproximadamente de 20 años en el caso del concreto hidráulico.

De acuerdo a lo anterior se podría pensar que el beneficio a obtener no es tan grande, sin embargo, hay que tener en cuenta algunos aspectos como:

- La metodología empleada en la extracción del material.
- Tipo de equipo utilizado en el transporte y carguío de éste.
- Costos por la mantención y reparación de los equipos LHD (carguío, transporte y vaciado según sus siglas en inglés).
- Pérdidas de rendimiento en equipos y en el personal por condiciones de trabajo deficiente.

Pero para saber si conviene una rodadura de concreto hidráulico se deben tener en cuenta algunas limitaciones en el interior de un túnel cualquiera:

- Espacios reducidos: las galerías de un túnel son de forma abovedada y sus dimensiones responden a los métodos de extracción y tipo de equipo utilizado, por esta razón, el espacio disponible en la mina, no es el más adecuado para realizar obras de pavimentación con equipos tradicionales.
- Tiempo de construcción limitado (sectores en producción): la ejecución de las obras de hormigonado interrumpen las tareas propias del túnel, lo

cual tiene un costo asociado a la pérdida de eficiencia en la producción, por eso, el tiempo de colocación del hormigón debe ser el menor posible.

- Condiciones agresivas para el hormigón: si se producen filtraciones de agua en el interior del túnel, dependiendo del volumen de escurrimiento, pueden producirse algunos problemas, tales como la socavación de bases de apoyo de la carpeta, formación de sustancias químicas como sulfatos, ácidos, cloruros, etcétera, que pueden ser altamente dañinas para el hormigón.
- Falta de iluminación natural: por tratarse de un túnel, la ejecución de colocación del hormigón, deben llevarse a cabo con el auxilio de luz artificial, lo cual también introducen dificultades a los trabajos de construcción. Esto no afecta al concreto hidráulico si se diseña una buena y adecuada mezcla con los aditivos adecuados.
- Cargas de diseño: en el caso de los equipos de minería, estructuralmente fuertes y con una capacidad de carga relativamente grande, las cargas de diseño son bastante superiores a las normalmente consideradas para otros hormigones.

1.4.7.4. Concreto seco

Es un método poco común, pero con la práctica se ha ido perfeccionando. Utilizado en lugares donde existe demasiada humedad en el suelo; consiste en mezclar cemento con agregado sin aplicarle agua, para que a la hora de colocarlo se active con la humedad. Esta carpeta funciona al instante, y dura aproximadamente dos semanas,

antes de darle mantenimiento. Esto se debe a que no se utiliza el equipo indicado para aplicar la carpeta.

1.4.7.5. Balasto

Es un material clasificado que se coloca sobre la subrasante terminada de una carretera, con el objeto de protegerla, así como que funcione también de superficie de rodadura. Es una mezcla de arena con algo de polvo para poder compactarlo, humedeciéndolo adecuadamente, el problema es que si no se humedece periódicamente este genera la producción de nubes de polvo con el tránsito, existen bancos naturales de este material solo se extraen con retroexcavadora. En dado caso no se cuente con éstos bancos el balasto deberá proceder de:

- Extracción de rocas de cantera, seguida de machaqueo, cribado y clasificación, con o sin posterior tratamiento industrial que implique una modificación térmica o de otro tipo.
- Las rocas para extracción del balasto serán de naturaleza silíceas y, preferentemente, de origen ígneo o metamórfico. Por tanto no se admitirán las de naturaleza caliza ni dolomítica.
- El balasto no podrá contener fragmentos de: madera, materia orgánica, metales, plásticos, rocas alterables, ni de materiales tixotrópicos, expansivos, solubles, putrescibles, combustibles ni polucionantes (desechos industriales).

Básicamente funcionará como una carpeta de grava, por sus características similares.

1.4.7.6. Asfalto

Es muy poco común, casi nula su aplicación, debido a que el asfalto produce muchos agentes tóxicos, aplicarla en un lugar confinado produciría asfixia en el personal de trabajo.

La obra consiste en la construcción de una base de material granular, tal que permita nivelar las irregularidades propias del piso de roca, sobre esta base o carpeta nivelada se disponen mantas geotextiles, las cuales cumplen la función de uniformar la capacidad de soporte de la base y al mismo tiempo evitar el socavamiento de ésta, por la acción de las abundantes aguas infiltradas. Sobre las mantas de geotextiles se construye una carpeta asfáltica con mezcla de planta en caliente y cuyo espesor podría ser entre 15 a 20 centímetros.

Según antecedentes disponibles sobre el comportamiento de este pavimento (Mina El Teniente, Chile), se ha podido observar que no tiene problemas con la presencia de agua químicamente agresiva, sin embargo, después de cuatro meses de su puesta en servicio, si presenta problemas serios de desgaste, por la acción abrasiva de las ruedas de la maquinaria. Aun más, en las zonas de carguío o puntos de extracción, fue necesario efectuar un recapado de la carpeta asfáltica debido al acelerado proceso de desgaste que se produce en dichas zonas.

De acuerdo con lo manifestado, este pavimento podría ser una solución al problema, por su inmunidad frente al ataque de químicos, de las aguas de la mina, pero por otro lado, requiere una constante mantención, se piensa que para realizar estos trabajos de conservación, es necesario contar con

maquinaria, la cual junto con el asfalto deben ser traídos desde el exterior de la mina.

1.4.7.7. Otras alternativas

Si no se desea colocar una carpeta de rodadura se puede recurrir a aplicar un estabilizador de origen natural, que se obtiene de la mezcla de cloruro de sodio y materiales limo-arcillosos y que actúa produciendo una cementación, que aumenta la capacidad de soporte, la cohesión y la impermeabilización del suelo.

2. FACTORES QUE AFECTAN EL COSTO DEL CICLO DE ACARREO Y TRANSPORTE

2.1. Capacidad del balde

La maquinaria de bajo perfil utilizada en tunelería tiene una capacidad límite que recomiendan los fabricantes en sus baldes de carga, en el cual el operador, no siempre cumple con esto. Debido a este factor el material que se está acarreando comienza a quedar esparcido en el suelo y se convierte en una amenaza para los neumáticos de todo el equipo que esté trabajando cerca del área.

2.2. Metodología de carguío

El caso estudiado es afectado mayormente por una mala metodología de carguío. Debe de seguirse un estricto control de cada tarea previo a ésta.

2.2.1. Gradiente

El gradiente no es más que la línea que indica la continuidad de la pendiente. Si ésta no es medida de buena forma técnicamente provocará error en las siguientes labores.

Figura 11. **Medición de gradiente**



Fuente: cámara 3 nivel de acarreo. Mina Marlin.

2.2.2. Trazo de malla

Luego de que se indica el gradiente, se procede a trazar la malla de perforación. Tiene que ser corroborada por el supervisor de turno ya que si un agujero sobrepasa la separación máxima ó está demasiado cerca del siguiente, el explosivo no reaccionará de forma normal, provocando que la roca no se detone correctamente.

Figura 12. **Plantilla de perforación de 4,00 m x 4,50 m**



Fuente: cámara 3 nivel de acarreo. Mina Marlin.

Figura 13. **Medición de la separación de la malla de perforación**



Fuente: cámara 3 nivel de acarreo. Mina Marlin.

2.2.3. Perforación

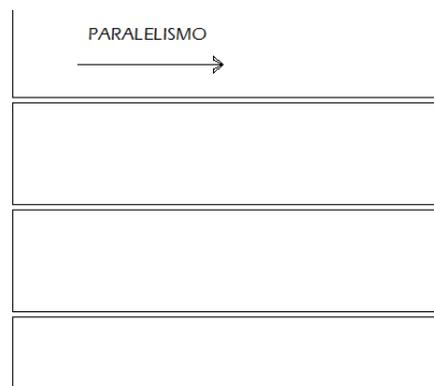
El principio de la perforación se basa en el efecto mecánico de percusión y rotación, cuya acción de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca.

Su propósito es abrir en la roca agujeros cilíndricos denominados taladros y están destinados a alojar a los explosivos y sus accesorios iniciadores.

Para lograr una buena perforación dependerá en gran parte del operador, ya que éste deberá mantener el paralelismo del taladro. En muchas ocasiones los agujeros no tienen el mismo ángulo de inclinación lo que provoca a la hora de la voladura, agujeros en el piso.

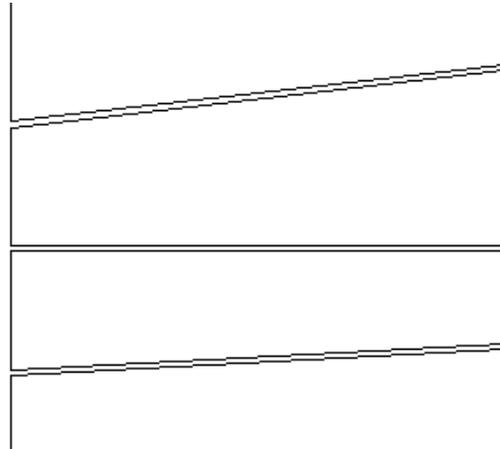
Esto es posible colocando un guiador en el primer agujero perforado, para que el operador pueda maniobrar el taladro con el mismo ángulo en los agujeros restantes.

Figura 14. **Paralelismo en perforación**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

Figura 15. **Desviaciones en el paralelismo**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

2.2.4. Cargue de explosivos

Es la última fase antes de detonar el frente. Debe de realizarse de forma ordenada, para lo cual el experto en explosivos indicará la secuencia a seguir.

Se debe de manejar un factor carga considerable, el cual permita detonar la roca de la mejor manera.

Si se maneja un factor muy alto provocará sobre-excavación, creando así hoyos en el piso. Por tal motivo es necesario realizar de manera responsable la tarea desde el inicio, porque cualquier trabajo mal hecho representará pérdida de dinero.

Figura 16. **Personal cargando frente de mineral**



Fuente: cámara 3 nivel de acarreo. Mina Marlin.

2.3. Pendiente de rutas de transporte

En el ámbito de la tunelería los caminos suelen mantener pendientes para darle seguimiento a las vetas de mineral. Comúnmente éstas se encuentran entre el 0 por ciento al 15 por ciento.

2.3.1. Resistencia en pendientes

Es la fuerza que debe vencer la maquinaria en pendientes desfavorables (cuesta arriba). En cambio la ayuda en pendientes es la fuerza que favorece el movimiento de una máquina en pendientes favorables (cuesta abajo).

En la resistencia a pendientes cuesta arriba el porcentaje va precedido por el signo positivo (+), y la ayuda en pendientes por el signo negativo (-).

En toda pendiente adversa, cada tonelada del peso de la máquina crea una resistencia adicional de 10 kilogramos (aproximadamente 20 libras) por cada 1 por ciento de inclinación. Esta relación sirve de base para calcular el Factor de Resistencia en Pendientes el cual se expresa en kilogramos/tonelada métrica:

$$\text{Factor de Resistencia en Pendientes (RP)} = \frac{10\text{kg}}{\text{ton}} \times \text{Inclinación (\%)}$$

La resistencia en pendientes se obtiene multiplicando el Factor de Resistencia en Pendientes por el peso bruto de la máquina (PBM) en toneladas métricas:

$$\text{Resistencia en Pendientes} = \text{Factor de Resist. en pendientes} \times \text{PBM (ton)}$$

La resistencia en pendientes se calcula también expresándola como un porcentaje del peso bruto. Este método se basa en que la resistencia en pendientes es más o menos igual al 1 por ciento del peso bruto de la máquina multiplicado por el porcentaje de inclinación.

$$\text{Resistencia en Pendientes} = 1\% \text{ del PBM} \times \% \text{ de inclinación}$$

El efecto combinado en la resistencia a la rodadura y la resistencia en pendientes se denomina Resistencia Total. Se calcula sumando los valores en kilogramos fuerza, de la resistencia de rodadura (RR) y la resistencia en pendientes (RP).

$$\text{Resistencia Total} = \text{Resistencia a la Rodadura} + \text{Resistencia a la pendiente}$$

La resistencia total también se puede representar como constituida totalmente por resistencia en pendientes expresada en porcentaje de pendiente. Quiere decir que el componente de resistencia a la rodadura se considera como una cantidad correspondiente de resistencia adicional en pendiente inversa.

2.3.2. Resistencia a la rodadura

Se define como la capacidad de carga sin perder su forma de la vía por donde el camión rueda sus neumáticos y penetra la rodadura.

Ésta se expresa de la siguiente manera:

$$RR (\%) = P_{\text{equipo}}(0,02 + (0,006)(C_{\text{penetración}}))$$

Donde:

RR = Resistencia a la rodadura

P_{equipo} = Peso de equipo

$C_{\text{penetración}}$ = Centímetros de penetración

Tabla IX. **Resistencia a la rodadura y a la adhesión**

Tipo de superficie	Coefficiente de adhesión(aprox.)	Resistencia a la rodadura en libras por tonelada (aprox.)
Cemento, asfalto, suelo cemento	0,8	40
Rellenos de grava, escorias o piedra triturada	07	60
Rellenos moderados de grava, escorias o piedra triturada	06	100
Tierra suelta sin mantenimiento	0,5	150
Grava suelta y material de barro llena de baches	0,4	200-400

Fuente: CASTRO, Raúl. Manejo de minerales y ventilación. p. 22.

Cuanto mayor sea la resistencia a la rodadura de los neumáticos, más energía se requiere para que el motor desplace el vehículo. Si el motor tiene que esforzarse para superar la resistencia a la rodadura de los neumáticos, consumirá más carburante. La resistencia a la rodadura puede compararse con un vehículo que tiene que subir constantemente una pendiente del 1 por ciento. La resistencia a la rodadura no puede eliminarse completamente, pero si se puede reducir.

La resistencia a la rodadura de un neumático es el resultado de la disipación de energía en la flexión de materiales, un fenómeno también

conocido como histéresis en el que el material, cuando se expande no devuelve toda la energía que absorbe al contraerse.

En reposo el neumático se deforma hasta que el área de contacto multiplicada por la presión del aire en el neumático es equivalente al peso que soporta el neumático, si se incrementa el peso, o se disminuye la presión del neumático, el área de contacto se hará más grande y viceversa.

Cuando la rueda gira, en la parte delantera del área de contacto el neumático se está comprimiendo, mientras que en la parte trasera ocurre lo contrario: el neumático se expande y devuelve la fuerza de compresión a la superficie. La diferencia de fuerza ejercida entre los dos extremos del área de contacto es el resultado directo de la disipación de energía en la estructura del neumático.

Si se sustituye el conjunto de fuerzas ejercidas en ambas secciones del área de contacto (desde el eje hacia adelante y desde el eje hacia detrás) por dos fuerza equivalentes, se mira que la fuerza correspondiente a la porción delantera es mayor que la correspondiente a la porción trasera y que está desplazada por delante del eje, de la misma manera que la fuerza de la porción trasera está desplazada por detrás del eje.

Estas dos fuerzas desplazadas generan pares de torsión alrededor del eje: la parte trasera genera un par favorable al giro de la rueda, mientras la delantera genera un par mayor que se opone al giro de la rueda. La diferencia entre estos dos pares resulta en un par opuesto al giro de la rueda.

Figura 17. **Fuerzas resultantes del neumático**



Fuente: CASTRO, Raúl. Manejo de minerales y ventilación. p. 23.

2.4. Distancia de frenado

Un punto que debe tomarse en cuenta en una pendiente es la distancia de frenado, ya que ésta puede afectar mientras más inclinado sea el terreno.

Desde un punto de vista de seguridad, los grados de transporte por carretera deben estar diseñados para acomodar las capacidades de frenado de aquellos vehículos que tienen el mayor potencial y que con más frecuencia atraviesan la ruta de transporte.

En este caso los camiones de bajo perfil Caterpillar AD30 y *Scooptram*, son los más frecuentes. Debido a su extremo de peso y la velocidad de funcionamiento normalmente elevado en relación a otros equipos, no tienen la capacidad de desacelerar rápidamente al frenar. El diseño de las rutas que da cabida a los sistemas de frenado de camiones de transporte debe dejar un margen suficiente de seguridad para otros equipos de uso menos frecuente, tales como patrol, cargadores, etcétera.

Desafortunadamente, muy pocos fabricantes de camiones definen las capacidades de su servicio y su sistema de frenado en términos de rendimiento. De este modo, el operador no sabe si los frenos del vehículo se mantendrán en un descenso de grado en el caso de un fallo.

Mostrando la necesidad de eficacia de las normas de freno de alto rendimiento, se han desarrollado procedimientos de ensayo y criterios mínimos de parada a distancia para las categorías de peso diferentes a una velocidad inicial de 20 kilómetros por hora, sobre una superficie seca y plana de hormigón limpio.

