



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN CON  
LOCOMOTORA Y CARROS MINEROS SOBRE RIELES –  
UNIDAD OPERATIVA ARCATA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JUNIOR FELIX PAYE PONCE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO, PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

*Agradezco a Dios por haberme  
acompañado y guiado a lo largo de mi  
carrera, por ser mi fortaleza en los  
momentos de debilidad y por brindarme  
una vida llena de aprendizajes,  
experiencias y sobre todo felicidad.*

*A mis queridos Padres: Felipe y Feliciano  
que con su esfuerzo, dedicación y cariño  
me ayudaron a salir adelante.*

*A mis hermanos: por su incondicional  
apoyo.*

*A Lubby, la compañera de toda mi vida,  
por su apoyo y comprensión para formarme  
profesionalmente.*

*Gianella - Renzo, mis pequeños hijos  
quienes son mi motivo de superación.*

***Junior Felix***



## AGRADECIMIENTOS

- Mi agradecimiento a la Compañía Minera Ares S.A.C., por darme la oportunidad de trabajar en sus diferentes unidades de producción.
- Mi reconocimiento a los Gerentes de la Unidad Operativa Arcata, Arturo Sifuentes Asistente de Superintendencia de Mina., Por la confianza depositada en mi persona y el apoyo brindado durante el período de trabajo en las diferentes áreas de producción, en especial al área de Planeamiento.
- Quiero expresar mis sinceros y profundos agradecimientos a la Universidad Nacional del Altiplano. Mi alma mater, a los docentes y no docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por brindarme la formación profesional.

*Junior Felix*



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE PLANOS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>15</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>16</b>
<b>PRIMERA PARTE</b>	
<b>REPORTE DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL</b>	
<b>SEGUNDA PARTE</b>	
<b>DESARROLLO DEL INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL</b>	
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>22</b>
1.2.1 Objetivo general .....	22
1.2.2 Objetivos específicos .....	23
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MÉTODOS</b>	
<b>2.1 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 PRODUCCIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 OPERACIONES UNITARIAS EN LA EXPLOTACIÓN DE MINERAL .</b>	<b>24</b>
2.3.1 Perforación en el tajeo.....	24
2.3.2 Voladura en el tajeo .....	24
2.3.3 Ventilación en el tajeo.....	25
2.3.4 Sostenimiento en el tajeo .....	25
2.3.5 Limpieza en el tajeo .....	25
2.3.6 Relleno del tajeo.....	25
2.3.7 Transporte de mineral .....	25



<b>2.4</b>	<b>OPERACIONES UNITARIAS EN LABORES DE AVANCE LINEAL ....</b>	<b>26</b>
2.4.1	Perforación en avances.....	26
2.4.2	Voladura en avances .....	26
2.4.3	Ventilación en avances.....	26
2.4.4	Sostenimiento en avances .....	26
2.4.5	Limpieza en avances .....	27
2.4.6	Transporte de mineral y desmonte de avances.....	27
<b>2.5</b>	<b>DETALLES DE DISEÑO .....</b>	<b>27</b>
2.5.1	Corte y relleno ascendente limpieza mecanizado (con <i>micro scooptram</i> )	27
2.5.2	Corte y relleno ascendente limpieza convencional (con winche de arrastre) .....	28
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>SOLUCIONES TEÓRICAS</b>		
<b>3.1</b>	<b>COMPONENTES DE LA VÍA FÉRREA O CAMINO .....</b>	<b>31</b>
3.1.1	Plataforma .....	31
3.1.2	El balasto.....	33
3.1.3	Traviesas o durmientes.....	36
3.1.4	Dimensiones de los durmientes.....	37
3.1.5	Rieles.....	41
3.1.6	Aparatos de vía.....	55
3.1.7	Trocha .....	57
3.1.8	Locomotoras.....	58
3.1.8.1	Locomotoras a aire comprimido.....	58
3.1.8.2	Locomotoras a diésel .....	59
3.1.8.3	Locomotoras a batería .....	60
3.1.8.4	Locomotoras a <i>trolley</i> .....	61
3.1.9	Carros mineros .....	62
3.1.10	Tipos de carros .....	64
	SOLUCIONES PRÁCTICAS.....	67
<b>3.2</b>	<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>67</b>
3.2.1	Sistema de extracción con locomotora.....	68
3.2.2	Selección de locomotoras a batería para trabajo en minería.....	68
3.2.2.1	Descripción de los componentes de una locomotora.....	69
3.2.2.2	Factores que determinan la elección del tamaño .....	70



3.2.2.3	Fuerzas que actúan sobre un tren.....	71
3.2.2.4	Esfuerzo de tracción .....	71
3.2.2.5	Coeficiente de adherencia.....	72
3.2.3	Esfuerzo y resistencia al movimiento .....	72
3.2.3.1	Adherencia de las locomotoras y carros mineros .....	72
3.2.3.2	Esfuerzo tracción necesaria .....	73
3.2.4	Resistencia.....	74
3.2.5	Peralte.....	80
<b>3.3</b>	<b>EJEMPLO DE APLICACIÓN PRÁCTICO EN TRANSPORTE SOBRE RIELES EN MINERÍA SUBTERRÁNEA .....</b>	<b>82</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>		
<b>4.1</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DE LOCOMOTORA Y CARROS MINEROS SOBRE RIELES .....</b>	<b>95</b>
4.1.1	Sistema de extracción con locomotora.....	95
4.1.2	Cálculos preliminares capacidad de carro minero .....	95
4.1.3	Calculo capacidad de locomotora para acarrear 8 carros mineros Gramby 60 pies <sup>3</sup> .....	97
4.1.4	Fuerzas .....	100
4.1.5	Peso mínimo de la locomotora requerida es ( $L_w$ ) .....	102
4.1.6	Calculo de radio mínimo de curvatura .....	103
4.1.7	Calculo de libraje de riel necesario para carga del convoy.....	104
4.1.8	Calculo amperaje de batería .....	105
<b>4.2</b>	<b>UBICACIÓN DEL PROYECTO DE LÍNEA DE CAUVILLE.....</b>	<b>106</b>
4.2.1	Diseño línea <i>de cauville</i> .....	106
4.2.2	Actividades de desarrollo del proyecto .....	107
4.2.2.1	Construcción de <i>pockets</i> .....	107
4.2.2.2	Instalación de tolvas metálicas en <i>pockets</i> .....	107
4.2.2.3	Sistema de volteo de carros .....	108
4.2.2.4	Instalación de línea <i>de cauville</i> .....	108
4.2.2.5	Construcción de cámara para carga de batería .....	108
4.2.2.6	Construcción de taller de locomotora.....	109
4.2.2.7	Equipos .....	109
4.2.3	Estación de carguío batería .....	109



4.2.4	Taller de mantenimiento de locomotora .....	110
4.2.5	Sistema de volteo de carros mineros .....	110
<b>4.3</b>	<b>SISTEMA DE VENTILACIÓN .....</b>	<b>110</b>
	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>112</b>
	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>123</b>
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>124</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>125</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>126</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>128</b>

**ÁREA:** Ingeniería de Minas

**TEMA:** Extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 30 de octubre 2020



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Componentes de la vía férrea.....	32
<b>Figura 2:</b> Plataforma de la vía con una sola inclinación.....	32
<b>Figura 3:</b> Plataforma de la vía de dos aguas .....	33
<b>Figura 4:</b> Balasto.....	34
<b>Figura 5:</b> Sección transversal de la vía .....	35
<b>Figura 6:</b> Sección transversal de doble vía en recta .....	35
<b>Figura 7:</b> Secciones transversales de vía, con durmientes al descubierto, en el primer caso y cubiertas por el balasto en el segundo. ....	36
<b>Figura 8:</b> Componentes de la vía y accesorios .....	38
<b>Figura 9:</b> Apoyo del riel sobre el durmiente.....	40
<b>Figura 10:</b> Apoyo del riel sobre el durmiente.....	40
<b>Figura 11:</b> Partes del riel.....	41
<b>Figura 12:</b> Esfuerzos verticales .....	43
<b>Figura 13:</b> Esfuerzos transversales .....	44
<b>Figura 14:</b> Desgaste vertical y lateral .....	48
<b>Figura 15:</b> Desalineación horizontal.....	49
<b>Figura 16:</b> Desalineación vertical: doblez hacia zapata .....	49
<b>Figura 17:</b> Desalineación vertical: doblez hacia cabeza.....	49
<b>Figura 18:</b> Riel de clase o para vía de categoría inferior a la indicada en el calibre .....	50
<b>Figura 19:</b> Riel de clase o para vía de categoría igual o superior a la indicada en el calibre.....	50
<b>Figura 20:</b> Medición del desgaste vertical de la cabeza en el extremo del riel .....	50
<b>Figura 21:</b> Medición de las deformaciones de rieles de vía .....	51