Tabla X. **Distancia máxima de frenado según peso**

Peso de vehículo (libras)	Distancia de frenado a 20 mph (pies)
< 100 000 (categoría 1)	60
100 000 a 200 000 (categoría 2)	90
>200 000 a 400 000 (categoría 3)	125
>400 000 (categoría 4)	175

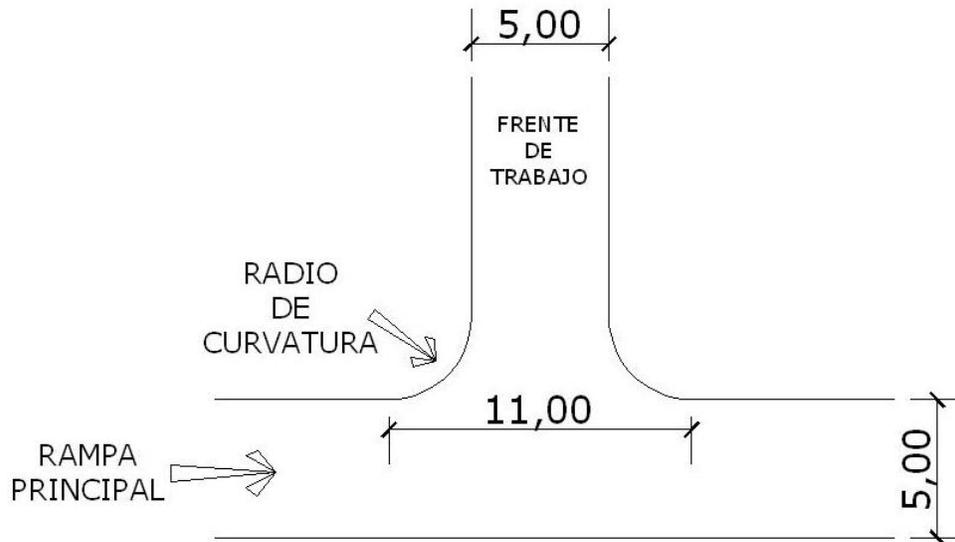
Fuente: CASTRO, Raúl. Manejo de minerales y ventilación.

2.5. Radios de curvatura

Es la distancia que debe existir para que un vehículo pueda girar libremente dentro del túnel. Estos surgen cada vez que se inicia una nueva labor, ya sea para un nuevo frente de trabajo o una estación de carga.

Para cumplir con las especificaciones es necesario que exista entre cada radio de curvatura un largo entre 10 y 12 metros como se muestra en la figura 18 (para eso se asumirá una sección en la rampa principal y la nueva labor de trabajo de 5,00 x 5,00 metros).

Figura 18. **Distancia entre radio de curvatura en túneles**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

Si estas esquinas no están bien diseñadas, o su metodología de carguío no fue la correcta, se producirá lo que se llama patas de elefante. Esto no es más que material no detonado en el suelo que provoca desgaste prematuro de los neumáticos cada vez que éstos giran en las esquinas.

Figura 19. **Material no detonado en el suelo**



Fuente: cámara 26 nivel de perforación. Mina Marlin.

2.6. Influencia del agua

Cuando se avanza en un túnel se pueden encontrar mantos freáticos, para lo cual se debe tomar consideración bombas extractoras. Comúnmente cuando el terreno presenta una pendiente negativa el agua busca el punto más bajo y se estanca formando grandes charcos.

Una forma de mantener la carpeta de rodadura sin agua es hacer el diseño de una cuneta en secciones que sea necesario.

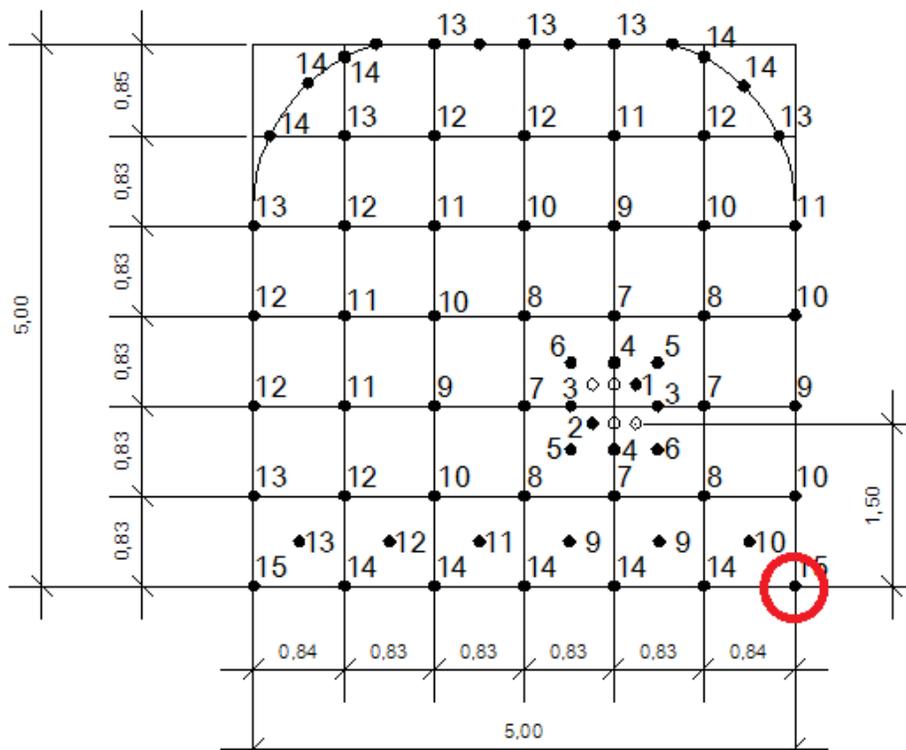
Existen varios métodos para diseñar la cuneta dentro del túnel, una de ellas es cambiando la pendiente de un agujero del suelo. Para ello en la malla de perforación se modificaría el último agujero del lado derecho de los pateros.

2.6.1. Ejemplo ilustrativo

Diseñar la cuneta para una sección de 5,00 x 5,00 metros que tiene una pendiente negativa de 12 por ciento y una perforación de 3,5 metros.

- Se traza la malla de perforación para una sección de 5,00 x 5,00 metros como se muestra en la figura.

Figura 20. **Malla de perforación para túnel de sección 5 x 5 metros**

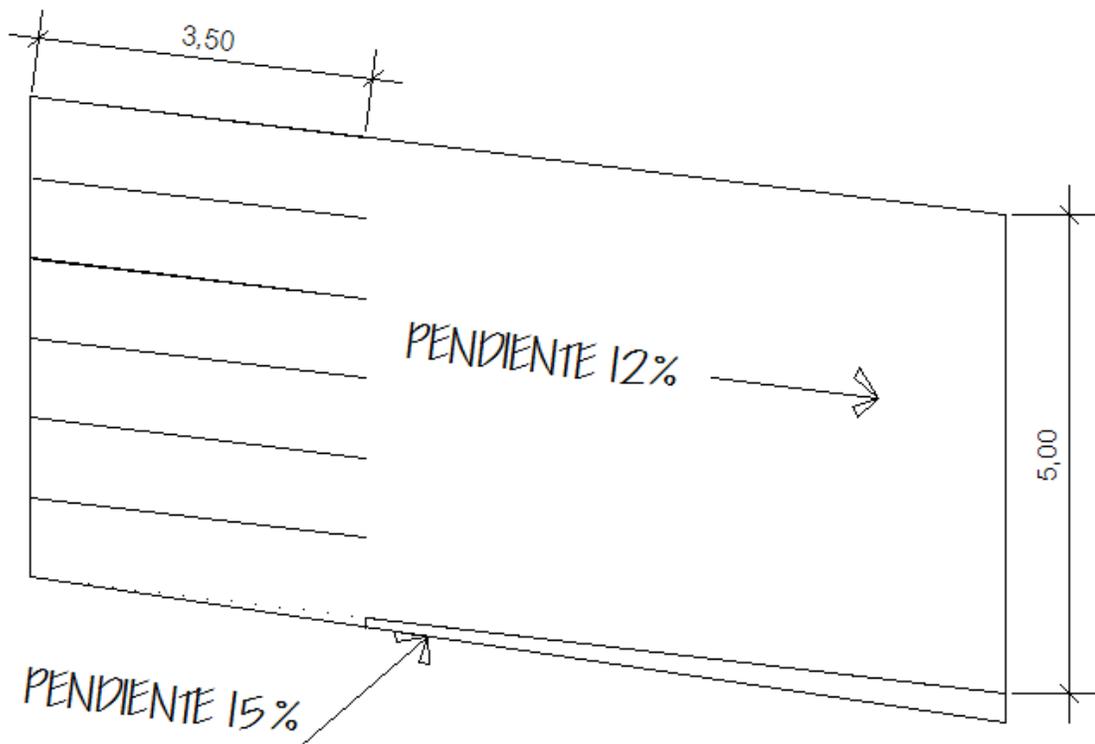


Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

- El agujero encerrado en un círculo sufrirá una modificación de un 2 por ciento negativo, eso quiere decir que pasará de ser 12 por ciento a un 15

por ciento. El rango que puede variar está entre 2 por ciento a 3 por ciento máximo. Solamente éste agujero es alterado ya que en el lado superior derecho son colocadas las mangueras que extraen el agua.

Figura 21. **Vista lateral de malla de perforación para agujeros de 3,50 m**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

- Una persona deberá remover los restos quedados con una motopico para darle el detalle final a la cuneta.
- Es recomendable no limpiar la roca que queda en la cuneta hasta que ya se hayan avanzado al menos 20 metros del frente, ya que si es removida igualmente al hacer una voladura se volverá a cubrir de roca suelta.

- Para mantenimiento, limpiar la cuneta frecuentemente.

Finalmente de esta manera se creará una inclinación extra en el lado inferior derecho (tomando en cuenta que de ese lado se encuentran los servicios) y así el agua fluirá hasta el punto más bajo para luego con bombas extraerla.

Figura 22. **Bomba extractora de agua**



Fuente: cámara 26 nivel de perforación. Mina Marlin.

Figura 23. **Manguera que conecta a bomba extractora**



Fuente: cámara 26 nivel de perforación. Mina Marlin.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ensayos de campo

Para evaluar el rendimiento de las carpetas de rodadura, solamente fue posible para 3 tipos, estableciendo los siguientes ensayos de campo. La fuente principal de información fue por medio de observación y asistencia a los técnicos mientras realizaban el trabajo, para lo cual se anotaba en un cuaderno la descripción y materiales utilizados en el proceso.

3.1.1. Desgaste de la carpeta de rodadura en campo

Este ensayo consiste en medir el desgaste de la carpeta de rodadura, respecto a su espesor, aplicando diferentes materiales inmediatamente después de la voladura sin alterar el suelo. Tomando 3 medidas diarias se obtuvieron los siguientes resultados:

3.1.2. Carpeta de bach

Consiste en aplicar una carpeta de concreto pobre con un espesor de 20 centímetros. Esta rodadura no es de gran resistencia pero es una opción en lugares donde no existe demasiada agua para poder prolongar su duración.

Figura 24. **Aplicación de bach con Scooptram**



Fuente: cámara 3 nivel de acarreo. Mina Marlin.

Figura 25. **Carpeta de bach día 6**



Fuente: cámara 3 nivel de acarreo. Mina Marlin.

Tabla XI. **Desgaste de rodadura para concreto pobre**

Día	Medida (cm)
1	4
2	2
3	0,4

Fuente: elaboración propia con base en ensayos de campo.

Debido a la licuefacción la carpeta de rodadura tuvo una vida útil de 8 días, teniendo un desgaste total de 6,40 centímetros.

3.1.3. Carpeta de bach seco

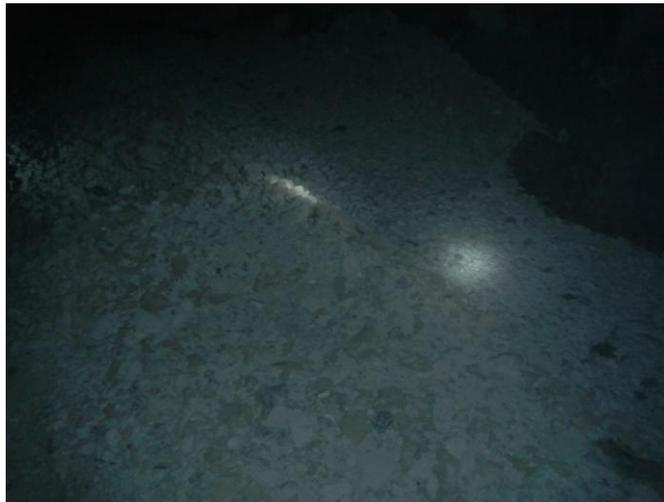
Básicamente es el mismo procedimiento de la carpeta de bach común, consiste en aplicar una rodadura de concreto pobre con un espesor de 25 centímetros, con la única diferencia que ésta no lleva agua. Igualmente no es de gran resistencia pero es una opción en lugares donde existe humedad, para que al entrar en contacto con ésta, se observe el proceso químico del cemento con el agua y las partículas del aglomerante hagan su trabajo de adhesión prolongando el tiempo de vida.

Figura 26. **Aplicación de bach seco con camión AD30**



Fuente: cámara 3 nivel de acarreo. Mina Marlin.

Figura 27. **Bach seco luego de ser aplicado**



Fuente: cámara 3 nivel de acarreo. Mina Marlin.

Figura 28. **Maquinaria en rodadura de bach seco**



Fuente: cámara 3 nivel de acarreo. Mina Marlin.

Se comprobó que ésta carpeta dura aproximadamente 6 días cuando el contacto con el agua es considerable.

Figura 29. **Carpeta mejorada con bach seco**



Fuente: Cámara 27. Mina Marlin.

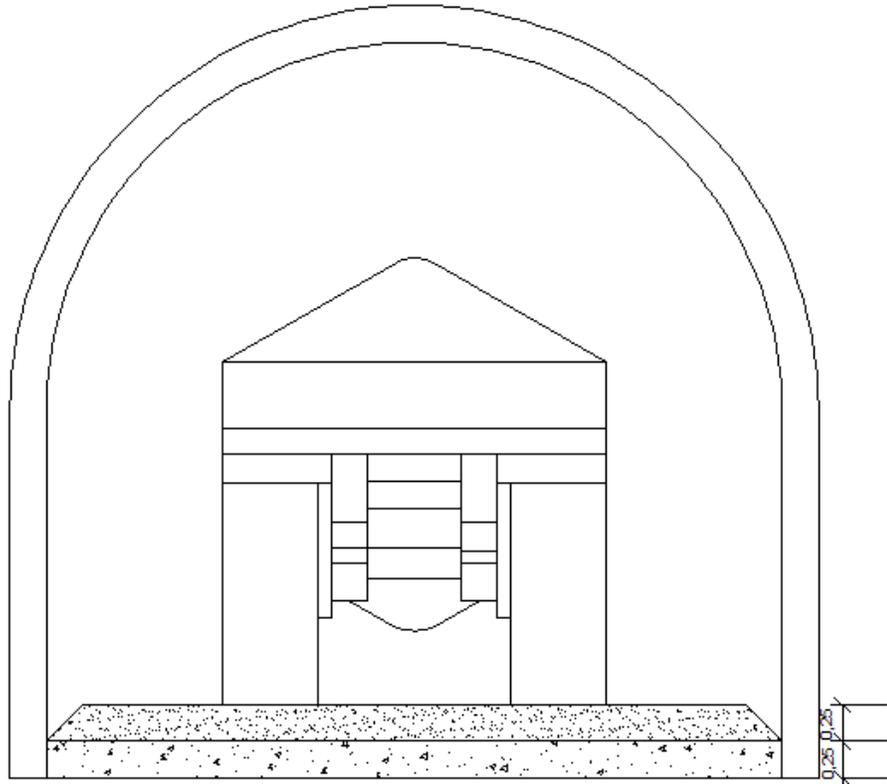
3.1.4. Grava

Consiste en aplicar dos capas de agregado grueso, la primera de diámetro de 1 ¼ pulgadas y 25 centímetros de espesor, y la segunda de diámetro de ¼ pulgadas y 25 centímetros de espesor.

Este tipo de pavimento consiste en una carpeta de rodadura diseñada con material granular grueso seleccionado, estabilizada con cemento y cal (1 saco de cemento mezclado con 1 saco de cal cubre 6 metros cuadrados), agua si es necesario y compactada, el material proviene del exterior o de los desarrollos (excavación de las galerías) de la mina. En general este tipo de carpetas requiere mantención periódica y solo funciona en zonas secas o de muy poca agua, como es el caso de los caminos de acceso a superficies o rampas de enlace entre los diferentes niveles y subniveles de la mina.

En las zonas con abundante filtración de agua, como es el caso de los niveles de producción, la formación de arcilla y empozamiento de agua deja inoperante la carpeta de rodado, con el consiguiente daño que sufre la maquinaria, en su sistema hidromecánico, por los golpes y las características químicas agresivas del agua y la arcilla. Por tal razón puede utilizarse un geotextil para evitar la filtración de agua y obtener una carpeta de larga duración si se construye debidamente.

Figura 30. **Representación de carpeta de grava**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

Figura 31. **Carpeta de grava**



Fuente: cámara 26 nivel de perforación. Mina Marlin.

Figura 32. **Área de trabajo con carpeta mejorada**



Fuente: cámara 26 nivel de perforación. Mina Marlin.

3.1.5. Hormigón

Esta carpeta no fue analizada debido a su alto costo para la prueba. No obstante puede dejarse como alternativa, indicando los parámetros a tomar en cuenta para su diseño.

El cemento a utilizar debe ser Portland de alta resistencia conforme a las exigencias de la ASTM C-150 cumpliendo con la característica referente a su durabilidad.

- Cemento Tipo V para lograr alta resistencia a sulfatos.
- Resistencia del concreto 4 500 psi.

Además de su característica de resistencia se recomienda que el hormigón cumpla con lo siguiente:

- Máxima relación agua/cemento de 0,4
- Asentamiento de cono máximo de 2,5 pulgadas
- Agregado grueso de 1 ¼ pulgadas
- Agregado fino de ¼ pulgadas
- Aditivo contra sulfatos
- Aditivo para alta resistencia inicial

Si es necesario se utilizará un coronamiento antiabrasivo para mejorar la capacidad resistente de la carpeta al desgaste, este deberá cumplir con las siguientes características:

Tabla XII. **Abrasivo a utilizar**

Parámetro	Magnitud
Resistencia a la compresión	150-170 Mpa
Resistencia a la Flexotracción	21-25 Mpa
Módulo de Elasticidad	90 000- 100 000 Mpa
Densidad	2 750 kg/cm ²

Fuente: elaboración propia.

3.1.5.1. **Cargas de uso**

En general se diseña para el equipo más desfavorable que transita por las galerías, es decir la maquinaria más pesada y a la vez más utilizada en el sector.

Tabla XIII. **Carga por eje camión AD30**

Camión	Eje	Vacío (kg)	Cargado (kg)
AD30	Adelante	13 500	27 000
	Atrás	16 500	33 000

Fuente: Manual de especificaciones Caterpillar AD30.

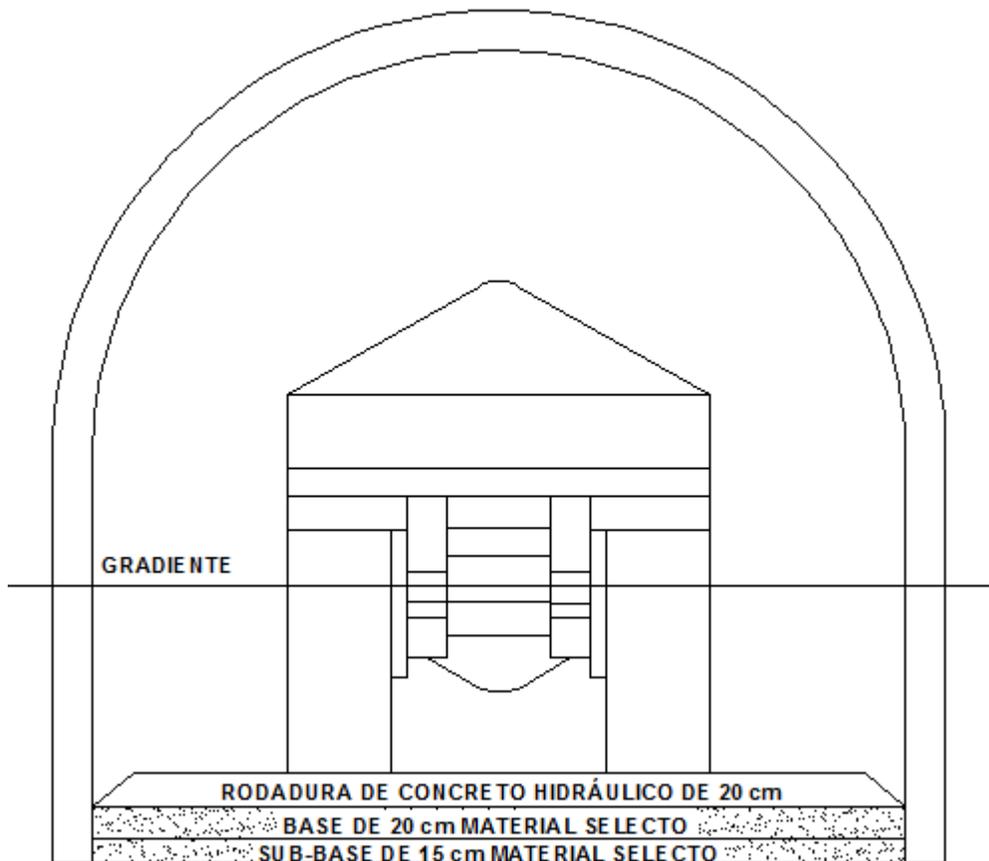
Tabla XIV. **TPD medido en portal de entrada mina Marlin**

Clasificación de vehículos	Cantidad de vehículos en 24 horas
<i>Scooptram</i>	20
AD30	122
Jumbo	6
Camión Cisterna	10
Pick – up	150
Cargador frontal	25
Bolter	10
CAT 730	55
Patrol	6
Fiori	8

Fuente: elaboración propia.

En Mina Marlin el equipo más pesado es el camión de bajo perfil Caterpillar AD30 con especificaciones en la tabla 8.

Figura 33. **Diseño de carpeta de concreto hidráulico**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad 2012.

3.1.6. Aspectos constructivos

La metodología a seguir para construir la carpeta de rodadura de concreto hidráulico será de la siguiente forma:

- Se prepara el terreno realizando su respectiva limpieza, eliminando todo material indeseable inclusive los de origen inorgánico.

- Construcción de la subbase.
 - La subbase será construida con material selecto, el cual se puede obtener de un banco cercano, debidamente seleccionado y comprobado en laboratorio que el material a extraer, cumpla con las especificaciones técnicas, cuyo espesor será de 0,15 metros.

- Construcción de la base.
 - Similar al proceso anterior, solo cambiando el espesor a 0,20 metros. Tanto la subbase como la base se colocan por capas no mayores de 0,10 metros de espesor, por la colocación del material, compactación y los ensayos correspondientes.

- Construcción de carpeta de rodadura.
 - Luego de haber compactado las dos capas se procede a colocar el concreto hidráulico, de 0,20 o 0,25 metros de espesor, resistente a sulfatos, esto para prevenir el deterioro prematuro dentro del túnel.

Se ha calculado que el costo inicial será muy elevado, pero este tipo de carpeta de rodadura, tendrá un período de vida útil no menor de 15 años y los trabajos de mantenimiento son menores, aún estando dentro de un túnel, por lo tanto la maquinaria sufrirá menos deterioro.

3.2. Análisis de tiempo

Para determinar un cambio positivo en la construcción de cualquier carpeta de rodadura, es necesario tomar el tiempo de actividades antes y después de haberse colocado el material, con el fin de ver una mejor ejecución en cada tarea realizada.

3.2.1. Estudio del tiempo del ciclo

Para estimar la producción hay que determinar el número de viajes completos que hace la maquinaria por hora. Se mide fácilmente con la ayuda de un cronómetro. Debe de medirse el tiempo de varios ciclos completos a fin de obtener el tiempo promedio por ciclo.

El cronómetro puede mantener la continua medición, para obtener las diversas variables de cada ciclo, tales como el tiempo de entrada, el tiempo de carga, el tiempo de espera, etcétera.

Para poder evaluar el rendimiento y la eficiencia del trabajo de la maquinaria es recomendable saber por separado los tiempos de cada variable.

3.3. Análisis de costos

En minería, un ciclo de rezaga representa costos elevados, para lo cual debe asignarse una flota correcta para el acarreo y transporte del material. Esto debe de ir acompañado de un diseño de rodadura que permita la optimización en tiempo y costos del ciclo.

3.3.1. Cálculo de costos de ciclo de rezaga

El análisis de costos debe ser enfocado en el ciclo de acarreo y transporte que se realiza en Mina Marlin, tomando en cuenta el rendimiento de camiones y cargadores de bajo perfil.

Para ello se detallará los factores que influyen en este análisis, dejando claro que algunos no serán desglosados debido a que dependerán del criterio de cada empresa, tales como costos indirectos, insumos y algunos valores de la maquinaria.

3.3.1.1. Cálculo de costo de transporte de camiones

Estos costos de transporte se calculan en dólares americanos. El costo en dólares por tonelada puede subir a medida que aumenta la distancia y disminuye el rendimiento del sistema.

Entonces el costo en dólares por tonelada no es fijo y puede cambiar para un diseño por año a medida que se profundiza la operación.

Los elementos mínimos a incluirse en el cálculo del costo horario total deben de ser los siguientes:

- Para el costo de posesión (CP)
 - Depreciación
 - Interés de capital invertido
 - Seguros, Impuestos y Almacenaje

- Para el costo de operación (CO)
 - Mantenimiento y reparación
 - Combustibles
 - Lubricantes
 - Filtros
 - Grasas
 - Llantas o neumáticos
 - Piezas de desgaste
 - Herramientas de corte
 - Operador especializado

Costo Horario Total = Costo Horario de Posesión + Costo Horario de Operación

- Cálculo del costo horario de posesión de una maquinaria: El costo de posesión se refiere al costo de inversión de una maquinaria. Representa un costo continuo para el propietario. Para ello deben de seguirse los siguientes aspectos:
 - Depreciación (D)
 - Valor de adquisición (Va)
 - Valor de rescate (Vr)
 - Vida económica útil (VEU)
 - Interés del capital invertido (I)
 - Inversión media anual (IMA)

- Seguros, impuestos y almacenaje: Las primas de seguro varían de acuerdo al tipo de maquinaria y a los riesgos que debe cubrir durante su vida económica. Este cargo existe tanto en el caso de que la maquinaria se asegure con una compañía de seguros, como en el caso de que la

empresa constructora decida hacer frente con sus propios recursos, a los posibles riesgos de la maquinaria (auto aseguramiento).

$$\text{Seguros, Impuestos y Almacenaje} = \frac{\text{IMA} \times (\sum \text{tasas anuales})}{\text{VEU hrs}}$$

- Cálculo del costo horario de operación de una maquinaria: El costo de operación se refiere al costo que demanda la operación y mantenimiento de una maquinaria. Para determinar el costo de operación se deberá sumar los siguientes rubros:
 - Mantenimiento y reparación (CMR)
 - Combustibles
 - Lubricantes
 - Grasas
 - Filtros
 - Llantas o neumáticos
 - Piezas de desgaste
 - Operador especializado

Dándole un valor a estos factores se obtiene el precio por hora de la maquinaria. El precio no será el mismo en todos los casos debido a muchos elementos que influyen en el desgaste de ésta.

Un factor muy importante son los neumáticos por su alto precio en el mercado y su falla prematura en campo, generando así un gasto no considerado.

Como ayuda para calcular la vida útil de los neumáticos de una unidad de acarreo se proporciona la siguiente información, la cual estima aproximadamente el tiempo que éstos durarán.

Tabla XV. **Vida útil calculada de los neumáticos**

Condición del Terreno	Factor (adimensional)
Sin Roca	1,090
Algunas Rocas	0,981
Ruta de grava bien mantenido	0,981
Ruta de grava mal mantenido	0,763
Rocas agudas	0,654

Fuente: Manual de rendimiento Caterpillar Inc. Edición 30. Capítulo 22.

Utilizando las horas de vida útil que indica el proveedor del neumático, se multiplica con el factor indicado según la condición del terreno.

En el capítulo 1 se había indicado que el tiempo promedio que los neumáticos rendían era de 1 200 horas lo cual es una vida útil muy corta respecto a lo que un buen ciclo de acarreo con una carpeta en excelente estado puede lograr.

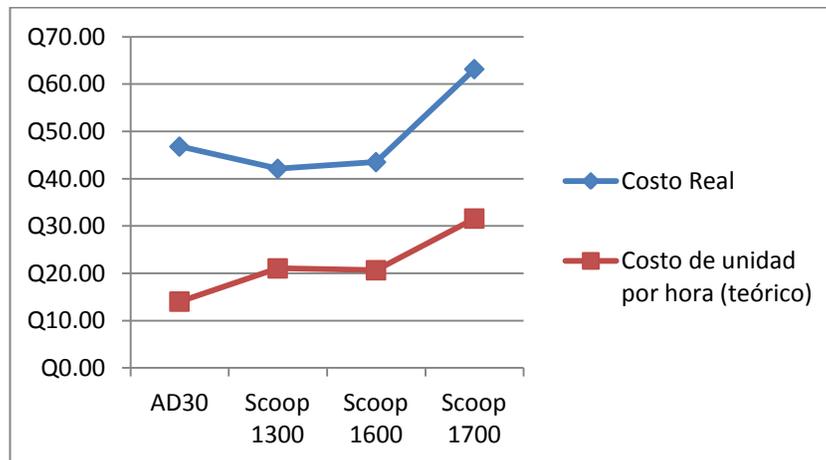
Para la realización del ejercicio se tomará como punto de inicio las maquinarias que más desgaste sufren poniendo un costo aproximado por hora.

Tabla XVI. Costo real versus costo teórico de maquinaria

Maquinaria	Cantidad	Tiempo de vida neumáticos (horas aprox)	Vida útil teórica (hora)	Costo por unidad de neumático	Costo de unidad por hora (Real)	Costo de unidad por hora (Teórico)
AD30	3	1 200	4 000	Q. 56 160,00	Q. 46,80	Q. 14,04
Scooptram R1300	1	1 000	2 000	Q. 42 120,00	Q. 42,12	Q. 21,06
Scooptram R1600	1	950	2 000	Q. 41 340,00	Q. 43,52	Q. 20,67
Scooptram R1700	1	1 000	2 000	Q. 63 180,00	Q. 63,18	Q. 31,59

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Costo real versus costo teórico de maquinaria



Fuente: elaboración propia.

Para que una jornada de trabajo se ejecute, se utilizan 2 camiones y 1 *Scooptram*.

En un mes aproximadamente los camiones AD30 trabajan 260 horas cada uno y el *Scooptram* labora 244 horas.

Eso quiere decir que:

$$\text{Tiempo de vida neumáticos} = \frac{\text{Tiempo de vida (horas)}}{\text{Horas trabajadas}}$$

$$\text{Tiempo de vida neumáticos(Camión)} = \frac{1\ 200}{260} = 4,6 \text{ meses}$$

$$\text{Tiempo de vida neumáticos(Scooptram)} = \frac{1\ 000}{244} = 4,0 \text{ meses}$$

$$\text{Tiempo de vida teórica (Camión)} = \frac{4\ 000 \text{ (horas teóricas)}}{260 \text{ (horas por mes)}} = 15,3 \text{ meses}$$

Esto reflejado en costos queda de la siguiente forma asumiendo para ello 1 camión AD30 y el *Scooptram* R1700:

$$\text{Cálculo de sobre costo} = (\text{Diferencia en meses})(\text{Horas x mes})(\text{Costo por hora})$$

$$\text{Cálculo de sobre costo} = (10,7)(260,0)(Q\ 46,80)$$

$$\text{Cálculo de sobre costo} = Q\ 130\ 197,60$$

La diferencia en meses se obtiene restando la duración teórica menos la duración real en meses de los neumáticos.

Tabla XVII. **Demostración de sobrecosto de maquinaria**

Maquinaria	Cantidad	Duración Teórico en meses	Duración Real en meses	Diferencia en meses	Sobre Costo (unidad)	Total Sobre Costo (4 unidades)
AD30	1	15,30	4,6	10,7	Q. 130 197,60	Q. 520 790,40
<i>Scooptram</i> R1700	1	8,2	4,0	4,2	Q. 64 746,86	Q. 258 987,46

Fuente: elaboración propia.