<b>Figura 22:</b> Clavo y tuerca .....	51
<b>Figura 23:</b> Tirafondo.....	52
<b>Figura 24:</b> Eclisa.....	52
<b>Figura 25:</b> Tirafondo.....	52
<b>Figura 26:</b> Tirafondo rielero .....	53
<b>Figura 27:</b> Clavo rielero.....	53
<b>Figura 28:</b> Clavo rielero tipo americano.....	54
<b>Figura 29:</b> Perno rielero cuello ovalado .....	54
<b>Figura 30:</b> Tuercas bulldog.....	54
<b>Figura 31:</b> Perno KZ.....	55
<b>Figura 32:</b> Vastago de anclaje .....	55
<b>Figura 33:</b> Aparatos de vía (sapa).....	55
<b>Figura 34:</b> Cruzamiento doble o entrevía oblicua .....	56
<b>Figura 35:</b> Trocha en una vía férrea .....	57
<b>Figura 36:</b> Partes principales de carros mineros.....	63
<b>Figura 37:</b> Carro tipo Gramby .....	64
<b>Figura 38:</b> Carro tipo “V”.....	65
<b>Figura 39:</b> Carro tipo “U” y ”V” .....	65
<b>Figura 40:</b> Carro tipo fija y puertas laterales .....	66
<b>Figura 41:</b> Carro de vaciado frontal o tipo cuchara.....	66
<b>Figura 42:</b> Peralte .....	80
<b>Figura 43:</b> Locomotora 6,0 toneladas 35 HP.....	103
<b>Figura 44:</b> Sistema de ventilación del <i>By Pass</i> 2275 SE, Nv-4565.....	112
<b>Figura 45:</b> Método de minado (corte y relleno ascendente mecanizado).....	145



<b>Figura 46:</b> Método de minado (corte y relleno ascendente mecanizado – equipo de limpieza cautivo).....	146
<b>Figura 47:</b> Método de minado (corte y relleno ascendente convencional - limpieza con winche de arrastre de 20 HP) .....	147
<b>Figura 48:</b> Puente grúa.....	148
<b>Figura 49:</b> Cuestionario sobre locomotora .....	149
<b>Figura 50:</b> Cuestionario sobre carros mineros.....	150



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1:</b> Dimensiones de durmientes.....	38
<b>Tabla 2:</b> Dimensiones estándar de rieles .....	42
<b>Tabla 3:</b> Coeficiente de velocidad .....	45
<b>Tabla 4:</b> Coeficiente de velocidad por tipo de vía .....	45
<b>Tabla 5:</b> Peso de riel apropiado para diferentes pesos de locomotora.....	46
<b>Tabla 6:</b> Composición química del acero para rieles.....	49
<b>Tabla 7:</b> Selección de riel .....	58
<b>Tabla 8:</b> Coeficientes de adherencia .....	72
<b>Tabla 9:</b> Valores de coeficiente de adherencia para diferentes estados de riel.....	73
<b>Tabla 10:</b> Resistencia a la rodadura .....	75
<b>Tabla 11:</b> Calculo número de carros mineros Gramby 60 pies <sup>3</sup> .....	96
<b>Tabla 12:</b> Calculo de locomotoras – ingreso de datos .....	97
<b>Tabla 13:</b> Calculo de locomotora - resistencia .....	98
<b>Tabla 14:</b> Coordenadas geográficas de la Unidad Minera Arcata son: .....	106
<b>Tabla 15:</b> Balance de caudal Túnel 4 nivel 4565 ingresos .....	110
<b>Tabla 16:</b> Balance de caudal Túnel 4 nivel 4565 salidas.....	111
<b>Tabla 17:</b> Requerimiento de aire Túnel 4 nivel 4565 .....	111
<b>Tabla 18:</b> Requerimiento de aire por equipo diésel .....	111
<b>Tabla 19:</b> Metros de avance ejecutado por año (metros).....	113
<b>Tabla 20:</b> Extracción de mineral por año (toneladas) .....	113
<b>Tabla 21:</b> Extracción de desmonte por año (m <sup>3</sup> ) .....	114
<b>Tabla 22:</b> Costo de mineral y valor de punto.....	114
<b>Tabla 23:</b> Evaluación económica del proyecto .....	115



<b>Tabla 24:</b> Evaluación económica del proyecto (costo total).....	115
<b>Tabla 25:</b> Requerimiento de riel Túnel 4 y Túnel 3.....	116
<b>Tabla 26:</b> Costo materiales de instalación línea de cauville .....	116
<b>Tabla 27:</b> Costo mano de obra instalación línea de cauville .....	116
<b>Tabla 28:</b> Costo equipos de acarreo .....	117
<b>Tabla 29:</b> Costo equipos de volteo de carros Gramby .....	117
<b>Tabla 30:</b> Mantenimiento línea de cauville instalada (metros).....	117
<b>Tabla 31:</b> Costo materiales de mantenimiento vías línea de cauville .....	117
<b>Tabla 32:</b> Costo mantenimiento de línea de cauville .....	118
<b>Tabla 33:</b> Medición de velocidades en tajeos antes del proyecto.....	118
<b>Tabla 34:</b> Medición de velocidades en tajeos después del proyecto. ....	119
<b>Tabla 35:</b> Costo de transporte total toneladas de avances. ....	121
<b>Tabla 36:</b> Costo de transporte total toneladas de mineral de tajeos.....	121
<b>Tabla 37:</b> Costo de inversión implementación proyecto línea de cauville. ....	122
<b>Tabla 38:</b> Costo de metros (rieles versus trackless).....	122



## ÍNDICE DE PLANOS

	<b>Pág.</b>
<b>Plano 1.</b> Estación de baterías.....	129
<b>Plano 2.</b> Línea de cauville zona de cambio .....	130
<b>Plano 3.</b> Diseño de cambio.....	131
<b>Plano 4.</b> Diseño de mona.....	132
<b>Plano 5.</b> Diseño de sapa .....	133
<b>Plano 6.</b> Taller de mantenimiento locomotora .....	134
<b>Plano 7.</b> Sistema de volteo de carros mineros Gramby.....	135
<b>Plano 8.</b> Diseño <i>pocket</i> de desmonte.....	136
<b>Plano 9.</b> Diseño <i>pocket</i> de mineral.....	137
<b>Plano 10.</b> Sección típica 2,70 x 2,70 m. con línea <i>de cauville</i> (sin cuadro).....	138
<b>Plano 11.</b> Sección típica 2,70 x 2,70 m. con línea <i>de cauville</i> (con cuadro).....	138
<b>Plano 12.</b> Diseño de tolva.....	139
<b>Plano 13.</b> Montaje de tolva sección 2,50 x 2,70 m. ....	140
<b>Plano 14.</b> Crucero / galería, sección 2,70 x 2,70 m.....	141
<b>Plano 15.</b> Chimenea sección 3,30 x 1,20 m. doble compartimiento .....	142
<b>Plano 16.</b> <i>Ore pass</i> sección 2,40 x 1,20 m. mayor a 11 m. ....	143
<b>Plano 17.</b> Sección rampa / crucero / <i>By Pass</i> , sección 4,50 x 4,00 m.....	144
<b>Plano 18.</b> Plano de ventilación antes del proyecto .....	151
<b>Plano 19.</b> Plano de ventilación después del proyecto .....	151



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>und</b>	: unidades.
<b>t</b>	: tonelada(s).
<b>Vp</b>	: Valor punto
<b>oz</b>	: onzas.
<b>Nv</b>	: nivel.
<b>Bp</b>	: labor minera <i>By Pass</i> .
<b>Ch</b>	: labor minera chimenea.
<b>Cx</b>	: labor minera crucero
<b>Cfm</b>	: <i>Cubic feet minute</i> , pies cúbicos por minuto.
<b>m</b>	: metros.
<b>cm</b>	: centímetros.
<b>mm</b>	: milímetros
<b>RH (%)</b>	: porcentaje de humedad relativa.
<b>HP</b>	: <i>Horse power</i> , caballos de fuerza.
<b>h(s)</b>	: hora(s).
<b>min</b>	: minuto
<b>s</b>	: segundo
<b>I/S</b>	: Ingreso y salida.
<b>kg</b>	: kilogramos.
<b>km</b>	: kilómetros.
<b>lb(s)</b>	: libra(s).
<b>ppm</b>	: partes por millón.
<b>TC</b>	: Toneladas cortas
<b>yd<sup>3</sup></b>	: yardas cubicas.



## RESUMEN

El presente informe profesional titulado *Implementación del sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles - Unidad Operativa Arcata*, se encuentra ubicado en el departamento de Arequipa, a una altitud de 4 600 y 5 200 m s.n.m., cuyo objetivo general es realizar la extracción de mineral y desmonte utilizando locomotora y carros mineros sobre rieles en veta Túnel 4 y Túnel 3, con el diseño y planificación para reducir los niveles de contaminación, reducir costos de la operación y como objetivos específicos se tiene: diseñar y planificar el transporte con locomotora y carros mineros, utilizando técnicas de cálculo de locomotoras y carros mineros para una producción de 400 toneladas por día en veta Túnel 4 y Túnel 3, reducir los niveles de contaminación (ventilación), tener menor costo en ventilación, reducir los costos de transporte de mineral y desmonte y reducción de costos de excavación con labores de menor sección, con la implementación del sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, permite tener un sistema económico para la extracción de mineral y desmonte, ya que el acarreo y el transporte son variables que influyen en forma prioritaria en la reducción de costos, es por eso que se implementó el sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, para el transporte de mineral y desmonte con una producción de 400 toneladas por día, con la implementación de carros mineros y locomotora, se da solución a los problemas de la contaminación con gases y humos, producto de las operaciones con equipos a combustión interna utilizados anteriormente.