Aproximadamente se tiene un sobrecosto de Q. 779 800,00 solamente por un camión AD30 y un *Scooptram*. Si a esto se sumase los camiones y *Scooptram* restantes sería una cantidad demasiado elevada que muchas veces no se toma en cuenta debido a que el desgaste de neumáticos no es el que se esperaba.

A esto debe añadirse el reencauche que no es más que una fase importante para extender la vida de una llanta al momento de que el neumático deja de prestar servicio y aún no se había cumplido su tiempo de vida útil. Este proceso tiene un costo aproximado de Q. 25 000,00 por cada neumático.

Por tanto la hora/máquina será variante porque dependerá del renglón de neumáticos.

Lo ideal sería que éstos duraran al 100 por ciento, pero siempre existirán factores que no permitirá lograrlo y que no dependerán de la carpeta de rodadura, sino que del personal de trabajo, es decir, de los operadores. Por tanto éstos deben de ser capacitados para el manejo de la maquinaria pesada.

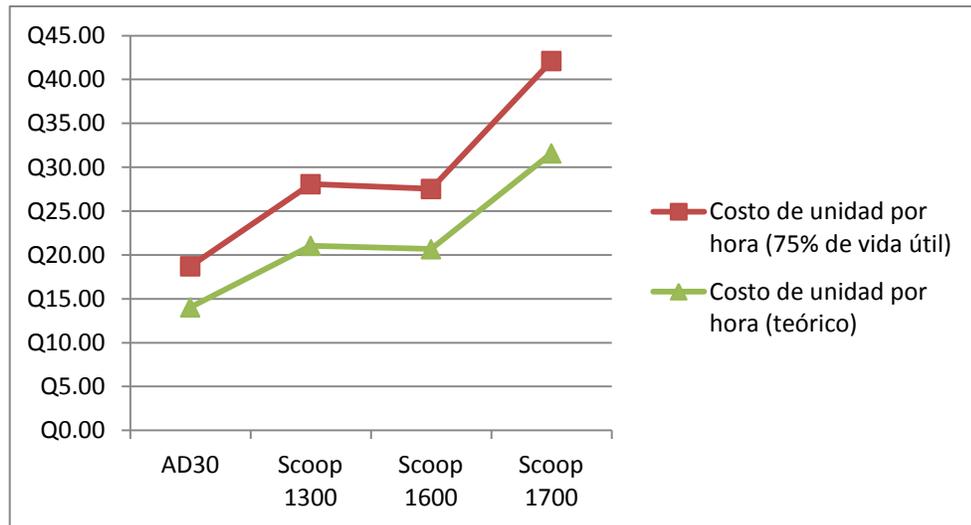
Estudios en otras minas (aplicados en la mina de cobre subterránea “El Teniente” de Codelco, Chile), se ha demostrado que se puede llegar a aprovechar hasta el 90 por ciento o más del rendimiento de los neumáticos con una carpeta de hormigón o una de grava si ésta es de tamaño considerable. Por ahora se asumirá entre 75-80 por ciento como porcentaje de aprovechamiento.

Tabla XVIII. **Costo de neumáticos al 75 por ciento**

Maquinaria	Cantidad	Tiempo de vida neumáticos (horas aprox)	Vida útil teórica (horas)	Costo Unitario de neumático	Costo de unidad por hora (Real)	Costo de unidad por hora (teórico)
AD30	3	3 000	4 000	Q. 56 160,00	Q. 18,72	Q. 14,04
Scoop R1300	1	1 500	2 000	Q. 42 120,00	Q. 28,08	Q. 21,06
Scoop R1600	1	1 500	2 000	Q. 41 340,00	Q. 27,53	Q. 20,67
Scoop R1700	1	1 500	2 000	Q. 63 180,00	Q. 42,12	Q. 31,59

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Costo real al 75 por ciento de vida útil versus costo teórico de maquinaria**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Demostración de sobre costo de maquinaria al 75 por ciento**

Maquinaria	Cantidad	Duración real en meses	Duración teórica en meses	Diferencia en meses	Sobre Costo unidad de neumático	Total Sobre Costo
AD30	1	15,30	11,5	3,8	Q. 18 495,36	Q. 73 981,44
Scoop R1700	1	8,2	6,15	2,05	Q. 21 068,42	Q. 84 273,68

Fuente: elaboración propia.

Donde:

Sobrecosto unidad (Camión) = (Diferencia en meses)(Horas x mes)(Costo por hora)

Sobrecosto unidad neumático = (3,80)(260)(18,72)

Sobrecosto unidad neumático = (Q 18 495,36)(4 neumáticos)

Sobrecosto unidad neumático = Q 73 981,44

Sobrecosto unidad (Scoop) = (Diferencia en meses)(Horas x mes)(Costo por hora)

Sobrecosto unidad neumático = (2,05)(244)(42,12)

Sobrecosto unidad neumático = (Q 21 068,42)(4 neumáticos)

Sobrecosto unidad neumático = Q 84 273,68

Tabla XX. **Diferencia costo actual versus costo al 75 por ciento de vida útil**

Maquinaria	Cantidad	Costo Actual	Reencauche	Costo total actual de neumático	Sobre-costo al 75% de vida útil neumático	Diferencia
AD30	1	Q. 520 790,40	Q. 100 000,00	Q. 620 786,40	Q. 73 981,44	Q. 546 804,96
Scoop R1700	1	Q. 258 987,46	Q. 120 000,00	Q. 378 982,46	Q. 84 273,68	Q. 294 708,78
					Total	Q. 841 513,74

Fuente: elaboración propia.

Existe una reducción de costos de Q. 841 513,74 si los neumáticos mantienen un rendimiento mínimo del 75 por ciento.

Se puede obtener un costo aproximado por kilómetro recorrido si se toma en cuenta la velocidad promedio a la que viaja la maquinaria.

Para realizar el análisis de costos se tomaron tiempos nuevamente, para comprobar si se logró algún cambio en el cronómetro.

Se tomará un precio de maquinaria aproximado, ya que éste dependerá de la integración de costos que más le convenga a la empresa que posee la maquinaria.

A continuación se realizará un análisis con la finalidad de generar una representación de costos para los diferentes tipos de rodaduras que hasta este momento se han estudiado.

Los costos como los renglones de trabajo a analizar estarán expuestos a cualquier cambio según el escenario a aplicarlos.

3.3.1.1.1. Costo para carpeta de bach

Este costo está basando en los materiales que Mina Marlin dispone en el lugar de trabajo y que constantemente utiliza como alternativa para cubrir el suelo con capas de bach.

Tabla XXI. **Medida de tiempos para una sección de 300 metros de bach**

Cámara 26 Nivel de perforación						
Distancia aproximada:						
3,4033 km						
No.	Tipo de vehículo	Tiempo de entrada	Tiempo de rezaga	Tiempo de salida	Tiempo de descarga	Tiempo total de ciclo
1	CAT AD30	0:06:40	0:09:15	0:10:08	0:05:45	0:31:48
2	CAT AD30	0:06:20	0:09:52	0:11:04	0:05:43	0:32:59
3	CAT AD30	0:06:22	0:09:28	0:12:21	0:05:14	0:33:25
4	CAT AD30	0:06:36	0:08:12	0:10:34	0:05:12	0:30:34
5	CAT AD30	0:06:31	0:08:56	0:10:05	0:05:16	0:30:48
6	CAT AD30	0:06:45	0:09:05	0:10:51	0:05:27	0:32:08
7	CAT AD30	0:06:59	0:09:14	0:11:37	0:05:38	0:33:28
8	CAT AD30	0:07:13	0:09:23	0:12:23	0:05:49	0:34:48
	PROMEDIO	0:06:41	0:09:11	0:11:08	0:05:31	0:32:30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Tiempo de entrada y salida cámara 3 nivel de acarreo**

No.	Tiempo de entrada	Tiempo de salida	Tiempo total de ciclo
1	0:06:10	0:11:07	0:17:17
2	0:06:04	0:10:50	0:16:54
3	0:06:20	0:10:51	0:17:11
4	0:06:14	0:10:34	0:16:48
5	0:06:31	0:09:05	0:15:36
6	0:06:07	0:10:52	0:16:59
7	0:05:43	0:11:10	0:16:53
8	0:05:19	0:11:23	0:16:42
PROMEDIO	0:06:00	0:10:48	0:16:48

Fuente: elaboración propia.

Como antecedente se tenía que esta sección se lograba con un tiempo de 17:53 minutos. Con una pequeña sección se logró disminuir un minuto en los tiempos de entrada y salida.

$$\frac{60 \text{ minutos/hora}}{\text{Tiempo de ciclo}} = \frac{60 \text{ minutos/hora}}{32,30 \text{ min/ciclo}} = 1,86 \text{ ciclos/h}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Costo total/hora}}{\text{Producción/hora}} = \frac{Q 4 914,00}{35,91 \text{ m}^3/\text{hora}} = Q 136,84 \text{ m}^3$$

Este rendimiento incluye dos camiones y dos cargadores de bajo perfil con sus respectivos operadores.

Tabla XXIII. **Estudio de carpeta de bach**

Datos		
Longitud tramo	3 000	M
Ancho	5	M
Espesor	0,2	M
Volumen	3 000	m ³
Tipo de carpeta	BACH (concreto pobre)	
Duración de carpeta	90	Días
Tiempo de ejecución	147	Horas

Dosificación	1 m³
4,38	sacos de cemento de 42 kg
0,49	m ³ de arena de río
0,97	m ³ de piedra 3/8"

Maquinaria	Costo sin operador por hora
Patrol	Q. 358.80
Compactadora	Q. 390.00
Pipa de agua	Q. 230.00
Camión de volteo 12 m ³ (Km-m ³)	Q. 4.20

Continuación de la tabla XXII.

Capa	Acarreo (Km.)	Total de viajes	Total de m³-Km.
Bach	1,5	250	5 550
		TOTAL	5 550

Personal	Cantidad	Costo por hora (incluye prestaciones)
Operador Maquinaria (Patrol)	1	Q. 27,78
Operador Maquinaria (Rodo compactador)	1	Q. 27,78
Operador de camión	1	Q. 15,60
Operador de pipa	1	Q. 15,60

Fuente: elaboración propia.

Para ésta carpeta no se utilizará excavadora debido a que se cuenta con una máquina que reparte el bach hacia los camiones con la dosificación deseada.

El tiempo en horas que durará cada actividad está calculado aproximadamente para la construcción de una carpeta de rodadura en situaciones normales. En un túnel la situación puede variar dependiendo las facilidades que brinde la mina para ejecutarlo.

Tabla XXIV. **Tiempo aproximado para realizar actividades**

Actividades	Maquinaria	Tiempo (h)
Limpiar terreno 3 000m	Patrol	22
Aplicar capa bach	Camión de volteo	80
Regar material	Patrol	13
Aplicar agua	pipa de agua	7
Compactar	Compactadora	25
	TOTAL	147

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Costo para carpeta de bach**

Maquinaria	Cantidad (horas)	Costo sin operador por hora	Total
Patrol	35	Q. 358,80	Q. 12 558,00
Compactadora	25	Q. 390,00	Q. 9 750,00
Pipa de agua	13	Q. 230,00	Q. 2 990,00
Camión de volteo (m ³ - Km.)	5 550	Q. 4,20	Q. 23 310,00
			Q. 48 608,00

Continuación de la tabla XXV.

Personal	Cantidad (horas)	Costo por hora (incluye prestaciones)	Total
Operador de patrol	35	Q. 27,78	Q. 972,30
Operador Compactadora	25	Q. 27,78	Q. 694,50
Operador pipa	13	Q. 15,60	Q. 202,80
Operador camión de volteo	80	Q. 15,60	Q. 1 248,00

Materiales	Cantidad m³	Costo Unitario	Total
Agregado grueso	2 910	Q. 230,00	Q. 669 300,00
Agregado fino	1 470	Q. 160,00	Q. 235 200,00
Cemento 15% (sacos)	13 140	Q. 60,00	Q. 788 400,00
		Suma	Q. 1 692 900,00

Costo Mantenimiento (15% total de materiales) cada 90 días	Mantenimiento preventivo	Q. 253 935,00
---	--------------------------	---------------

F.I (30%)	Q. 523 387,68
Imprevistos (5%)	Q. 87 231,28
SUB - TOTAL SIN IVA	Q. 2 329 624,61
SUB - TOTAL IVA	Q. 109 953,55
TOTAL	Q. 2 439 578,15

Total por año = (Q. 2 439 578,15)(4)(Q. 253 935,00)

Continuación de la tabla XXV.

Tiempo de ejecución (h)	Volumen m³	Costo por año
147	3 000	Q. 3 455 318,15

Fuente: elaboración propia.

3.3.1.1.2. Costo para carpeta de grava sencilla

La calidad de ésta carpeta se basa en sus materiales, ya que se encuentran en el lugar de trabajo y a diferencia de una carpeta de bach, reduce considerablemente su costo al momento de utilizar correctamente los insumos disponibles.

Tabla XXVI. **Estudio de carpeta de grava sencilla**

Datos		
Longitud tramo	3 000	M
Ancho	5	M
Espesor	0,5	M
Volumen	7 500	m ³
Tipo de carpeta	Grava	
Duración de carpeta	5	Años
Tiempo de ejecución	672	Horas

Continuación de la tabla XXVI.

Capa de 1 ¼"	25 cm
Capa de ¼"	25 cm

Maquinaria	Costo sin operador por hora
Patrol	Q. 358,80
compactadora	Q. 390,00
pipa de agua	Q. 230,00
Camión de volteo (m ³ -Km.)	Q. 4,20
Excavadora	Q. 370,00

Personal	Cantidad	Costo por hora (incluye prestaciones)
Operador Maquinaria (Patrol)	1	Q. 27,78
Operador Maquinaria (Rodo compactador)	1	Q. 27,78
Operador de camión	1	Q. 15,60
Operador de pipa	1	Q. 15,60
Operador de Excavadora	1	Q. 19,50
Ayudante	2	Q. 9,17

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Tiempo aproximado para realizar actividades**

Actividades	Encargado	Tiempo (h)
Limpiar terreno 3 000 m	Patrol	22
Aplicar capa de 1 ¼" (12,5 cm)	Camión de volteo (m ³ -Km.)	70
Regar material	Patrol	13
Aplicar agua	Pipa de agua	7
Compactar	Compactadora	25
Aplicar capa de 1 ¼" (12,5 cm)	Camión de volteo (m ³ -Km.)	70
Regar material	Patrol	13
Aplicar agua	Pipa de agua	7
Compactar	Compactadora	25
Aplicar cemento	Ayudante	50
	Patrol	13
Aplicar agua	Pipa de agua	7
Compactar	Compactadora	25
Aplicar capa de 1/4" (12,5 cm)	Camión de volteo (m ³ -Km.)	70
Regar material	Patrol	13
aplicar agua	Pipa de agua	7
Compactar	Compactadora	25
Aplicar capa de 1/4" (12,5 cm)	Camión de volteo (m ³ -Km.)	70
Regar material	Patrol	13
aplicar agua	Pipa de agua	7

Continuación de la tabla XXVII.

Compactar	Compactadora	25
Aplicar cemento	Ayudante	50
	Patrol	13
aplicar agua	Pipa de agua	7
Compactar	Compactadora	25
		672

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Costo para carpeta de grava sencilla**

Maquinaria	Cantidad (horas)	Costo sin operador por hora	Total
Patrol	100	Q. 358,80	Q. 35 880,00
Compactadora	125	Q. 390,00	Q. 48 750,00
Pipa de agua	42	Q. 230,00	Q. 9 660,00
Camión de volteo (m ³ -Km)	6 937,5	Q. 4,20	Q. 29 137,5
Excavadora	140	Q. 370,00	Q. 51 800,00
			Q. 175 227,5

Personal	Cantidad (horas)	Costo por hora (incluye prestaciones)	Total
Operador de patrol	100	Q. 27,78	Q. 2 778,00
Operador Compactadora	125	Q. 27,78	Q. 3 472,50
Operador pipa	42	Q. 15,60	Q. 655,20
Operador camión de volteo	140	Q. 15,60	Q. 2 184,00
Operador de excavadora	140	Q. 19,50	Q. 2 730,00
Ayudante	200	Q. 9,17	Q. 1 833,33
			Q.13 653,03

Continuación de la tabla XXVIII.

Materiales	Cantidad m³	Costo Unitario	Total
Agregado de 1/4"	3 750	Q. 190,00	Q. 712 500,00
Agregado de 1 1/4"	3 750	Q. 230,00	Q. 862 500,00
Cemento (sacos)	5 000	Q. 60,00	Q. 300 000,00
		Suma	Q. 1 875 000,00

Costo Mantenimiento (15% total de materiales)	Mantenimiento preventivo	Q. 281 25,00
--	--------------------------	--------------

F.I.	Q. 703 539,16
Imprevistos	Q. 117 256,53
SUB-TOTAL SIN IVA	Q. 2 814 529,63
SUB-TOTAL IVA	Q. 378 272,78
TOTAL	Q. 3 192 802,41

Tiempo de ejecución (h)	Volumen m³	Costo por año
672	7 500	Q. 633 185,24

Fuente: elaboración propia.

En la sección 3.1.4 se hace mención que es necesario un saco de cemento para cubrir 6 metros cuadrados, por tanto para un área de 5 metros de ancho por 3 000 metros de largo se utilizarán 2 500 sacos. Para dos capas 5 000 unidades.

3.3.1.1.3. Costo para carpeta de grava formal

Esta carpeta utilizada comúnmente en carreteras, puede utilizarse perfectamente dentro de un túnel, siguiendo los procedimientos básicos de construcción, para darle el mayor tiempo de vida posible.

Tabla XXIX. Estudio de carpeta de grava formal

Datos		
Longitud tramo	3 000	m
Ancho	5	m
Espesor	0,5	m
Volumen	7 500	m ³
Tipo de carpeta	Grava de larga duración	
Duración de carpeta	15	Años
Tiempo de ejecución	775	Horas

Capa de ¼"	25 cm
Capa de 1 ¼"	25 cm

Continuación de la tabla XXIX.

Maquinaria	Costo sin operador por hora
Patrol	Q. 358,80
Compactadora	Q. 390,00
Pipa de agua	Q. 230,00
Camión de volteo (m ³ -Km.)	Q. 4,20
Excavadora	Q. 370,00

Personal	Cantidad	Costo por hora (incluye prestaciones)
Operador Maquinaria (Patrol)	1	Q. 27,78
Operador Maquinaria (Rodo compactador)	1	Q. 27,78
Operador de camión	1	Q. 15,60
Operador de pipa	1	Q. 15,60
Operador de Excavadora	1	Q. 19,50
Ayudante	2	Q. 9,17

Continuación de la tabla XXIX.

Capa	Acarreo (km)	Total de viajes	Total de m³-Km.
1 ¼"	1,85	156,25	3 468,75
¼"	1,85	156,25	3 468,75
1 ¼"	1,85	156,25	3 468,75
¼"	1,85	156,25	3 468,75
		TOTAL	13 875,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Tiempo aproximado para realizar actividades**

Actividades	Encargado	Tiempo (h)
Limpiar terreno	Patrol	22
Colocar geotextil	Ayudante	25
Aplicar capa de 1 ¼" (12.5 cm)	Camión de volteo	70
Regar material	Patrol	13
Aplicar agua	Pipa de agua	7
Aplicar cemento y cal	Ayudante	50
	Patrol	13
Aplicar agua	Pipa de agua	7

Continuación de la tabla XXX.

Compactar	Compactadora	25
Aplicar capa de 1 ¼" (12,5 cm)	Camión de volteo	70
Regar material	Patrol	13
Aplicar agua	Pipa de agua	7
Aplicar cemento y cal	Ayudante	50
	Patrol	7
Aplicar agua	Pipa de agua	7
Compactar	Compactadora	25
Aplicar capa de ¼" (12,5 cm)	Camión de volteo	70
Regar material	Patrol	13
Aplicar agua	Pipa de agua	7
Aplicar cemento y cal	Ayudante	50
	Patrol	7
Aplicar agua	Pipa de agua	7
Compactar	Compactadora	25
Aplicar capa de ¼" (12,5 cm)	Camión de volteo	70
Regar material	Patrol	13
Aplicar agua	Pipa de agua	7
Aplicar cemento y cal	Ayudante	50
	Patrol	13
Aplicar agua	Pipa de agua	7

Continuación de la tabla XXX.

compactar	Compactadora	25
		775

Fuente: elaboración propia.

La excavadora tomará las horas de trabajo del camión de volteo, ya que en ese tiempo estará activa.

Tabla XXXI. **Costo para carpeta de grava formal**

Maquinaria	Cantidad (horas)	Costo sin operador por hora	Total
Patrol	114	Q. 358,80	Q. 40 903,20
Compactadora	100	Q. 390,00	Q. 39 000,00
pipa de agua	56	Q. 249,60	Q. 13 977,60
Camión de volteo (m ³ -Km.)	13 875	Q. 4,20	Q. 58 275,00
Excavadora	280	Q. 370,00	Q. 103 600,00
			Q. 255 755,80

Personal	Cantidad (horas)	Costo por hora (incluye prestaciones)	Total
Operador de patrol	114	Q. 27,78	Q. 3 166,92
Operador Compactadora	100	Q. 27,78	Q. 2 778,00
Operador pipa	56	Q. 15,60	Q. 873,60
Operador camión de volteo	280	Q. 15,60	Q. 4 368,00

Continuación de la tabla XXXI.

Operador de excavadora	280	Q. 19,50	Q. 5 460,00
Ayudante 1	225,00	Q. 9,17	Q. 2 062,50
Ayudante 2	225,00	Q. 9,17	Q. 2 062,50
			Q. 20 771,52

Materiales	Cantidad m³	Costo Unitario	Total
Agregado de 1/4"	3 750	Q. 190,00	Q. 712 500,00
Agregado de 1 1/4"	3 750	Q. 230,00	Q. 862 500,00
Cemento (sacos)	5 000	Q. 60,00	Q. 300 000,00
Cal (sacos)	5 000	Q. 40,00	Q. 200 000,00
Geotextil no tejido NT 1800 (m ²)	15 000	Q. 16,00	Q. 240 000,00
Suma			Q. 2 315 000,00

Costo Mantenimiento (15% total de materiales)	Mantenimiento preventivo	Q. 347 250,00
--	--------------------------	---------------

F.I.	Q. 881 633,20
Imprevistos	Q. 146 938,87
SUB-TOTAL SIN IVA	Q. 3 542 276,23
SUB-TOTAL IVA	Q. 476 081,93
TOTAL	Q. 4 018 358,16

Continuación de la tabla XXXI.

Tiempo de ejecución (h)	Volumen m³	Costo por año
775	7 500	Q. 328 275,65

Fuente: elaboración propia.

3.3.1.1.4. Costo para carpeta de concreto hidráulico

Representa en tiempo de construcción un receso de actividades, pero conlleva un mejor ambiente de trabajo dentro del túnel. Su alto costo inicial deja de ser representativo con el tiempo, ya que logra una reducción de costos en todo sentido.

Tabla XXXII. **Estudio de carpeta de concreto hidráulico**

Datos		
Longitud tramo	3 000	m
Ancho	5	m
Espesor	0,2	m
Volumen	3 000	m ³
Tipo de carpeta	Concreto hidráulico	
Duración de carpeta	20	Años
Tiempo de ejecución	457	Horas

Continuación de la tabla XXXII.

Base	15 cm
Subbase	20 cm

Maquinaria	Costo sin operador por hora
Patrol	Q. 358,80
Compactadora	Q. 390,00
Pipa de agua	Q. 230,00
Camión de volteo (m ³ -Km.)	Q. 4,20
Excavadora	Q. 370,00

Personal	Cantidad	Costo por hora (incluye prestaciones)
Operador Maquinaria (Patrol)	1	Q. 27,78
Operador Maquinaria (Rodo compactador)	1	Q. 27,78
Operador de camión	1	Q. 15,60
Operador de pipa	1	Q. 15,60
Operador de Excavadora	1	Q. 19,50
Ayudante	2	Q. 9,17

Continuación de la tabla XXXII.

Capa	Acarreo (Km.)	Total de viajes	Total de m³-Km.
Base	2,75	312,5	10 312,5
Subbase	1,65	187,5	3 712,5
		TOTAL	14 025

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Tiempo aproximado para realizar actividades**

Actividades	Encargado	Tiempo (h)
Limpiar terreno (3000m)	Patrol	22
Colocar geotextil	Ayudante	25
Aplicar 15 cm de selecto	Camión de volteo	70
Regar material	Patrol	13
Aplicar agua	pipa de agua	7
Compactar	Compactadora	25
Densidad de campo	Laboratorista	10
Aplicar 10 cm de selecto	Camión de volteo	78
Regar material	Patrol	20
Aplicar agua	pipa de agua	7
Compactar	Compactadora	25
Densidad de campo	Laboratorista	10
Aplicar 10 cm de selecto	Camión de volteo	78
Regar material	Patrol	20

Continuación de la tabla XXXIII.

Aplicar agua	pipa de agua	7
Compactar	compactadora	25
Densidad de campo	Laboratorista	10
Aplicar concreto	Contratista	5
		457

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Costo para carpeta de concreto hidráulico**

Maquinaria	Cantidad (horas)	Costo sin operador por hora	Total
Patrol	75	Q. 358,80	Q. 26 910,00
Compactadora	75	Q. 390,00	Q. 29 250,00
Pipa de agua	21	Q. 249,60	Q. 5 241,60
Camión de volteo	41 250	Q. 4,20	Q. 58 905,00
Excavadora	226	Q. 370,00	Q. 234 651,60
			Q. 213 703,20

Personal	Cantidad (horas)	Costo por hora (incluye prestaciones)	Total
Operador de patrol	75	Q. 358,80	Q. 26 910,00
Operador Compactadora	75	Q. 390,00	Q. 29 250,00
Operador pipa	21	Q. 249,60	Q. 5 241,60
Operador camión de volteo	226	Q. 15,60	Q. 3 525,60
Ayudante 1	25	Q. 281,69	Q. 7 042,25
Ayudante 2	25	Q. 281,69	Q. 7 042,25
Operador de excavadora	226	Q. 19,50	Q. 4 407,00
			Q. 83 418,71

Continuación de la tabla XXXIV.

Materiales	Cantidad m³	Costo Unitario	Total
Concreto 4500 psi incluye aditivo	3 000	Q. 2 500,00	Q. 7 500 000,00
Geotextil no tejido NT 1800 (m ²)	15 000	Q. 16,00	Q. 240 000,00
		Suma	Q. 7 740 000,00

Otras actividades	Cantidad	Costo Unitario	Total
Ensayo de densidad de campo para base y subbase	45	Q. 120,00	Q. 5 400,00
Laboratorista	1	Q. 3 400,00	Q. 3 400,00
		Suma	Q. 8 800,00

Costo Mantenimiento	Mantenimiento preventivo	Q. 1 161 000,00
----------------------------	--------------------------	-----------------

F.I.	Q. 2 762 076,57
Imprevistos	Q. 460 346,10
SUB-TOTAL SIN IVA	Q. 8 220 465,99
SUB-TOTAL IVA	Q. 1 104 830,63
TOTAL	Q. 9 325 296,62

Tiempo de ejecución (h)	Volumen m³	Costo por año
457	3 000	Q. 622 881,25

Fuente: elaboración propia.

Se asume que el material selecto para la base y subbase se encuentra en el lugar, por lo cual sólo se calcula el acarreo.

3.4. Ensayos de laboratorio

Los datos obtenidos por medio de procedimientos de laboratorio y procedimientos de campo reflejan un comportamiento y cualidades aproximadas del suelo estudiado bajo ciertas características. Para esta actividad se extrajo material mineral y material estéril de Mina Marlin.

Figura 36. **Extracción de muestra**



Fuente: cámara 3 nivel de acarreo. Mina Marlin.

Tomando como base los procedimientos estándares prescritos por la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM, American Standard for Testing Materiales) y la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO, American Association of State High-way and Transportation Officials) se trasladó el material al laboratorio para realizar su análisis.

Para estudiar el suelo de la Mina Marlin se hicieron los ensayos siguientes:

3.4.1. Compactación (Proctor)

AASHTO T180-01: Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4, 54 kg (10 lb) Rammer and a 457 mm (18 in)

ASTM D1557-07: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56 000 ft-lbf/ft³ (2 700 kN-m/m³))

Figura 37. **Material previo a aplicarse porcentaje de agua**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Ingeniería USAC.

Figura 38. **Material uniformemente húmedo**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Ingeniería USAC.

Figura 39. **Material compactado a 25 golpes**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Ingeniería USAC.

Figura 40. **Material razado**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Ingeniería USAC.

3.4.2. **Relación soporte california (CBR)**

AASHTO T193-99: Standard Method of Test for The California Bearing Ratio.

ASTM D1883-07: Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils

Figura 41. **Preparación de material para ensayo CBR 10 golpes**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Ingeniería USAC.

Figura 42. **Preparación de probetas para correr el CBR**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Ingeniería USAC.

Tabla XXXV. **Clasificación típica para el uso de diferentes materiales AASHTO T-193**

No. CBR	Clasificación	
	General	Usos
40	Regular	Subbase
70	Buena	Base

Fuente: capa de subbase y Base Granular, Sección 304-1. Libro Azul de Caminos.

3.4.3. Granulometría

AASHTO T087-86: Standard Method of Test for Dry Preparation of Disturbed Soil and Soil-Aggregate Samples for Test.

Figura 43. **Material previo a lavarse**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Ingeniería, USAC.

Figura 44. **Lavado de material**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Ingeniería USAC.

Figura 45. **Colocación de material en tamices**



Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos, Ingeniería USAC.

3.4.4. Plasticidad

Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de de espesor con el suelo extraído dentro del túnel.

3.4.4.1. Límite líquido

AASHTO T089-02: Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils.

ASTM D423-66 (1982): Method of Test for Liquid Limit of Soils.

3.4.4.2. Límite plástico

AASHTO T090-00: Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity index of Soils.

ASTM D424-54 (1 982): Standard Method of Test for Plastic Limit.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados de campo

Se ha realizado los análisis de laboratorio correspondientes a los dos tipos de material existentes en Mina Marlin (estéril y mineral), obteniendo los siguientes resultados:

4.1.1. Suelo estéril

Suelo muy pobre en sales minerales, lo que lo convierte en residuo que debe ser extraído del túnel para permitir la exploración del mineral útil. Un estudio de suelos puede determinar si es apto o no para la aplicación como carpeta de rodadura.

4.1.1.1. Proctor modificado

El ensayo de compactación para el suelo estéril, ha demostrado que se necesita aproximadamente la mitad de humedad que existe en el material que se encuentra en campo, para poder lograr el contenido de agua óptimo.

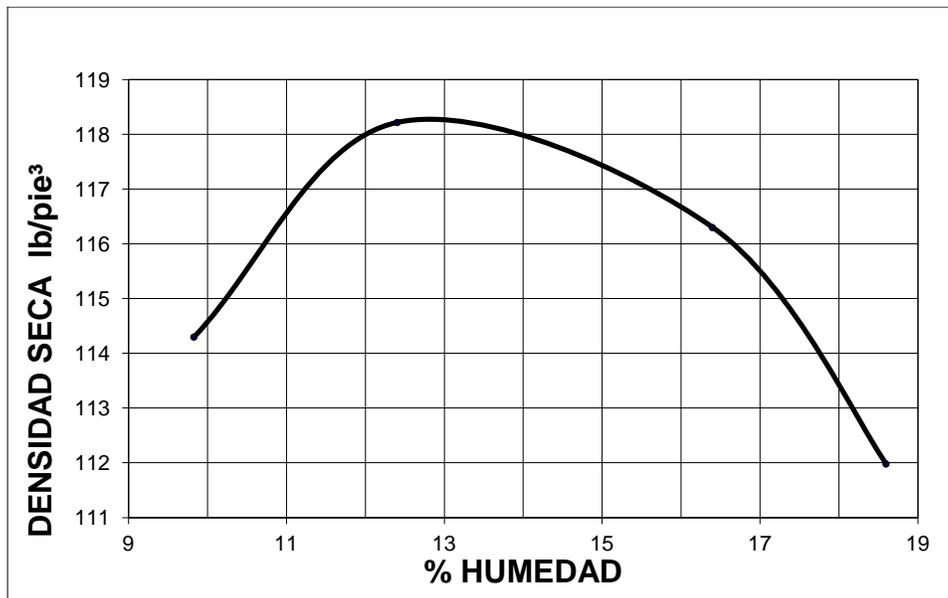
Tabla XXXVI. **Peso unitario seco máximo y humedad óptima para suelo estéril**

P.U.S.	% H.
114,3	9,8
118,2	12,4
116,3	16,4
112,0	18,6

PUS Máx.	1 895,166	kg/m ³
	118,3	lb/pie ³
Humedad Óptima	12,7	%

Fuente: elaboración propia con base en resultados del ensayo.