**Palabras clave:** Sistema de extracción; locomotora; carros mineros; diseño; ventilación.



## ABSTRACT

This professional report is titled, Implementation of system of extraction with locomotive and mining cars on rails - Unit Operative Arcata, is located in the department of Arequipa in Peru, at an altitude between 4 600 and 5 200 meters above the sea level. Our general objectives is the extraction of ore and waste and using locomotive mining wagons in rails, in ore veins on the tunnel 4 and tunnel 3 with the desing and planning for reduce the contamination levels, reduce operating cost, and as objective specific are: desing and planning the transport with locomotive mining carrs, for production of 400 tons per day in ore vein on the tunnel 4 and tunnel 3, reduce the contamination levels (ventilation), reduce the cost of ventilation, in the same time we reduce the cost of extraction ores and wastes, on the other hand the reduction of excavation cost with smaller work sections, with the implementation of this system will allow to have an economic and efficient extraction system of ores and waste, since hauling and transport have a priority influence on cost reduction, that is why the implement system of extraction with locomotive and mining cars on rails, for the transport of ores and wastes, of a production of 400 tons per day, with the implementation of mining cars with locomotive, are solve the problems of contamination whit gas and fumes, product of the above operations with equips of internal combustion.

**Keywords:** Extraction system; locomotive; mining wagons, design; ventilation.



## PRIMERA PARTE

### REPORTE DE LA ACTIVIDAD PROFESIONAL

- **Febrero 2019 – hasta la actualidad**

Empresa: Compañía. Minera Ares S.A.C. – Hochschild Mining

Unidad Minera Inmaculada

Cargo: Ingeniero de planeamiento.

**Funciones realizadas:**

- Elaboración del programa semanal, mensual, anual y el L.O.M. (vida de la mina), de producción y avances, orientados al objetivo de la empresa.
- Diseñar las operaciones de la mina en el corto, mediano y largo plazo, administrar los recursos necesarios (humanos, equipos) para la secuencia de minado, a corto, mediano y largo plazo.
- Controlar los trabajos planificados referidos a la planificación minera.
- Evaluar nuevos proyectos que garanticen darle más sostenibilidad a la operación minera.
- Implementar procesos de mejora continua (minimizar tiempos apoyados en herramientas informáticas; establecer nuevos formatos de control y seguimiento).
- Coordinar directamente con las áreas de geología y mina para efectuar los trabajos en la operación mina.



- Administrar la información o base de datos referido a planificación y estimación de reservas.
- Elaboración del C.O.M. (certificado de operaciones mineras).
- **Marzo 2015 hasta Enero 2019**

Empresa: Compañía. Minera Ares S.A.C. – Hochschild Mining

Unidad Minera Arcata

Cargo: Ingeniero de planeamiento.

**Funciones realizadas:**

- Elaboración del programa semanal, mensual, anual y el L.O.M. (vida de la mina), de producción y avances, orientados al objetivo de la empresa.
- Diseñar las operaciones de la mina en el corto, mediano y largo plazo, administrar los recursos necesarios (humanos, equipos) para la secuencia de minado, a corto, mediano y largo plazo.
- Controlar los trabajos planificados referidos a la planificación minera.
- Evaluar nuevos proyectos que garanticen darle más sostenibilidad a la operación minera.
- Implementar procesos de mejora continua (minimizar tiempos apoyados en herramientas informáticas; establecer nuevos formatos de control y seguimiento).
- Coordinar directamente con las áreas de geología y mina para efectuar los trabajos en la operación mina.



- Administrar la información o base de datos referido a planificación y estimación de reservas.
- Elaboración del C.O.M. (certificado de operaciones mineras).

- **Enero 2014 hasta Febrero 2015**

Empresa: Compañía. Minera Ares S.A.C. – Hochschild Mining

Unidad Minera Arcata

Cargo: Asistente de planeamiento.

**Funciones realizadas:**

- Elaboración del programa semanal y mensual de producción y avances, orientados al objetivo de la empresa.
- Elaborar el Gantt del programa semanal y mensual de producción y avances.
- Diseñar las operaciones de la mina en el corto plazo.
- Administrar los recursos necesarios (humanos, equipos), para la secuencia de minado, a corto plazo.
- Controlar los trabajos planificados referidos a la planificación minera.

- **Diciembre 2012 hasta Diciembre 2013**

Empresa: Compañía. Minera Ares S.A.C. – Hochschild Mining

Unidad Minera Arcata

Cargo: Asistente y control de productividad área de planeamiento.



**Funciones realizadas:**

- Control de mineral desde el momento de la extracción de la mina hasta el proceso de tratamiento planta.
- Control de desmonte, controlar el manejo de mineral, leyes y desmonte para actualizar en el sistema de información operacional (S.I.O.).
- Elaborar los controles de reportes de producción y avances.

• **Febrero 2012 hasta Noviembre 2012**

Empresa: Compañía. Minera Ares S.A.C. – Hochschild Mining

Unidad Minera Pallancata

Cargo: Practicante de planeamiento (proyecto reconciliación de reservas).

**Funciones realizadas:**

- Seguimiento a los procesos de operación mina y del área de planeamiento control de mineral desde el momento de la extracción de la mina, hasta el proceso de tratamiento Planta.
- Presentar al superintendente y jefe de planeamiento, reportes periódicos del avance del proyecto y resultados.

• **Septiembre 2010 hasta Diciembre 2010**

Empresa: Minera Aruntani S.A.C.

Unidad Minera Tukari

Cargo: Practicante profesional de operaciones mina.



## SEGUNDA PARTE

### DESARROLLO DEL INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

#### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

La Unidad Operativa Arcata se encuentra ubicada en el distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, tiene como propósito ser una Minería responsable e innovadora comprometida con un mundo mejor, comprometiéndose con el crecimiento de la compañía y manteniéndose al día de las nuevas tendencias para mejorar el proceso y el negocio, la unidad minera Arcata extrae minerales de plata y oro, el método de explotación aplicado es el corte y relleno ascendente en vetas angostas de 0,80 m. a 1,50 m. de potencia, en veta Túnel 4 y Túnel 3, la extracción de mineral y desmonte en un inicio fue con sistema trackless, este sistema dificulto desarrollar el avance y preparación de los tajos para luego ser explotados, evaluando la productividad deficiente en el ciclo de minado y ventilación deficiente producto de las operaciones con equipos a combustión interna utilizados con el sistemas trackless, se toma la decisión de cambiar el sistema de extracción trackless, por el sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles. La finalidad y alcance del presente informe es demostrar que la implementación del sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, para una producción de 400 toneladas por día en veta Túnel 4 y Túnel 3, permite resolver los problemas que se tiene con el sistema *trackless*, cumpliendo los objetivos y metas trazados por la compañía con mejores condiciones de trabajo, hoy en día en la minería subterránea predomina el sistema *trackless*, sin embargo la vía férrea sigue siendo preferida en muchas minas modernas, debido a su vida útil de transporte y bajo costo de operación.



## PROBLEMA Y OBJETIVOS

### 1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El uso de equipos diésel tuvo como consecuencia problemas en el sistema de ventilación, debido a la emisión de gases CO, CO<sub>2</sub>, por la constante operación de equipos diésel, a esto se suma, la limitación en la ejecución de chimeneas *raise borer*, desde superficie; limitando el avance del desarrollo y preparación de los bloques económicos. Ante estos problemas, se buscó la forma más idónea para realizar el acarreo del mineral y desmonte, sin incrementar los niveles de contaminación en la zona, también se revisa el costo de avance con la nueva sección del sistema de extracción a implementar 2,70 m. x 2,70 m., ya que representa un menor costo en comparación al que se venía utilizando, la razón de esta sección reducida fue para generar una mayor rentabilidad y alargar la vida de la desmontera, ya que se genera desmonte en menor cuantía en comparación a la sección para volquete 4,50 m. x 4,00 m. La extracción de los bloques económicos de veta Túnel 4, en un inicio se realizó mediante equipos diésel, sección para volquete 4,50 m. x 4,00 m., como propuesta de solución se plantea la *implementación del sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles – Unidad Operativa Arcata*. Este sistema consiste en la utilización de locomotora a batería de 6 toneladas que acarrea un convoy de 8 carros mineros tipo Gramby de 60 pies<sup>3</sup>, sobre una *vía de cauville* con rieles de 45 libras y trocha de 60 cm.

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 Objetivo general

Realizar la extracción de mineral y desmonte utilizando locomotora y carros mineros sobre rieles en veta Túnel 4 y Túnel 3, con el diseño y planificación para



reducir los niveles de contaminación, y reducir costos de la operación en la Unidad Minera Arcata.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Diseñar y planificar el transporte con locomotora y carros mineros, utilizando técnicas de cálculo de locomotoras y carros mineros para una producción de 400 toneladas por día en veta Túnel 4 y Túnel 3., en la Unidad Minera Arcata.
- Reducir los niveles de contaminación (ventilación), en Unidad Minera Arcata.
- Tener menor costo en ventilación en la unidad minera Arcata.
- Reducir los costos de transporte de mineral y desmonte en la Unidad Minera Arcata.
- Reducción de costos de excavación con labores de menor sección en la Unidad Minera Arcata.



## CAPÍTULO II

### MÉTODOS

#### 2.1 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

El método de explotación aplicado es el corte y relleno ascendente con perforación horizontal o realce, el mismo que dependerá de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso. (véase anexos figura 45, 46 y 47).

#### 2.2 PRODUCCIÓN

La producción del presente año es de 1 000 toneladas por día que contempla la explotación de tajeos en las siguientes estructuras: Alexia, Baja, Blanca 1, Cimoide Blanca, Dorita, Julia, Nicole, Norte Sur, Pamela, Pamela Oeste, Pamela Sur, Paralela, Paralela 2, Ramal 1900, Ramal Julia, Ramal Marion Sur 2, Ramal Nicole, Ramal Techo, Soledad, Soledad NW, Sorpresa 3, Sorpresa 4, Stephani, Túnel 3 y Túnel 4.

#### 2.3 OPERACIONES UNITARIAS EN LA EXPLOTACIÓN DE MINERAL

##### 2.3.1 Perforación en el tajeo

Se utilizan perforadoras neumáticas tipo *jackleg*, marca Seco, modelo S250, con las cuales se realizan los taladros con barra de 1,80 m. a 2,40 m., según malla de perforación emplazada en los tramos económicos.

##### 2.3.2 Voladura en el tajeo

Después de la perforación se procede al carguío con explosivo a los taladros, usándose emulsión encartuchada y su respectiva armada de mecha lenta, el mismo que es iniciado mediante mecha rápida.



### **2.3.3 Ventilación en el tajeo**

Los gases producto de la voladura, es ventilado mediante ventiladores auxiliares de 10 000 a 20 000 *cfm.*, donde el aire fresco es impulsado a los tajeos mediante mangas de ventilación, por el camino central y/o caminos extremos.

### **2.3.4 Sostenimiento en el tajeo**

Previamente se realiza el regado y desatado de rocas, según el comportamiento del macizo rocoso y de la veta, el área de Geomecánica establece la recomendación de sostenimiento, estos son: *split set* con malla electrosoldada, *split set* con puntales de madera, cuadros de madera y sus respectivas combinaciones.

### **2.3.5 Limpieza en el tajeo**

El proceso de limpieza va después del trabajo de sostenimiento en avanzada, para ello se utilizan winches eléctricos de arrastre con capacidad de limpieza hasta 45 m. en el tramo horizontal, en el caso de tajeos semimecanizados, la limpieza se realiza con *micro scooptram* de 0,75 yd<sup>3</sup>.

### **2.3.6 Relleno del tajeo**

Al concluir la limpieza de un ala, se procede al relleno hidráulico (relave cicloneado transportado por tuberías), hasta una altura de corona del tajeo al nivel del relleno de 2,40 m., en los casos de explotación con perforación horizontal, el relleno cubre el máximo de altura entre la corona del tajeo y el relleno.

### **2.3.7 Transporte de mineral**

Los minerales procedentes de los tajeos van a echaderos dispuestos con tolvas metálicas accionadas mediante aire comprimido, de estas tolvas son descargados a



volquetes de 20 toneladas y son transportados hasta superficie pasando por balanza y descargados en canchas de mineral.

## **2.4 OPERACIONES UNITARIAS EN LABORES DE AVANCE LINEAL**

### **2.4.1 Perforación en avances**

En labores con secciones menores de 2,70 m. x 2,70 m., galerías, cruceros, cámaras, refugios, se utilizan perforadoras neumáticas tipo *jackleg*, marca Seco, modelo S250, con las cuales se realizan los taladros con barra de 1,80 m. a 2,40 m., en labores con secciones de 2,70 m. x 2,70 m. a 4,50 x 4,00 m., se utilizan jumbos electrohidráulicos con barra de 4,20 m. y brocas de 45 mm., de diámetro.

### **2.4.2 Voladura en avances**

Para labores perforadas con *jackleg* se procede al carguío de los taladros con explosivo, usándose emulsión encartuchada, armada de mecha lenta e iniciado con mecha rápida, para el caso de taladros perforados con jumbo, se utilizan emulsión encartuchada, fulminante antiestático, cordón detonante, armada de mecha lenta y este último es iniciado con mecha rápida.

### **2.4.3 Ventilación en avances**

Los gases producto de la voladura, es ventilado mediante ventiladores auxiliares de 20 000 a 30 000 *cfm.*, donde el aire fresco es impulsado mediante mangas de ventilación y el aire viciado es derivado a los circuitos principales que son extraídos por chimeneas *raise borer* a superficie.

### **2.4.4 Sostenimiento en avances**

Previamente se realiza el regado y desatado de rocas. Según el comportamiento del macizo rocoso y de la veta, el área de Geomecánica establece la recomendación de



sostenimiento: para labores temporales el uso de *split set* y para labores permanentes el uso de barras helicoidales con cartuchos de resina y cemento, también se tiene *shotcrete* vía húmeda, malla electrosoldada y cuadros de madera.

#### **2.4.5 Limpieza en avances**

En el proceso de limpieza se utilizan winches eléctricos de arrastre, *micro scooptram* de 0,75 yd<sup>3</sup>, *scooptram* de 2,2 yd<sup>3</sup>, *scooptram* de 4,2 yd<sup>3</sup> y *scooptram* de 6 yd<sup>3</sup>., el equipo de limpieza está en función al tamaño de sección de la labor de avance.

#### **2.4.6 Transporte de mineral y desmante de avances**

El desmante procedente de las labores es acumulado en cámaras de acumulación y de éstas son cargados con *scooptram* de 4,2 yd<sup>3</sup> o 6 yd<sup>3</sup> a volquetes de 20 toneladas, y son transportados hasta superficie con destino a la desmontera.

### **2.5 DETALLES DE DISEÑO**

A partir de la rampa de profundización se preparan cruceros de acceso a la veta, siendo la altura entre niveles de 50 m., asimismo, se tienen chimeneas *raise borer* de diámetros de 3,10 m. hacia superficie y de 1,50 m., a 2,40 m. para interior mina, exclusivamente para ventilación, después de la ventilación, ingresan los *scooptram* a efectuar la limpieza, el mineral es transportado directamente a los *ore pass*, o a buzones de mineral para luego ser extraído y cargado en camiones (volquetes) y transportado a canchas de mineral en superficie o tolvas de gruesos de planta concentradora.

#### **2.5.1 Corte y relleno ascendente limpieza mecanizado (con *micro scooptram*)**

La perforación se realiza con maquina liviana *jackleg* con barreno de 1,80 m. – 2,40 m. y broca de 38 mm. – 41 mm., se puede perforar tanto vertical (*upper*) y horizontal (*breasting*), esto de acuerdo a las condiciones de estabilidad de las cajas.



El proceso de voladura primaria permite fragmentar la roca para su posterior limpieza, extracción y transporte, los taladros perforados para la voladura son cargados con emulsión, realizándose una voladura no eléctrica.

El proceso de voladura secundaria se realiza para reducir la fragmentación de bloques que se pudieran generar por condiciones estructurales posteriores a la voladura primaria, bajo los estándares y procedimientos específicos.

El desatado se realiza previa ventilación y regado del mineral a fin de eliminar los gases generados por la voladura, el sostenimiento en labores de explotación se realiza con técnicas convencionales con pernos de fricción, malla electrosoldada, puntales o cuadros de madera y sus combinaciones de acuerdo al comportamiento geomecánico del macizo rocoso.

La limpieza en las labores de explotación se cautiva un *micro scooptram* diesel / eléctrico de 0,75 yd<sup>3</sup> para luego ser recuperado por el nivel superior (por chimeneas) o hacia el nivel base (por las chimeneas del tajeo). La limpieza de mineral va al *ore pass* del tajeo para su posterior acarreo con volquetes hasta las canchas de mineral en superficie. El transporte de mineral se realiza mediante volquetes de 20 toneladas. El relleno de las excavaciones generadas por la extracción del mineral se realiza con relave cicloneado proveniente de la planta de beneficio el mismo que es bombeado como pulpa hasta la planta de relleno hidráulico de Marión y de está es transportado por tuberías a los tajeos explotados.

### **2.5.2 Corte y relleno ascendente limpieza convencional (con winche de arrastre)**

La perforación se realiza con maquina liviana *jackleg* con barreo de 1,80 m. – 2,40 m., y broca de 38 mm. – 41 mm, se puede dar tanto vertical (*upper*) y horizontal (*breasting*), esto de acuerdo a las condiciones de estabilidad de las cajas.



El proceso de voladura primaria se emplea para fragmentar la roca y permitir su extracción y transporte. Los taladros perforados para la voladura son cargados con emulsión, realizándose una voladura no eléctrica.

El proceso de voladura secundaria se realiza para reducir la fragmentación de bloques que se pudieran generar por condiciones estructurales posteriores a la voladura primaria, bajo los estándares y procedimientos específicos.

El desatado se realiza previa ventilación y regado de mineral roto a fin de eliminar los gases generados por la voladura.

El sostenimiento en labores de explotación se realiza con técnicas convencionales con pernos de fricción, malla electrosoldada, madera y sus combinaciones de acuerdo al comportamiento geomecánico del macizo rocoso.