Figura 46. **Curva peso unitario seco versus humedad relativa**



Fuente: elaboración propia con base en resultados del ensayo.

Descripción: grava arcillosa.

4.1.1.1. Conclusión

En campo este material sufre de una excesiva carga de agua, por lo que lograr la humedad óptima es una tarea imposible.

4.1.1.2. Relación de Soporte California (CBR)

Representa la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte.

Tabla XXXVII. Datos del ensayo de expansión para CBR

Para 65 golpes						
Inmersión y expansión			Sobrepesos 10 lb			
Día/Hora	260312	10:00	270312	10:00	280312	10:10
Lectura Dial	6		7		7	
Expansión en plg.	0,006		0,007		0,007	
Expansión %	0,13		0,15		0,15	
Para 30 golpes						
Inmersión y expansión			Sobrepesos 10 lb			
Día/Hora	260312	10:00	270312	10:00	280312	10:10
Lectura Dial	7		8		8	
Expansión en plg.	0,007		0,008		0,008	
Expansión %	0,15		0,17		0,17	
Para 10 golpes						
Inmersión y expansión			Sobrepesos 10 lb			
Día/Hora	260312	10:00	270312	10:00	280312	10:10
Lectura Dial	5		6		6	
Expansión en plg.	0,005		0,006		0,006	
Expansión %	0,11		0,13		0,13	

Fuente: elaboración propia con base en resultados de ensayo.

Tabla XXXVIII. **Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido**

Para 65 golpes							
Penetración pulgadas	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,3
Lectura dial del anillo	18	48	140	220	240	300	385
Carga lb	91,795	228,02	645,78	1 009,06	1 099,9	1 372,3	1 758,3
Para 30 golpes							
Penetración pulgadas	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,3
Lectura dial del anillo	17	65	135	165	245	280	345
Carga lb	87,254	305,22	623,08	759,307	1 122,6	1 281,5	1 576,7
Para 10 golpes							
Penetración pulgadas	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,3
Lectura dial del anillo	11	37	62	70	93	108	125
Carga lb	60,01	178,07	291,59	327,92	432,36	500,48	577,67

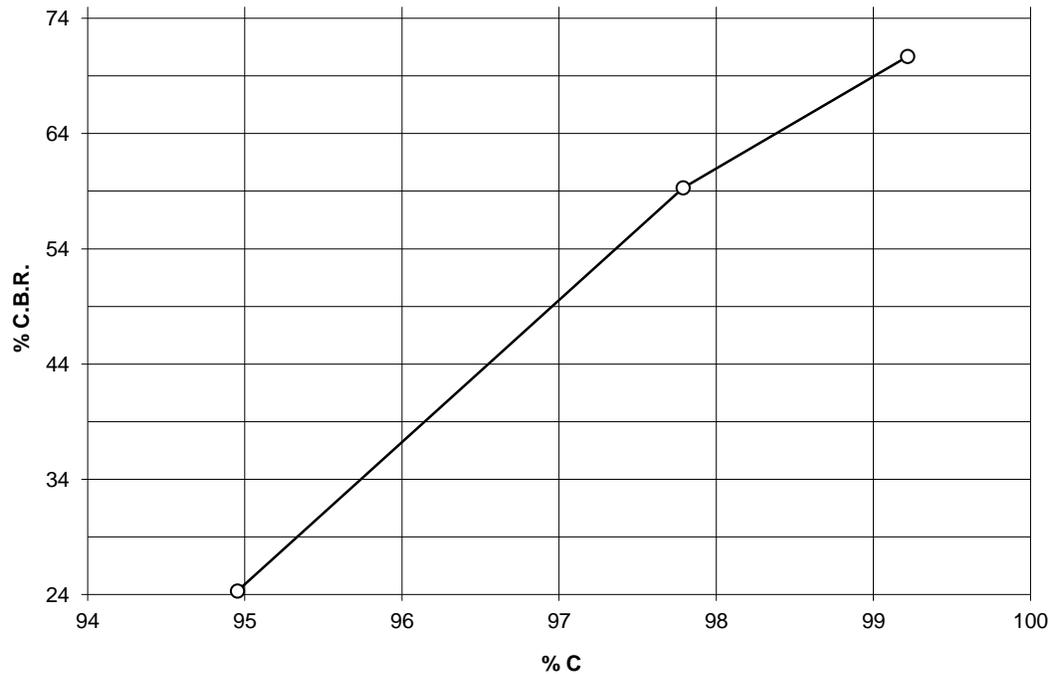
Fuente: elaboración propia con base en resultados de ensayo.

Tabla XXXIX. **Datos para construir curva porcentaje de CBR versus porcentaje de compactación**

Probeta	Golpes	A la Compactación		C	Expansión	CBR
		H (%)	γ_d (Lb/pie³)			
1	10	16,50	112,3	95,0	0,13	24,3
2	30	16,50	115,7	97,8	0,17	59,3
3	65	16,50	117,4	99,2	0,15	70,7

Fuente: elaboración propia con base en resultados de ensayo.

Figura 47. **Curva porcentaje CBR versus porcentaje compactación**



Fuente: elaboración propia con base en resultados del ensayo.

4.1.1.2.1. Conclusión

CBR muy bajo al 95 por ciento de compactación, de preferencia retirarlo del lugar para que no se vea afectado el material que se utilice posteriormente.

4.1.1.3. Análisis granulométrico

Es la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos conformados en el suelo del túnel con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Tabla XL. **Análisis granulométrico por tamizado**

Análisis con tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50	100,00
3/4"	19,00	87,10
4	4,76	41,01
10	2,00	31,44
40	0,42	29,22
200	0,074	14,67

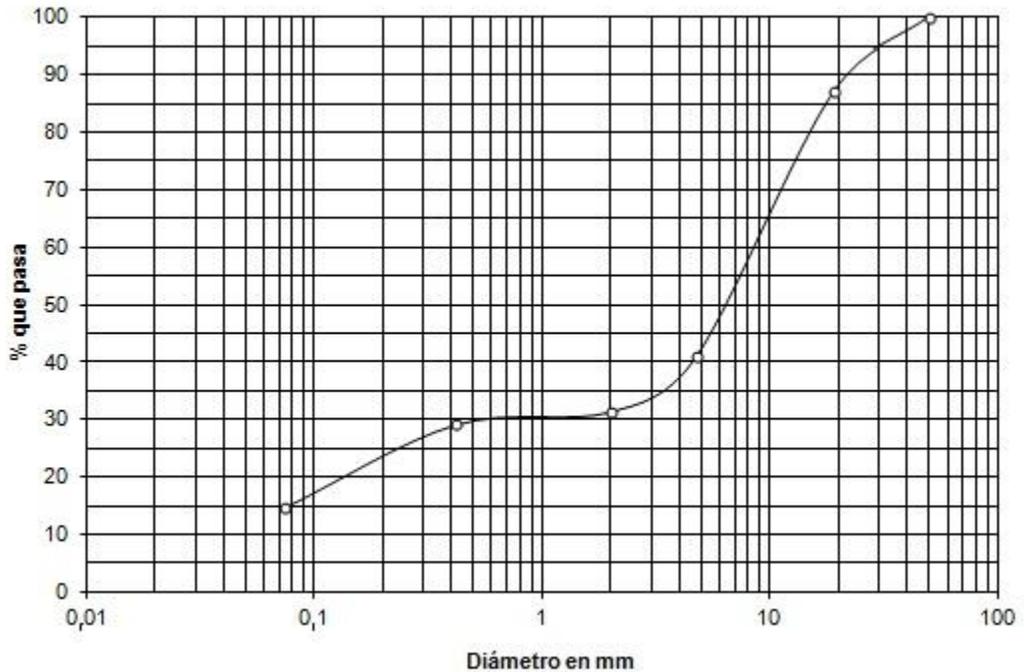
Fuente: elaboración propia con base en resultados de ensayo.

Porcentaje de grava: 46,09

Porcentaje de arena: 39,24

Porcentaje de finos: 14,67

Figura 48. **Curva de distribución granulométrica por tamizado**



Fuente: elaboración propia con base en resultados de ensayo.

Descripción del suelo: arena limosa con pómez

Clasificación S.C.U.: GC P.R.A.: A-1-a

4.1.1.3.1. Conclusión

La granulometría no es aceptable debido que los porcentajes de materiales encontrados en el material son desbalanceados. Mal resultado de CBR no permite que sea usado.

4.1.1.4. Plasticidad

Se determina bajo la acción del agua, aplicando cierta deformación al suelo sin que éste se deforme.

Tabla XLI. Resultado de límites de Atterberg

<i>Ensayo</i>	<i>Muestra</i>	<i>L.L. (%)</i>	<i>I.P. (%)</i>	<i>C.S.U.</i>	<i>Descripción del Suelo</i>
1	1	NP	NP	SM	Grava Arcillosa

Fuente: elaboración propia con base en resultados del ensayo.

4.1.1.4.1. Conclusión

El material no presenta resistencia a la deformación, lo cual indica que no contiene límite líquido y límite plástico.

4.1.2. Suelo mineral

A diferencia del suelo estéril, el suelo mineral solamente se encuentra dentro del túnel en los residuos que han quedado en el suelo debido a voladuras existentes en ese lugar, el resto de material es sacado para extraer el mineral que contiene.

4.1.2.1. Proctor modificado

La humedad óptima del suelo mineral mantiene un nivel diferente al suelo estéril, pero al igual que éste, su contenido de agua se encuentra en un porcentaje menor al encontrado en campo.

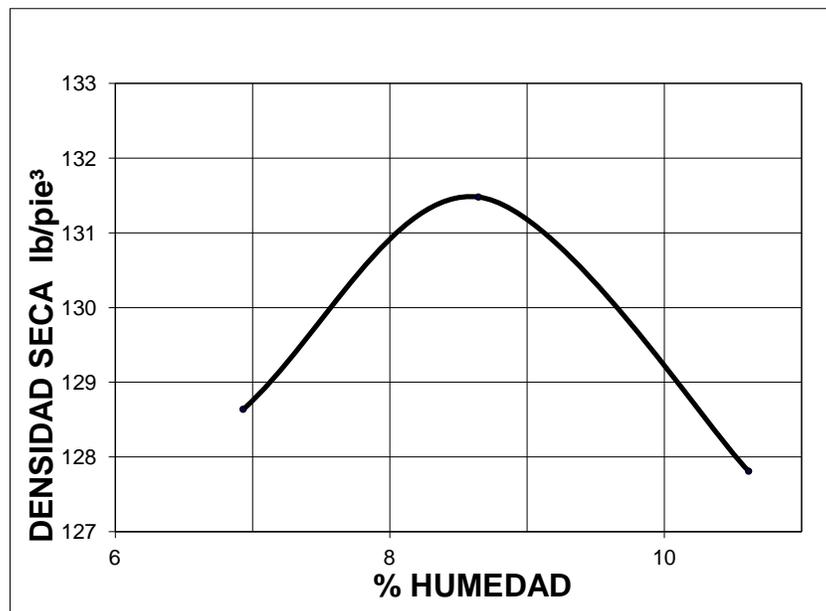
Tabla XLII. **Peso unitario seco máximo y humedad óptima para suelo mineral**

P.U.S.	% H.
128,6	6,9
131,5	8,6
127,8	10,6

PUS Máx.	2 114,64	kg/m ³
	132	lb/pie ³
Humedad Óptima	8,6	%

Fuente: elaboración propia con base en resultado del ensayo.

Figura 49. **Curva peso unitario seco versus humedad relativa**



Fuente: elaboración propia con base en resultado del ensayo.

4.1.2.1.1. Conclusión

El suelo mineral logra una humedad óptima diferente al suelo estéril. Sin embargo mantiene la relación de contar en campo con excesiva cantidad de agua por lo que lo convierte en un material de apariencia pastosa.

4.1.2.2. Relación de Soporte California (CBR)

El ensayo realizado muestra leves diferencias respecto al suelo estéril. No muestra mayor expansión al ser sumergido en agua.

Tabla XLIII. Datos del ensayo de expansión para CBR

Para 65 golpes						
Inmersión y expansión			Sobrepesos 10 lb			
Día/Hora	270312	10:00	280312	10:00	290312	10:24
Lectura Dial	6		7		7	
Expansión en plg.	0,006		0,007		0,007	
Expansión %	0,13		0,15		0,15	
Para 30 golpes						
Inmersión y expansión			Sobrepesos 10 lb			
Día/Hora	270312	10:00	280312	10:00	290312	10:24
Lectura Dial	7		8		8	
Expansión en plg.	0,007		0,008		0,008	
Expansión %	0,15		0,17		0,17	

Continuación de la tabla XLIII.

Para 10 golpes						
Inmersión y expansión			Sobrepesos 10 lb			
Día/Hora	270312	10:00	280312	10:00	290312	10:24
Lectura Dial	5		6		6	
Expansión en plg.	0,005		0,006		0,006	
Expansión %	0,11		0,13		0,13	

Fuente: elaboración propia con base en resultado del ensayo.

Tabla XLIV. **Datos de carga-penetración para el ensayo CBR sumergido**

Para 65 golpes							
Penetración pulgadas	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,3
Lectura dial del anillo	17	50	135	182	120	250	380
Carga lb	87,2541	237,10	623,08	836,50	554,97	1 145,28	1 735,60
Para 30 golpes							
Penetración pulgadas	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,3
Lectura dial del anillo	17	60	130	95	250	122	345
Carga lb	87,25	282,51	600,38	441,44	1 145,28	564,05	1 576,67

Continuación de la tabla XLIV.

Para 10 golpes							
Penetración pulgadas	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,3
Lectura dial del anillo	14	35	60	25	90	63	130
Carga lb	73,63	168,99	282,51	123,58	418,74	296,14	600,38

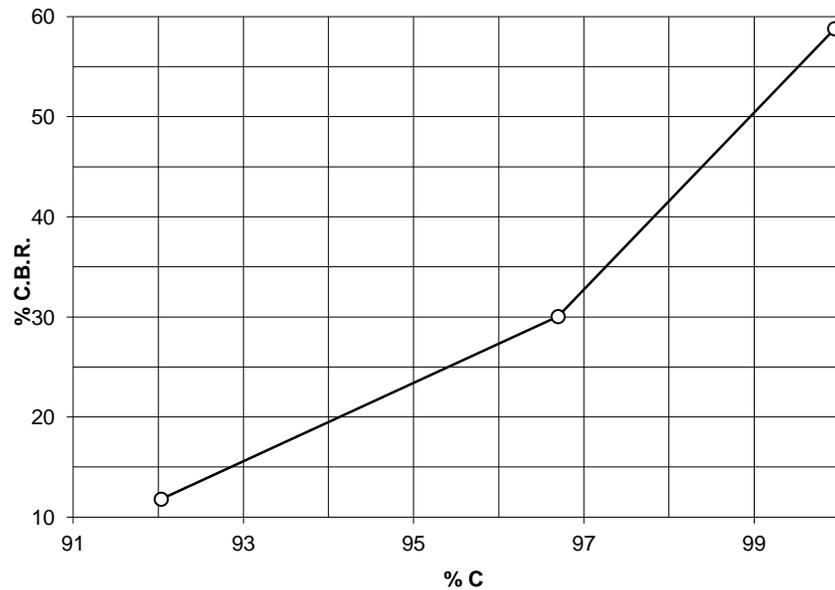
Fuente: elaboración propia con base en resultado del ensayo.

Tabla XLV. **Datos para construir curva porcentaje de CBR versus porcentaje de compactación**

Probeta No.	Golpes No.	A la Compactación		C (%)	Expansión (%)	CBR (%)
		H (%)	Yd (Lb/pie ³)			
1	10	16,50	121,5	92,0	0,10	11,8
2	30	16,50	127,6	96,7	0,12	30,0
3	65	16,50	131,9	99,9	0,16	58,8

Fuente: elaboración propia con base en resultado del ensayo.

Figura 50. **Curva porcentaje CBR versus porcentaje compactación**



Fuente: elaboración propia con base en resultado del ensayo.

4.1.2.2.1. Conclusión

Al agregar agua al material mineral produce comportamientos similares al estéril, por tal motivo no es aceptable.

4.1.2.3. Granulometría

A diferencia del suelo estéril, el ensayo del suelo mineral muestra restos de roca pirita y partículas de tamaños similares, esto debido a que el material presenta menos resistencia en una voladura.