La limpieza de mineral se realiza utilizando winches de arrastre (eléctricos) hacia el *ore pass* del tajeo y luego es extraído por volquetes hacia las canchas de mineral en superficie. El relleno de las excavaciones generadas por la extracción del mineral se realiza con relave cicloneado proveniente de la planta de beneficio el mismo que es bombeado como pulpa hasta la planta de relleno hidráulico de Marión y de está es transportado por tuberías a los tajeos explotados.



## CAPÍTULO III

### SOLUCIONES TEÓRICAS

El ferrocarril y toda su infraestructura ha sido muy importante para el desarrollo de nuestro país a través de su historia, que sigue vigente y necesario para el transporte de cargas y pasajeros. Los trenes acortaron las distancias y cambiaron para siempre el entorno por el cual pasaban, trajeron el desarrollo, y la unión de ciudades que necesitaban estar comunicados, en la minería ha sido un sistema de transporte económico, favoreciendo la extracción: hasta hoy en día, se usan en la mayor parte de las minas, pequeña y mediana minería.

En la minería el transporte es una de las tareas más importantes y de mayor costo, un sistema pobremente organizado o un mal equipo es ineficiente para cualquier trabajo minero. En el sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, la clave de su eficiencia radica en un apropiado tendido de la línea, un mal tendido de la línea origina un mayor esfuerzo y mayor desgaste de las locomotoras que jalan o empujan los carros mineros, aumento del tiempo por viaje de las locomotoras y gran número de descarrilamientos y accidentes.

En la extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, se ha empleado exitosamente en las minas por más de cien años, sin embargo, en los últimos 40 años la competencia de los sistemas *trackless*, fajas transportadoras, mineroductos y otros medios ha crecido, el sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, se ha perdido importancia en muchas minas debido a su inherente falta de flexibilidad y altos requerimientos de mano de obra para mantenimiento y costo inicial de instalación elevado.



Hoy en día, en la minería subterránea predomina el sistema *trackless* sin embargo la vía férrea es usada para algunas aplicaciones específicas, pero la vía férrea sigue siendo preferida en muchas minas antiguas, que cuentan con sistemas de rieles y en algunas minas modernas debido a su larga vida útil de transporte y bajo costo de operación.

En el primer caso el mantenimiento y la expansión del sistema existente son baratos, en vez de comenzar con un nuevo sistema, en el segundo caso los múltiples puntos de carga y largas distancias de acarreo hacen las vías férreas más adecuadas, particularmente en los países en vías de desarrollo donde la mano de obra es más barata.

La vía férrea no sólo lo componen los carros, sino que también es preciso un conjunto de implementos que son necesarios para su funcionamiento, como son los equipos, las vías, estaciones, etc. Como sabemos las vías del tren están conformadas, entre otros elementos, por rieles, normalmente de acero, por los cuales se va desplazando la locomotora y sus carros mineros, recorriendo la extracción de minerales desde el fondo de las galerías.

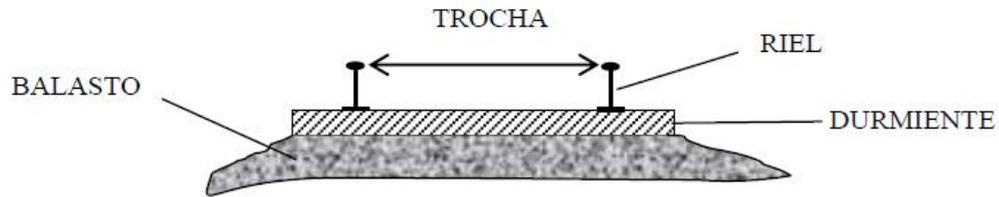
### **3.1 COMPONENTES DE LA VÍA FÉRREA O CAMINO**

El sistema de transporte mediante los rieles consta de varios componentes, las cuales deben estar debidamente diseñadas y dimensionadas, ya que un mal diseño traerá muchas consecuencias desfavorables y pérdida de tiempos, dentro de estos componentes se tienen:

#### **3.1.1 Plataforma**

La plataforma es la base donde se construye el camino de vía férrea. En cada punto de la vía la plataforma viene definida por el perfil transversal y constituye el

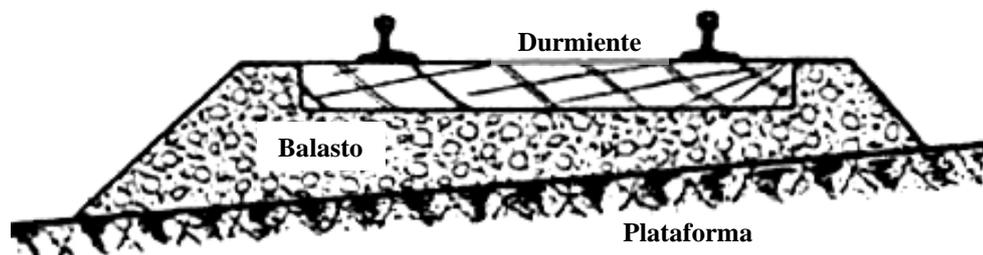
primer elemento de resistencia en el camino, si instalamos una vía después de realizar la voladura, está traerá problemas en lo futuro.



**Figura 1:** Componentes de la vía férrea

FUENTE: (Molta, 2012).

La plataforma es la superficie de terreno que se ofrece para que sobre ella se coloque la superestructura. Su anchura depende, como es natural, de que se establezca una o más vías, y del ancho de estas, esta superficie de plataforma tiene cierta inclinación transversal, a una o dos aguas para el debido saneamiento, es decir con inclinación para el drenaje, como se muestra en las (figuras 2 y 3), respectivamente, inclinación que suele ser de 3 %. En caso de terrenos muy húmedos y arcillosos, el saneamiento tiene que ser especial, utilizando carbonilla, arena, piedras gruesas, placas de hormigón y aun tubos de drenaje. Recientemente se ha empleado para algunos de estos casos, y en vía ya establecida, inyecciones de cemento, en forma parecida a lo que se utiliza para reforzar la cimentación de las construcciones (AHM, 2008).

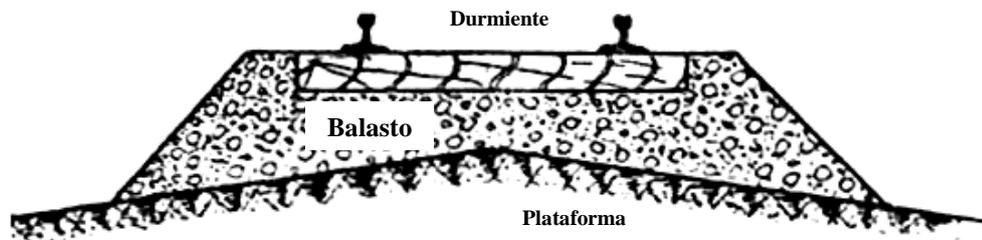


**Figura 2:** Plataforma de la vía con una sola inclinación

FUENTE: (AHM, 2008).

El establecimiento de una plataforma rígida ha sido objeto de diversas pruebas y aplicaciones parciales en estos tiempos de empleo de un material como el hormigón,

que también se presta a diversas soluciones; pero resulta limitado el campo de su utilización, por su costo elevado y, sobre todo, porque para las velocidades algo crecidas, la elasticidad de la vía con balasto y durmientes de madera es, hasta ahora insustituible.

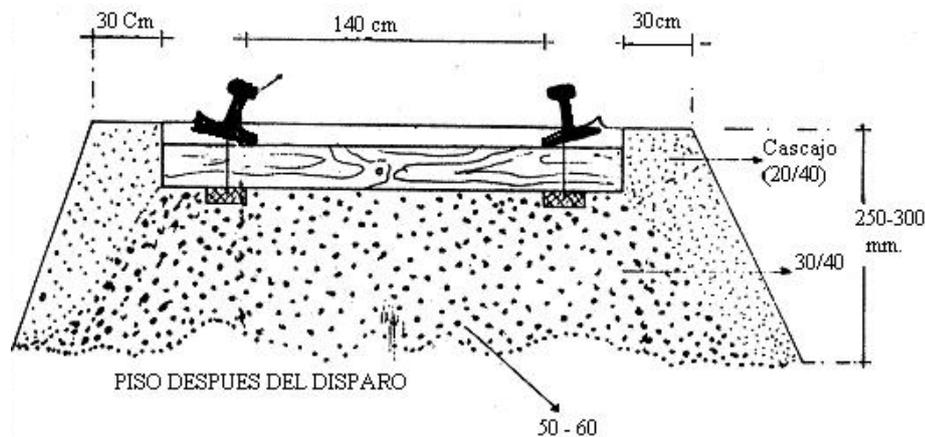


**Figura 3:** Plataforma de la vía de dos aguas

FUENTE: (AHM, 2008).

### 3.1.2 El balasto

El balastro o balasto consta de una capa de roca fragmentada, ésta tiene por finalidad repartir la carga que los durmientes transmiten sobre el piso, el balasto se interpone entre la traviesa y la plataforma, el balasto o capa de roca fragmentada tiene por finalidad de repartir la carga que las traviesas transmiten sobre el piso, el balasto se interpone entre la traviesa y la plataforma. El balasto para las vías principales de extracción es obligatorio una primera capa de 10-15 cm. que nivelará el suelo de la galería y ofrecerá un asiento correcto a las traviesas o durmientes, para impedir deslizamientos laterales de la vía se necesitará una segunda capa de balasto, que deberá envolver a los durmientes hasta  $\frac{2}{3}$  de su altura. Como material para el balastro se puede emplear cascotes, cantos rodados y grava de roca dura, el tamaño de cascote de los cantos rodados debe oscilar entre 20 y 40 mm. y el de la grava de 3-20 mm. Además, un buen balastro debe tener un "coeficiente de friabilidad" que permita resistir desmenuzarse por efectos de las cargas que debe soportar y el bateo; no producir ni contener polvo para que éste no anule las propiedades elásticas y de drenaje.



**Figura 4:** Balasto

FUENTE: (Benel, 2017).

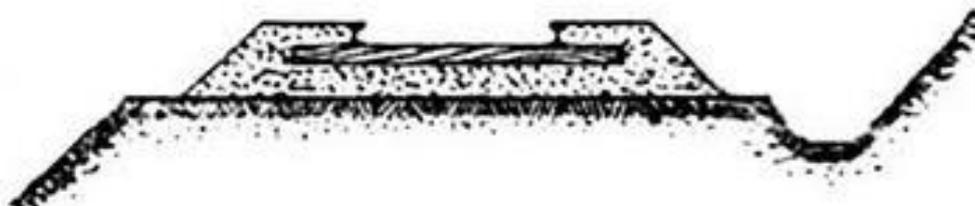
La misión del balasto es:

- Repartir la carga que la traviesa le transmite hasta el terreno.
- Fija a las traviesas en sentido longitudinal y transversal.
- Absorbe la energía cinética producida por los efectos de impacto producidos por las cargas móviles, actuando como amortiguador entre la vía y la plataforma.
- Protege a las traviesas y las mantiene secas, permitiendo el drenaje del agua.

Las condiciones que debe reunir el balasto, para cumplir con los fines mencionados, son:

La capa de balasto, debe ser de suficiente espesor para que reparta las presiones sobre una base más ancha, según las cargas que los durmientes reciban, esta altura del balasto, está relacionada con la velocidad, peso y número de los carros mineros, también con la naturaleza del terreno y con el clima del país, en la figura 4, se ilustra una distribución de presiones en el balasto, para distribuir está en la plataforma

considerando una base más amplia para soportar los esfuerzos, la altura del balasto varía de 30 a 50 cm. por debajo de los durmientes, deben ser piedras de arista viva, pues los cantos rodados no sujetan tanto los durmientes. No deben ser las piedras muy pequeñas, porque entre ellas quedaría poco espacio para el drenaje y, además, se perderían y desgastarían más fácilmente; ni ser muy grandes, pues se reduciría aristas al apoyo del durmiente y se dificultaría el bateado, un tamaño de 3 a 6 cm. es recomendable, se comprende la conveniencia de la regularidad de los tamaños, de la uniformidad de las dimensiones. Las piedras deben ser de roca dura, que se oponga a quebraduras y desgastes: basalto, cuarcita, caliza y granito reuniendo estas condiciones, el balasto se coloca sobre la explanación o plataforma, como se ilustra en la sección transversal de la vía de las figuras 5 y 6, la superficie de la explanación, sobre la cual el balasto se coloca, debe tener cierta inclinación, en sentido transversal, para dar salida a las aguas, vertiéndolas por uno o dos lados, se coloca el balasto en capa de buen espesor y dimensiones al ancho que, naturalmente, varían con la de la vía y la categoría de la línea (AHM, 2008).



**Figura 5:** Sección transversal de la vía

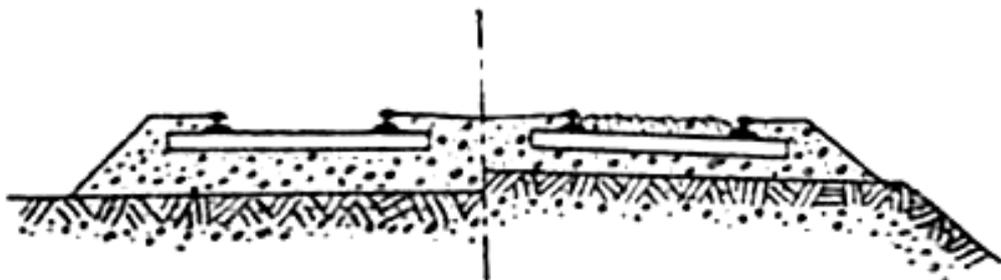
FUENTE: (AHM, 2008).



**Figura 6:** Sección transversal de doble vía en recta

FUENTE: (AHM, 2008).

Se hace penetrar el balasto, bajo el durmiente, por medio del bateado, de manera que, al compactar la piedra, se afiance sobre el balasto el durmiente en que se apoyan los rieles; entre éstos, el balasto queda más suelto bajo el centro del durmiente, y más presionado en los extremos. No es sólo el ahorro de trabajo lo que limita el bateado persistente a estos extremos, sino las razones de conveniencia a que más adelante aludimos. Entre los rieles, el balasto puede cubrir o no los durmientes, hay partidarios de una y otra solución, dejando descubierto el durmiente se facilita su vigilancia, en la figura 7 se muestra la diferencia entre estas soluciones, la primera para una vía en recta y la segunda en el caso de tener una vía en curva. Nos hemos referido en cuanto antecede al tipo corriente de balasto, al de piedras de tamaño uniforme, puede también emplearse el formado por piedras de distinto tamaño; en el fondo las grandes, y en la superficie las pequeñas disposiciones razonada, pero costosa y dificultosa (AHM, 2008).



**Figura 7:** Secciones transversales de vía, con durmientes al descubierto, en el primer caso y cubiertas por el balasto en el segundo.

FUENTE: (AHM, 2008).

### 3.1.3 Traviesas o durmientes

Uno de los elementos principales en donde van fijado los rieles son las durmientes, estas soportan los rieles y los conservan a distancias previamente diseñadas, así mismo transmiten la presión a la capa de balasto, los durmientes pueden ser de madera, metálicos, o de hormigón armado. No se precisa, sin embargo, una sección



perfectamente escuadrada, sino que la cara inferior sea plana y la superior ofrezca también una superficie plana de al menos 21 cm. de ancho, que servirá de asiento para el patín del riel.

### 3.1.4 Dimensiones de los durmientes

Las dimensiones de los durmientes dependen a su vez de las características propias de la vía (trocha) y de las cargas máximas admisibles por el durmiente y por el balasto. Como caso práctico debe ser el doble de la trocha, la altura de los durmientes se toma una pulgada más que la longitud del clavo o tirafondo.

En nuestras minas tenemos las siguientes dimensiones:

- 8" x 6" para las vías principales.
- 7" x 5", 4" x 6" para las vías secundarias.
- 6" x 5" para las vías provisionales.
- 4" x 10" para los empalmes de riel a riel.

Las dimensiones de la traviesa o durmientes de acuerdo a la figura 11 mostrada es igual a:

$$L = t + 2b + 2m.$$

$$h = J + \frac{1}{4}$$

$$a = 1,4J$$

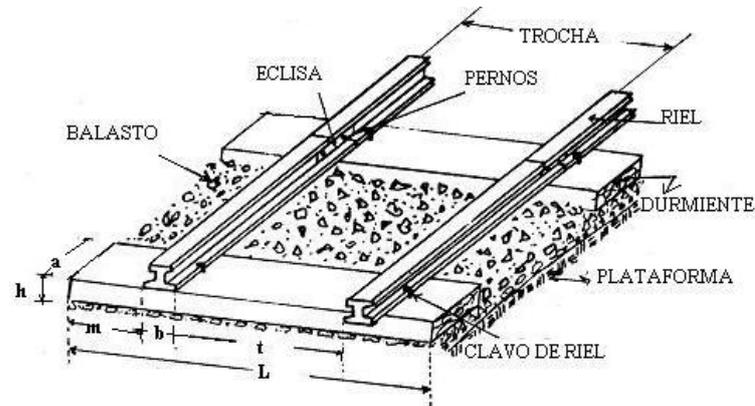
L : Longitud de la traviesa.

t : Ancho de la trocha.

b : Ancho del patín del riel.

m : Distancia libre que sobresale a los extremos de la vía.

- h : Espesor mínimo del durmiente.
- J : Longitud del clavo o tirafondo de riel.
- a : Ancho mínimo del durmiente.



**Figura 8:** Componentes de la vía y accesorios

FUENTE: (Llanque, *et al.*, 2008)

La separación dependerá de los siguientes factores:

- De las condiciones del terreno sobre el cual se va a tender la línea *de cauville*.
- Del peso que soportarán los rieles.
- Del tiempo que permanecerá la instalación de la línea *de cauville*.

**Tabla 1:** Dimensiones de durmientes

Peso de riel (lb/yd)	Sección durmiente (pulgadas)
HASTA 20	3 x 4
20 a 30	4 x 6
35 a 40	6 x 6
Más de 50	7 x 9

FUENTE: (Llanque, *et al.*, 2008, p.163).