Tabla XLVI. **Análisis granulométrico por tamizado**

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50	
3/4"	19,00	100,00
4	4,76	72,10
10	2,00	68,93
40	0,42	56,25
200	0,074	32,34

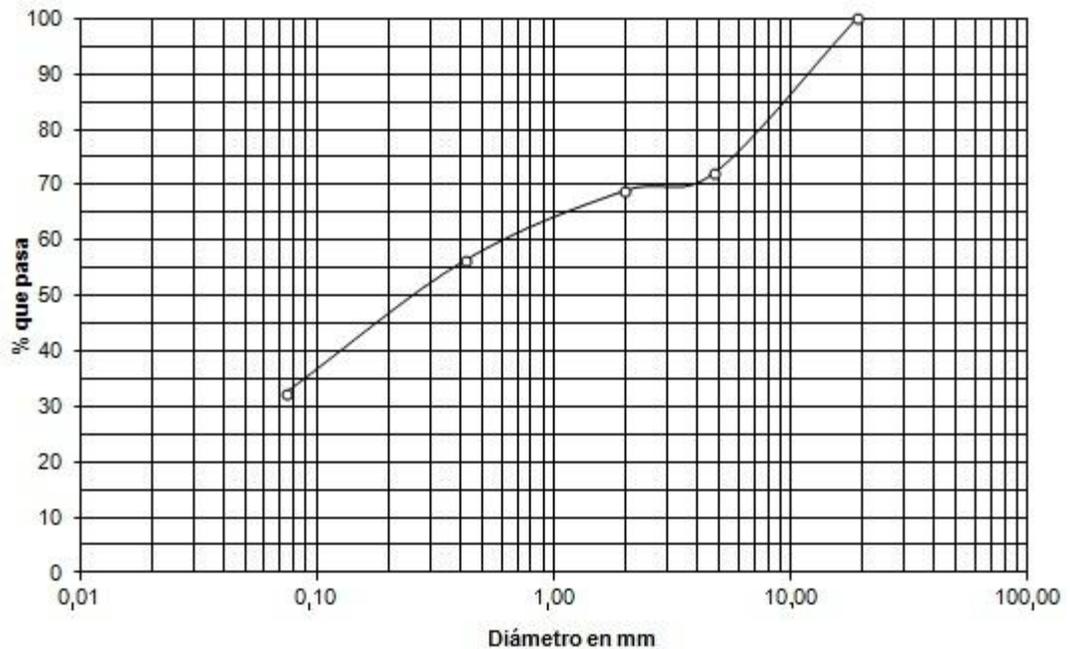
Fuente: elaboración propia con base en resultados del ensayo.

Porcentaje de grava: 27,90

Porcentaje de arena: 39,76

Porcentaje de finos: 32,34

Figura 51. **Curva de distribución granulométrica por tamizado**



Fuente: elaboración propia con base en resultado del ensayo.

Descripción del suelo: arena limosa

Clasificación S.C.U.: SP-SM P.R.A.: A-1-7

4.1.2.3.1. Conclusión

El ensayo muestra mejor distribución de partículas, pero CBR no es aceptable según la AASHTO T-193 (ver tabla XXXV).

4.1.2.4. Plasticidad

El ensayo muestra cambios en el suelo, ya que éste presenta propiedades de adhesión lo cual permite la resistencia a deformaciones.

Tabla XLVII. **Resultado de límites de Atterberg**

Ensayo	Muestra	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U.	Descripción del Suelo
1	1	65,3	32,6	SC	Grava y Arena Arcillosa

Fuente: elaboración propia con base en resultado del ensayo.

4.1.2.4.1. Conclusión

A diferencia del suelo estéril, el mineral cuenta con índice de plasticidad. Aún así, es recomendable retirar todo material con características similares a los suelos en estudio, debido que en campo es de gran dificultad su manejo.

4.2. Tabulación de datos

A continuación se presentan las tablas referidas a los costos de mantenimiento de neumáticos respecto a la carpeta de rodadura actual y las propuestas en el presente trabajo, realizando un marco comparativo tomando como indicador el sobre costo que se produce actualmente.

Se tomará como base un camión y un cargador de bajo perfil (AD30 y *Scooptram*).

Tabla XLVIII. **Sobrecosto actual**

Maquinaria	Cantidad	Sobre-costo por un año	Reencauche	Total
AD30	1	Q. 520 790,40	Q. 100 000,00	Q. 620 790,40
<i>Scooptram</i> R1700	1	Q. 258 987,46	Q. 120 000,00	Q. 378 987,46
				Q. 999 777,86

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Sobrecosto al 75 por ciento de vida útil del neumático**

Maquinaria	Cantidad	Sobre-costo por un año al 75%
AD30	1	Q. 73 981,44
<i>Scooptram</i> R1700	1	Q. 84 273,68
		Q. 158 255,12

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Costo por año para diferentes tipos de carpeta**

Carpeta	Cantidad m	Costo por año
Bach	3 000	Q. 3 455 318,15
Grava sencilla	3 000	Q. 633 185,24
Grava formal	3 000	Q. 328 275,65
Concreto hidráulico	3 000	Q. 615 162,96

Fuente: elaboración propia.

4.3. Interpretación de resultados

El principal objetivo de la investigación era demostrar que una carpeta de rodadura dentro de la mina beneficia en varios aspectos, tanto como en la mejora de los ambientes de trabajo como en los costos de la maquinaria utilizada.

Cabe mencionar que el presente trabajo maneja costos solamente de dos maquinarias: camión de carga AD30 y cargador de bajo perfil *Scooptram R1700*. Esto a manera de mostrar una idea general de cuánto dinero debe invertirse para poder llevar a cabo las tareas dentro del túnel.

Por ser maquinaria especial los neumáticos toman un papel importante por el alto costo de cada unidad. Eso indica que debe aplicarse un sistema que permita el buen manejo y cuidado de éstos.

Los resultados obtenidos permiten tener una elección para las distintas opciones propuestas, dejando descartada la de bach (concreto pobre) por su alto costo anual. Todo dependerá de la calidad de trabajo que se desee obtener.

Al observar que para dos maquinarias el sobre-costos por año se eleva aproximadamente al millón de quetzales es necesario buscar soluciones para que el problema sea erradicado. Esto debido a que la cantidad de maquinaria utilizada realmente dentro de Mina Marlin es un número mayor al estudiado.

Los datos que la tabla 48 indica cuánto dinero se ahorraría al año al aplicarse un sistema que permita que los neumáticos incrementen su tiempo de vida útil. Tomando bases de otras minas el 75 por ciento de éste, el sobre-costos sería menor.

Por tal motivo queda demostrado que existen 3 posibles opciones para aplicar ya que mantienen un costo menor al sobre costo que actualmente se maneja.

La solución es sencilla y representará un alto costo inicial, pero a largo plazo demostrará fluidez en el avance de la obra y la eliminación de gastos imprevistos.

4.4. Alternativas para la optimización del ciclo de acarreo y transporte del material en tunelería

En el mundo de la minería como en cualquier otra actividad productiva, la competitividad que existe en cuanto a precios y costos de oportunidad, obliga a buscar nuevos métodos y técnicas que contribuyan a este objetivo.

En los capítulos anteriores se ha estudiado la forma de optimizar a través de diferentes parámetros el ciclo de acarreo y transporte del material.

Sin embargo hay factores que no se tomaron en cuenta, y que algunos de ellos no dependen de una buena carpeta de rodadura, sino que se basan en el buen desempeño del trabajador dentro del túnel.

4.4.1. Operadores capacitados

Es necesario para un buen resultado, exista un buen operador, con operaciones sencillas de manejo, no sobrepasando los límites de velocidad y no aplicando sobrecargas al camión se obtendrán resultados satisfactorios.

Figura 52. **Capacitación de personal para lograr mayor eficiencia**



Fuente: oficina Grupo EMO. Mina Marlin.

El piloto debe esquivar toda roca de tamaño considerable que se encuentre en el camino, ya que si omite esta tarea se corre el riesgo de que el neumático pierda su vida útil.

Si no es posible esquivarla debe buscarse la forma de quitarla del camino, ya sea bajando del camión y apartándola del camino o llamando al *Scooptram* para que con la pala la remueva.

Se ha comprobado que para el camión AD30 debe usarse el *Scooptram* R1700, ya que éste cumple con las especificaciones en cuanto a tamaño para no ser forzado como lo haría el *Scooptram* R1300 por su menor tamaño.

Si por algún motivo solo se cuenta con un *Scooptram* de menor tamaño es ideal que el operador de éste cree una rampa para hacer llegar el cucharón a la altura del camión. La rampa mencionada debe mantener todas las puntas de las rocas fuera del alcance de los neumáticos del *Scooptram* para evitar que con el impulso que lleve al iniciar la rezaga corte a éstos.

No se debe sobrecargar el camión ya que sufría desgaste prematuro en su sistema de eje, además que se estaría forzando el motor de manera innecesaria.

Por tales razones debe llevarse de la mano un buen operador junto con una buena carpeta de rodadura.

4.4.2. Metodología para el acarreo y transporte del material

Tanto el operador del *Scooptram* (cargador de bajo perfil), como del camión deben estar totalmente comunicados haciendo uso del radio, luces y bocina. La forma correcta para realizar la rezaga de material es el siguiente:

- El *Scooptram* entra a la zona donde se ha realizado la voladura y comienza a apilar todo el material detonado. Previo a esto coloca una luz al menos 20 metros de distancia, la cual advierte al personal que se está trabajando con la maquinaria pesada cerca del lugar.
- El camión de retroceso busca una posición favorable y cuando ya se encuentre de forma correcta el operador del *Scooptram* bocina para indicar que debe parar.

- El *Scooptram* toma con el cucharón el material, y con movimientos ligeros intenta quitar el exceso de roca.
- Eleva el cucharón a medida que sobrepase el camión y comienza a descargar el material en forma uniforme.
- Se repite el proceso desde el paso 3 hasta llenar el balde del camión, teniendo en cuenta no sobrecargarlo para que éste no deje tirado restos de roca en el camino.
- El *Scooptram* bocina indicando que el camión puede comenzar a tomar marcha para sacar el material a la escombrera.
- Mientras el camión retorna el operador del *Scooptram* apila nuevamente el material que ha dejado regado mientras cargaba.
- De nuevo al llegar al lugar el camión repite los procedimientos desde el paso dos hasta que se haya concluido la extracción del material.

4.4.3. Accesorios adicionales para la maquinaria

Un accesorio adicional puede aumentar la vida útil de los neumáticos de manera considerable, que incluso llegue a cumplirla y sobrepasarla.

Las cadenas que se ofrecen en el mercado parece ser una buena alternativa si se encuentra en un tramo con mucho lodo. Éstas garantizan el trabajo continuo protegiendo el neumático.

Igualmente entra en juego de nuevo la capacidad del operador para poder lograr un buen desempeño de la maquinaria.

Representan un alto costo inicial, pero aseguran la vida útil del neumático.

Figura 53. **Cadena protectora en *Scooptram***



Fuente: cotización cadena de tracción. GENTRAC.

CONCLUSIONES

1. Dentro de las operaciones unitarias el acarreo y transporte es la que abarca mayor cantidad de análisis, ya que se encuentran directamente ligadas entre sí a través de un alto costo de ejecución, por lo tanto el dimensionamiento de la flota adecuada considera las dos operaciones unitarias como un conjunto, debiendo recurrir al análisis de distintas combinaciones de equipos.
2. El trabajo respecto al ciclo de cargue y acarreo de material rocoso resultante de una voladura puede ser mejorado a través de la implementación de una carpeta de rodadura y procedimientos que garanticen el buen uso de la maquinaria y equipo.
3. La ejecución de una carpeta de rodadura debe de ir ligada a una capacitación constante con el personal operativo para obtener una reducción de costos considerable, implementando nuevos conocimientos en el manejo de la maquinaria.
4. El alto costo inicial y el paro de actividades son razones por las cuales no se ejecuta un proyecto que garantice la producción continua, pero estadísticamente es posible optimizar costos de forma ascendente (mientras aumente el número de la flota de camiones y *scooptram* el ahorro sería mayor) solamente en lo referente a los neumáticos de la maquinaria.

RECOMENDACIONES

1. Poseer una amplia flota de maquinaria para el acarreo y transporte eleva el riesgo de pérdidas excesivas en neumáticos, por lo que implementar ideas como las carpetas de rodadura, que en minas de otros países ha obtenido buenos resultados, es una forma sencilla de erradicar el problema.
2. Capacitar constantemente al operador asegura aspectos como la responsabilidad al conducir, el respeto a los límites de velocidad, la reducción de incidentes y el aumento de la vida útil de neumáticos y maquinaria en general.
3. En distintas ocasiones el *Scooptram* R1300 abastecía de material detonado a los camiones AD30, en esta actividad es recomendado crear una rampa que permita que el cucharón llegue a la parte trasera del camión, ya que esto genera desgaste prematuro de los neumáticos, debido a la baja altura que el *Scooptram* mantiene respecto a éste. En la manera de lo posible evitar que cargadores menores realicen esta actividad.
4. Ejecutar un plan de limpieza con el material que al ser acarreado queda esparcido en el suelo, esto con el afán de reducir la posibilidad de un corte directamente a los neumáticos.
5. Apilar el material luego de cargar un camión es una actividad que aprovecha el material al máximo y mantiene limpia las vías de acceso.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMSTRONG, James R.; MENON, Raji. *Minas y canteras*. Sumario 74. Ginebra: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, 2011. 63 p.
2. BALDEÓN QUISPE, Zoila Lilian. *Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en CIA. Minera Condestable S.A.* Trabajo de graduación de Ingeniería de Minas, Perú: Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica, 2011. 103 p.
3. CASTRO, Raúl. *Manejo de minerales y ventilación*. [en línea]: https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:T0ScKMpiWNAJ:https://www.ucursos.cl/ingenieria/2008/1/MI57G/1/material_docente/objeto/173326+profesor+raul+castro&hl=es&gl=gt&pid=bl&srcid=ADGEEShyWtV8DyJ-0h9QMi5u23kvnLJ-Xnu_hwHTDjJA7eNOBM_Uw2mS_z61WYxXhj8mnOG8OVEA2ppZ3UbCRMfATE38ynCTR_Plu1IXI8_SQtsUjT7deovvtPWfSCfbEGkEAUUV7VTVB&sig=AHIEtbQ53LJ7s83e0yb_h0e-b7jckawjpw. [Consulta: 7 de febrero de 2012].
4. CATERPILLAR. *Manual de rendimiento*. 30 ed. EEUU: Caterpillar, 1999. 900 p.

5. DÍAZ AGUADO, María B. *Carga, transporte y extracción en minería subterránea*. España: Septem, 2006. 162 p.
6. KAUFMAN, Walter. *Design of mine haulage roads-A Manual*. Washington, USA: Bureau of Mines, 1977. 66 p.
7. SEGUEL HERRERA, Claudio Andrés. *Hormigones de alta resistencia H-70*. Trabajo de graduación de Ing. Civil en Obras Civiles. Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2006. Facultad de Ciencias de La Ingeniería. 125 p.