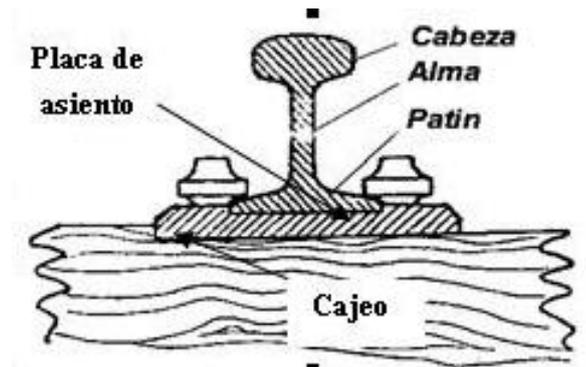


Las maderas más corrientemente empleadas en la fabricación de durmientes son las de quebracho, cuchi, haya, pino, eucalipto, es de recomendar que, como para cualquier explotación de un bosque, la tala se haga en el momento de paralización de la savia, e igualmente beneficioso es que sequen bien los durmientes después de obtenido el tronco, el secado resulta necesario para la impregnación a que se las debe someter, porque sin esta operación los durmientes duran mucho menos.

Los durmientes, como todas las piezas de madera, se pueden secar al aire, procedimiento natural y primitivo, o por distintos sistemas de estufa, estos son procedimientos en los que se utiliza el fuego para calentar el aire o producir vapor con que se trata a las maderas, reduciendo el tiempo de su desecación.

Después de esta previa operación se deberán impregnar de alguna sustancia antiséptica, que generalmente se introduce a presión en la madera, la sustancia que generalmente se emplea es la creosota, obtenida de la destilación del alquitrán de hulla; también se emplea el cloruro de zinc, el procedimiento de aplicación de la creosota, es el de inyección *Ruping*, que consiste en someter previamente los durmientes a la presión del aire en una autoclave para abrir los canales de la madera, introduciendo luego la creosota caliente y elevando al doble la presión anterior, para que la creosota penetre en dichos canales (AHM, 2008).

Para el apoyo de los rieles sobre los durmientes, se hacen unas entalladuras, formando como una caja en la que entra el patín del riel (figura 9), y se da a la superficie de apoyo una cierta inclinación, para que, a su vez, la sección del riel no quede completamente vertical, sino con inclinación hacia el interior, inclinación que en casi todos los ferrocarriles viene a ser de  $1/20$  y  $1/40$  (AHM, 2008).



**Figura 9:** Apoyo del riel sobre el durmiente

FUENTE:(AHM, 2008).

Entre el durmiente y el patín del riel se coloca generalmente una placa metálica, llamada placa de asiento (figura 9), que tiene por objeto aumentar la superficie de apoyo del riel y también aumentar la resistencia al desplazamiento transversal del riel. Permiten suprimir o reducir la importancia del cajeo del durmiente, los durmientes se asientan sobre el balasto, presionando este bajo ellas con golpes de bate, a lo que se llama el bateado, para el asiento de la vía se pueden emplear procedimientos mecánicos, por medio de los cuales se efectúan todas o parte de las operaciones: preparación de durmientes, cajeado y perforación, bateado, etc., se ensaya incluso, y a veces se utiliza, el procedimiento de montar la vía fuera de la explanación, y luego trasladar a estos tramos armados con rieles y durmientes (AHM, 2008).



**Figura 10:** Apoyo del riel sobre el durmiente

FUENTE:(freepik, 2019)

La distancia entre durmientes es variable, reduciendo esta distancia y aumentando el número de durmientes se aumenta la fortaleza de la vía, en la figura 10, se ilustra una vía férrea con durmientes de madera los cuales se encuentran con una separación de 50 cm. entre ellos (AHM, 2008).

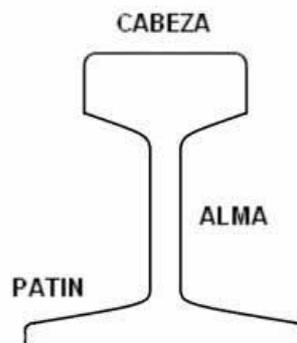
### 3.1.5 Rieles

Es el elemento principal de una línea *de cauville*, cuyo peso es de 30 libras/yarda, instalados perpendicularmente sobre los durmientes.

#### a) Componentes del riel

Un riel está compuesto por:

- **Cabeza del riel:** Porción superior del riel sobre la cual se apoyan las ruedas de los vehículos ferroviarios.
- **Alma del riel:** Porción intermedia del riel que une su cabeza con su zapata.
- **Zapata o patín del riel:** Porción inferior del riel mediante la cual éste se apoya en los durmientes directa o indirectamente (Llanque, *et al.*, 2008).



**Figura 11.** Partes del riel

FUENTE: (Llanque, *et al.*, 2008, p.163).

La nomenclatura de los carriles se da en lb/yarda o kg/m., para elegir un carril se debe tener presente los siguientes:

- La condición de la superficie o terreno sobre el cual se va a tender la línea *de cauville*.
- Peso de la locomotora y capacidad de los carros mineros.
- El espaciamiento entre las traviesas.
- La intensidad del tráfico a que estará sometidas.

La longitud estándar de una collera es de 30 pies para rieles hasta 45 lb. y 33 pies para rieles de 50 lb. a más (Llanque, *et al.*, 2008, p.163).

**Tabla 2:** Dimensiones estándar de rieles

Denominación	Libras por yarda	Dimensiones en pulgadas				Altura del centro de gravedad X
		B	D	K	t	
12 - AS	12	2	2	1	3/16	0,96
16 - AS	16	2 3/8	2 3/8	1 11/64	7/32	1,14
20 - AS	20	2 5/8	2 5/8	1 11/32	1/4	1,26
25 - AS	25	2 3/4	2 3/4	1 1/2	19/64	1,33
30 - AS	30	2 1/8	2 1/8	1 11/16	21/64	1,52
35 - AS	35	3 5/16	3 5/16	1 3/4	23/64	1,59
40 - AS	40	3 1/2	3 1/2	1 7/8	25/64	1,68
45 - AS	45	3 11/16	3 11/16	2	27/64	1,76
50 - AS	50	3 7/8	3 7/8	2 1/8	7/16	1,87
55 - AS	55	4 1/16	4 1/16	2 1/4	15/32	1,97
60 - AS	60	4 1/4	4 1/4	2 3/8	31/64	2,06

FUENTE: (Llanque, *et al.*, 2008, p.164)

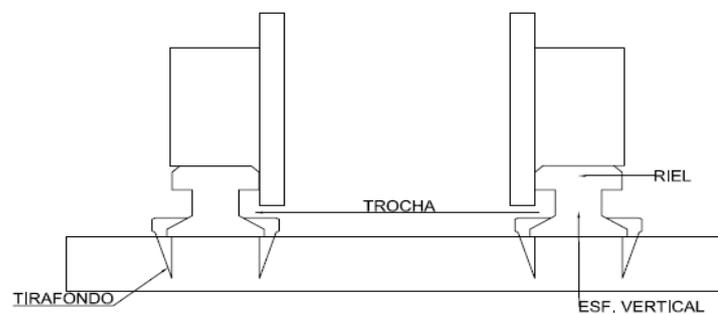
#### b) Esfuerzos que soporta el riel

Existen tres clases de fuerzas que actúan sobre la vía de un riel; los cuales son verticales, transversales y longitudinales.

- **Fuerzas verticales**

En reposo los vehículos ejercen sobre la vía una carga estática por cada eje; esta carga tiene la tendencia a flexionar el riel y es la que determina la sección que esta debe tener (figura 12), cuando los vehículos están en movimiento se tienen varios fenómenos (CCorimaya, 2007, p.20).

- El movimiento del galope.
- El movimiento del balanceo lateral.
- Los choques debidos al peso sobre las juntas.
- En las curvas, la desigualdad repartición del peso entre las dos filas de rieles, sobre todo si la vía no tiene peralte o se tiene mal calculad.
- De una forma general todos los golpes provenientes de las irregularidades de la vía y que por un fenómeno de resonancia tienden a acentuarse.



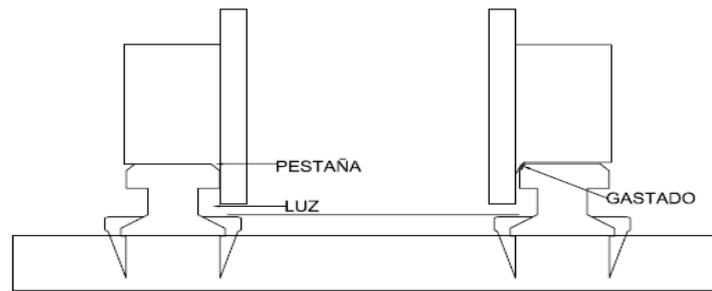
**Figura 12:** Esfuerzos verticales

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.20).

- **Esfuerzos transversales**

Se producen en:

- En vía recta.
- En curvas.



**Figura 13:** Esfuerzos transversales

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.20).

- **Esfuerzos longitudinales**

Se ha constatado que los rieles tienen tendencia a desplazarse en el sentido del avance de los trenes o en el sentido de la pendiente sobre las líneas de la vía única.

**c) Selección de perfil**

Hay muchas fórmulas para calcular el peso del riel que se usará para el transporte; pero hay una más sencilla, corrientemente admitida que permite determinar el valor máximo de sus diferentes parámetros compatibles con la elasticidad del riel.

$$Pr = \frac{w * a}{2 * k}$$

Dónde:

W = Es la carga que soporta por eje en toneladas.