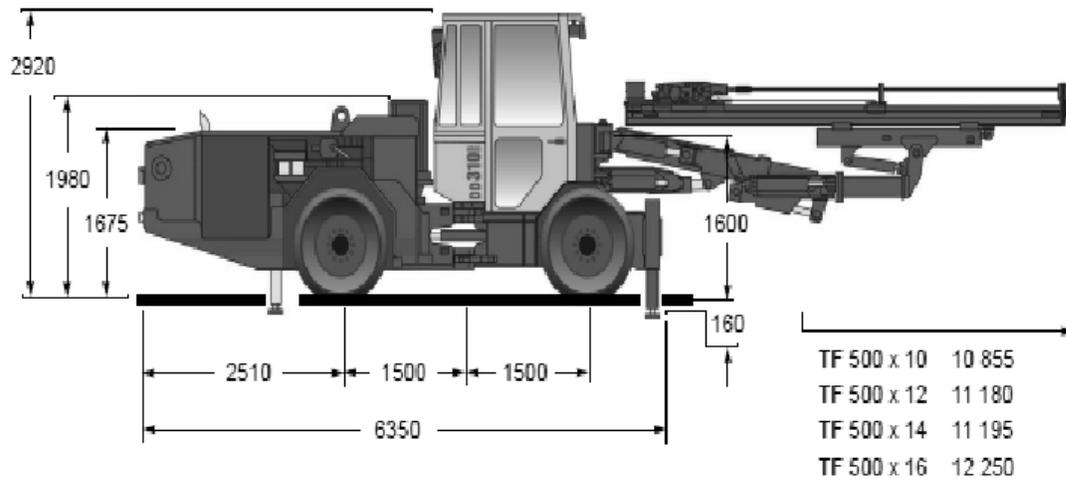
APÉNDICES

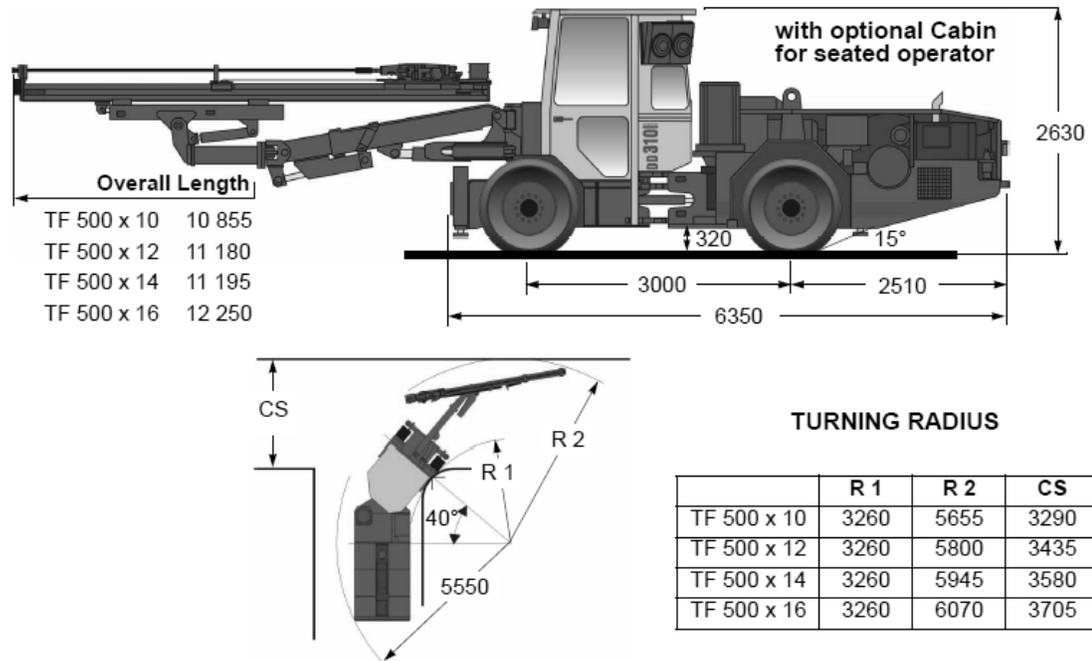
A continuación se detallan los equipos de perforación utilizados en Mina Marlin.

- Equipo de perforación utilizado para realizar el proceso de perforación
 - Sandvik DD310-26C: es un *jumbo* el cual es un equipo electro-hidráulico de pluma utilizado para el desarrollo de minas y túneles con secciones de hasta 38 metros cuadrados.
 - Características principales
 - ✓ Transportista 1 x TC 5
 - ✓ Cabina de seguridad 1 x FOPS / ROPS
 - ✓ *Rock Drill* 1 x HLX5
 - ✓ Alimentación 1 x TF 500
 - ✓ *Boom* 1 x B 26 F
 - ✓ Sistema de control 1 x THC 560
 - ✓ *Powerpack* 1 x 560 HP (55 kW)
 - ✓ *Shank* dispositivo de lubricación 1 x 10-1 KVL
 - ✓ Compresor de aire 1 x CT 10
 - ✓ Bomba de agua 1 x 1 WBP
 - ✓ Interruptor 1 x 05 MSE
 - ✓ Carrete de cable 1 x 1 TCR
 - ✓ Longitud 10 855 mm
 - ✓ Anchura 1 750 mm
 - ✓ Altura 2 920 mm
 - ✓ Peso (sin opciones) 12 000 kg

- ✓ Velocidad
- ✓ Horizontal 12 kmh
- ✓ 14% = 01:07 = 8 ° 5 kmh
- ✓ Accesibilidad en pendientes, máx 35%
- ✓ Nivel de ruido <85 dB (A)

Dimensiones de equipo Sandvik DD310-26C





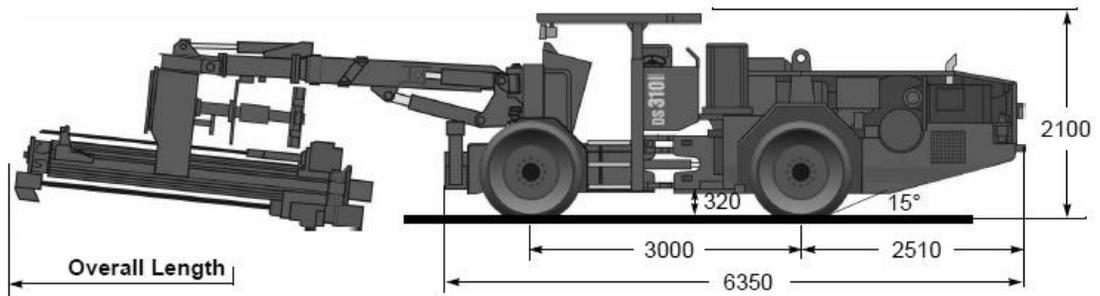
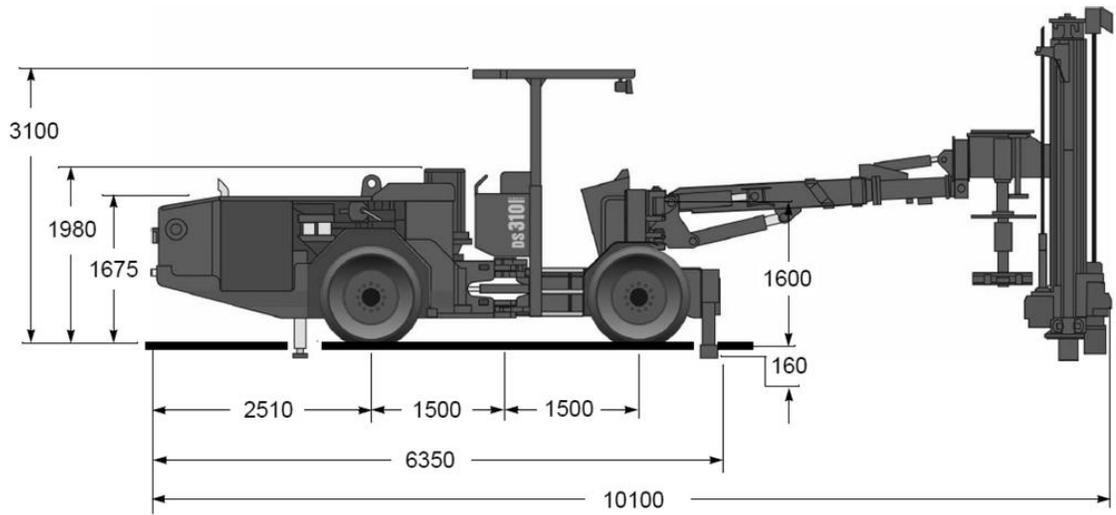
Fuente: *Technical Specification*, 6-233 S-D, 2007-06-01, Sandvik DD310-26C.

Todas las dimensiones se encuentran dadas en milímetros.

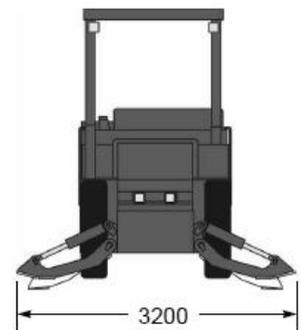
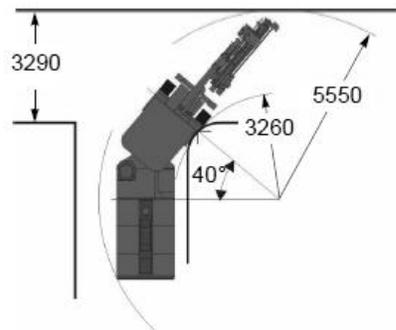
- Sandvik DS310: este equipo de perforación es conocido comúnmente como un *jumbo* pernodor el cual al igual que los *jumbos* de perforación funciona a través de un sistema electrohidráulico el cual puede ser operado por una sola persona. Este equipo es utilizado para poder realizar labores de refuerzo dentro de las labores colocando mallas sujetadas con los pernos a la roca que se desea reforzar. Su diseño modular puede manejar todos los tipos de tornillos comunes o combinaciones de longitudes de 1,5 a 3,0 m (5 'a 10').

- Características principales
 - ✓ Transportista 1 x TC 5
 - ✓ Tejadillo de seguridad 1 x FOPS / ROPS
 - ✓ Roca taladro de 1 x 200 HYDRASTAR
 - ✓ Pernos de cabeza 1 x TU-C
 - ✓ *Boom* 1 x B 26 XL B
 - ✓ Sistema de control 1 x THC 560 B
 - ✓ *Powerpack* 1 x 560 HP (55 kW)
 - ✓ *Shank* dispositivo de lubricación 1 x 10-1 KVL
 - ✓ Compresor de aire 1 x CT 10
 - ✓ Bomba de agua 1 x 1 WBP
 - ✓ Interruptor 1 x 05 MSE
 - ✓ Carrete de cable 1 x 1 TCR
 - ✓ Longitud de 10 800 mm
 - ✓ Anchura 1 750 mm
 - ✓ Altura 2 100/100 mm 3
 - ✓ Peso (sin opciones) 13 000 kg
 - ✓ Velocidad
 - ❖ Horizontal 12 kmh
 - ❖ 13% = 1; 7 = 8 ° 5 kmh
 - ✓ Accesibilidad en pendientes, máx 35%
 - ✓ Nivel de ruido <98 dB (A)

- Dimensiones generales de equipo Sandvik DS310



TU-C 25	10 800
TU-C 26	11 000
TU-C 27	11 200
TU-C 28	11 400
TU-C 210	11 600



Fuente: *Technical Specification*, 8-232 S-D, 2007-06-01, Sandvik DS310.

Todas las dimensiones se encuentran dadas en milímetros.

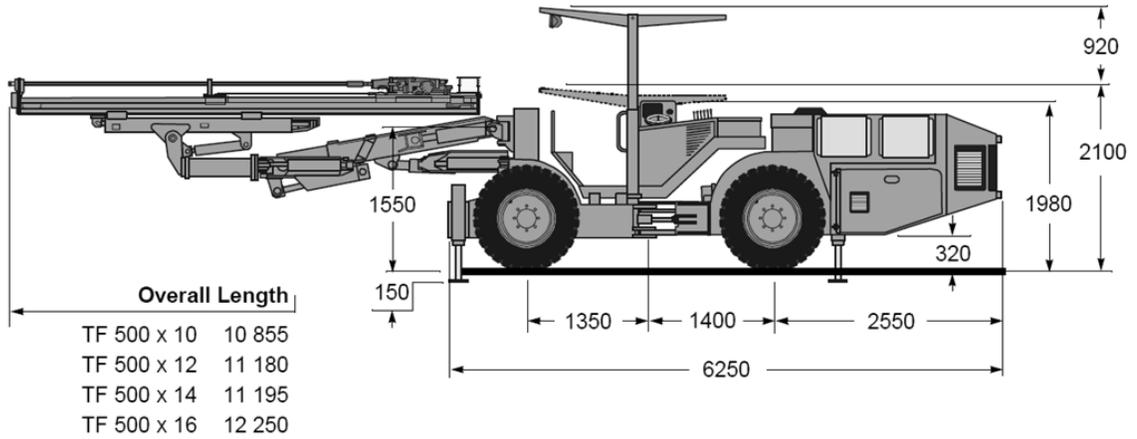
- Axera D05-126 (H)

Es un *jumbo* el cual es un equipo electro-hidráulico de pluma utilizado para el desarrollo de minas y túneles con secciones de hasta 38 m².

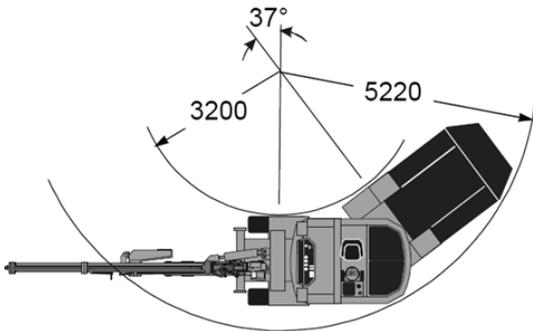
- Características principales

- ✓ Transportista 1 x 05 CB
- ✓ *Rock Drill* 1 x HL 510 S-38
- ✓ *Boom* 1 x B 26 F
- ✓ Alimentación 1 x TF 500
- ✓ Longitud de 11 420 mm
- ✓ Anchura 1 750 mm
- ✓ Altura del techo hacia abajo 2 100 mm
- ✓ Techo hasta 3 020 mm
- ✓ Radio de giro 5 220/2 980 mm
- ✓ Velocidad
 - ❖ horizontal 12 kph
 - ❖ 13% = 01:07 = 8 ° 5 kph
- ✓ Accesibilidad en pendientes, maxi 35%
- ✓ Nivel de ruido <98 dB (A)
- ✓ Peso 11 000 kg

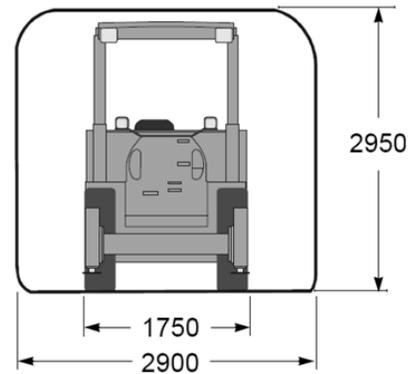
Dimensiones generales de equipo Axera D05-126



TURNING RADIUS



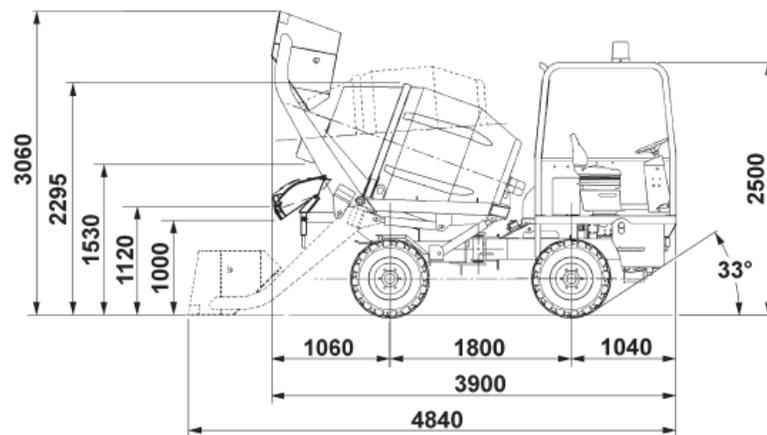
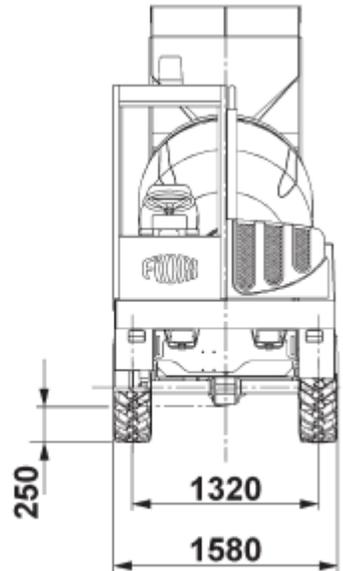
MINI OPERATING SECTION



Fuente: Technical Specification, 6-221 S-E, 2003-01-22, AXERA D05-126 (H)

- Equipo utilizado para lanzado
 - Hormigonera Fiori: es una máquina que prepara el concreto de lanzado para concluir con la fortificación de los frentes de trabajo.
 - Especificaciones
 - ✓ Tambor de doble tronco de cono con hélices de mezclado de doble espiral.
 - ✓ Volumen geométrico del tambor 1650 litros
 - ✓ Velocidad de rotación del tambor de 20 revoluciones por minuto.
 - ✓ Rotación tambor mediante bomba de pistones con capacidad variable y motor hidráulico orbital en circuito cerrado con mando eléctrico infinitesimal ubicado en cabina y en el lado posterior de la máquina.
 - ✓ Elevación tambor hasta el horizontal a través de n°2 martinets de doble efecto.
 - ✓ Canaleta de vertido con inclinación manual, independiente de la inclinación del tambor de mezclado, rotación en 180 grados. Canaleta exportable, para vertido directo desde la tolva.
 - ✓ Suministro de n°1 alargador canaleta de vertido.

Dimensiones hormigonera Fiori DB110



Fuente: Manual de especificaciones técnicas.

Medidas en milímetros.