Pr = Es el peso del riel en lb/yarda o kg/m.

a = Es el espaciamiento entre durmientes

k = Coeficiente que varía en función de la velocidad.

**Tabla 3:** Coeficiente de velocidad

Velocidad km/h.	Coeficiente (k)
> s a 40	0,13
30 - 40	0,14
20 - 30	0,15
10 - 20	0,16
< z a 10	0,17

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.22).

La más adecuada a nuestras minas subterráneas es la fórmula que se muestra a continuación:

$$P = k * w * a$$

Siendo k un factor directamente proporcional al costo de mantenimiento de la vía con el objeto de sobredimensionar para reducir el déficit y costos trabajo de mantenimiento subterráneo. Los valores de k serían los siguientes:

**Tabla 4:** Coeficiente de velocidad por tipo de vía

Tipo de vía	Coeficiente (k)
Principales	10
Secundarios	6
Principales superficiales	4(*)
Secundarios superficiales	3(*)

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.22).

(\*) Son vías de la bocamina al exterior

Los rieles pesados son una buena garantía contra las deformaciones, pero se puede incrementar la rigidez por muchos otros medios.

#### **d) Duración de los rieles**

La duración de los rieles dependerá de la cantidad de viajes que pasan por ella, así mismo del mantenimiento que se dan a éstas, en la duración también influyen las

condiciones de las labores. En las observaciones hechas se han estimado que los resultados aproximados son como sigue:

- En los tramos rectos la pérdida de peso de la cabeza de los rieles es de 0,25 kg/m. por cada 10 000 trenes que pasan.
- En las curvas:  
0,36 kg/m. en el riel interior.  
0,64 kg/m. en el riel exterior.

Los rieles que han perdido la 5ta parte del peso de su cabeza se han propuesto que pasen a las vías secundarias, y si pierden la mitad del peso de su cabeza deben ser retirados. El peso de la cabeza es el 42 % del peso de un riel Standard (CCorimaya, 2007, p.23).

**Tabla 5:** Peso de riel apropiado para diferentes pesos de locomotora

<b>Peso locomotora en toneladas</b>	<b>1 1/2</b>	<b>2</b>	<b>2 1/2</b>	<b>3</b>	<b>3 1/2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>
Peso mínimo de riel que debe usarse	8	12	12	16	16	16	16	20	20	25	30	40	50	60
Peso recomendado	12	16	20	20	20	25	25	30	30	40	40	50	60	70

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.23).

Debido al poco cuidado que se tiene en el tendido del riel y por el inapropiado rameado, se recomienda rieles más pesados con la que se logra evitar el pandeo de los rieles, lo cual disminuye la fricción. (CCorimaya, 2007, p.23).

#### e) **Desgaste y deformación de rieles**

El procurar un exceso en la masa metálica del riel es también necesario si se tiene en cuenta el desgaste que el uso produce, sobre todo en la cabeza. La circulación



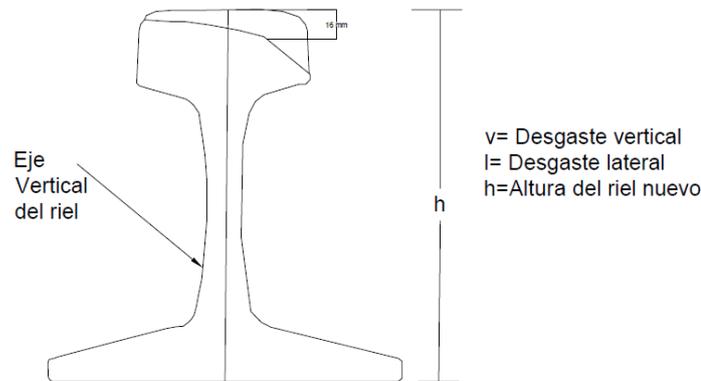
de los trenes ocasiona, en efecto, cierto desgaste de la cabeza del riel. La presión de las ruedas y el roce que ejercen, sobre todo en las curvas, el efecto de las frenadas; los golpes de las ruedas, cuando la vía presenta alguna desigualdad, cosa que más frecuentemente ocurre en las juntas; los golpes que producen también las ruedas cuando los ejes de los vehículos no están en debidas condiciones o el sobreancho de la vía es excesivo; la acción de los agentes atmosféricos, y otras causas de menor importancia van reduciendo la altura y el ancho de la cabeza del riel. Naturalmente que estos motivos de desgaste, en su mayoría, crecen al aumentar el número, velocidad y peso de los trenes. Cuando el desgaste pasa de cierto límite, como 15 o 18 mm., para rieles de mediano peso, 20 o 25 para los de gran peso, los rieles deben ser renovados, y como la sustitución aislada de algunos de ellos no es conveniente, se suele hacer la renovación completa, para dejar una nueva vía de rieles homogénea, utilizando el gastado en vías de estaciones o de líneas de menor importancia.

Los rieles tienen longitudes diversas, y se procura que sean las mayores posibles para reducir el número de juntas y hacer más eficaz la resistencia al deslizamiento longitudinal y a los esfuerzos transversales. Las juntas de los rieles son los puntos débiles y conviene que su número sea el menor posible. El máximo de la longitud viene fijado por la posibilidad del laminado y por la separación entre rieles para el juego de dilatación, separación que no pasa de 20 mm., Por otra parte, la conveniencia de facilitar el transporte pone también un límite a la longitud de rieles. La longitud se toma usualmente de 12 a 15 m. y para los rieles más pesados se emplea de 18 m. de largo (AHM, 2008).

Como todo material, los rieles también se van desgastando según el uso que se les hace a través del tiempo, éstos se desgastan en la parte superior, la cabeza, que es la que hace contacto con las ruedas del ferrocarril. Para que el riel siga cumpliendo con su

función y no haya problemas de seguridad, existe un valor de desgaste máximo que es permitido, el cual es de 3/8" (10 mm.) (Gustavo, 2015).

**f) Desgaste de cabeza**

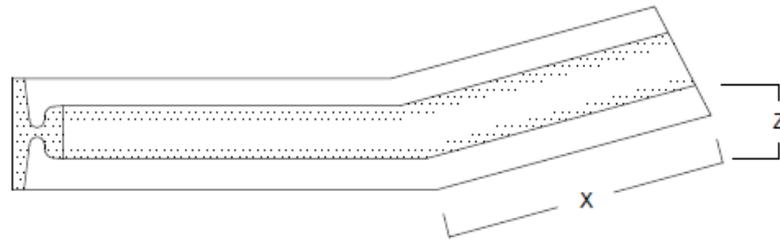


**Figura 14:** Desgaste vertical y lateral

FUENTE: (Gustavo, 2015).

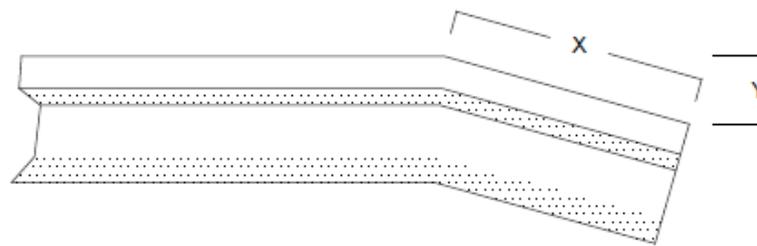
- **Desgaste lateral de la cabeza del riel:** Es el desgaste de la superficie lateral de la cabeza del riel, medido transversalmente a una distancia de la superficie de apoyo del riel igual a la altura del riel nuevo disminuida en 16 mm. (Gustavo, 2015).
- **Desgaste vertical de la cabeza del riel:** Es el desgaste de la superficie de rodado del riel, medido en su eje vertical (Gustavo, 2015).
- **Desgaste ondulatorio de la cabeza del riel:** Desgaste discontinuo de la superficie de rodado del riel que se caracteriza por una sucesión alternada de zonas altas brillantes y zonas bajas (baches) oscuras. (Gustavo, 2015)
- **Encalladuras:** Cavidades de poca profundidad que se forman en la superficie de rodado de los rieles por desprendimiento del material autotemplado a causa del patinaje de las ruedas de los vehículos ferroviarios.

Otro daño que sufren los rieles es la desalineación de éstos, los cuales serían (Gustavo, 2015).



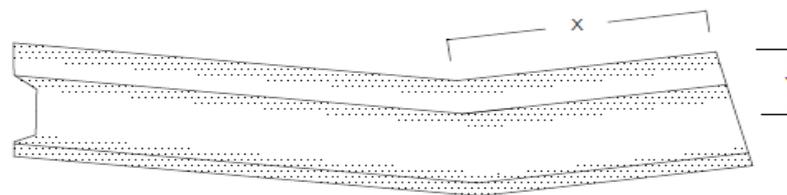
**Figura 15:** Desalineación horizontal

FUENTE: (Gustavo, 2015).



**Figura 16:** Desalineación vertical: doblez hacia zapata

FUENTE: (Gustavo, 2015).

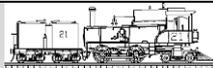


**Figura 17:** Desalineación vertical: doblez hacia cabeza

FUENTE: (Gustavo, 2015).

### g) Naturaleza y vida del riel

**Tabla 6:** Composición química del acero para rieles

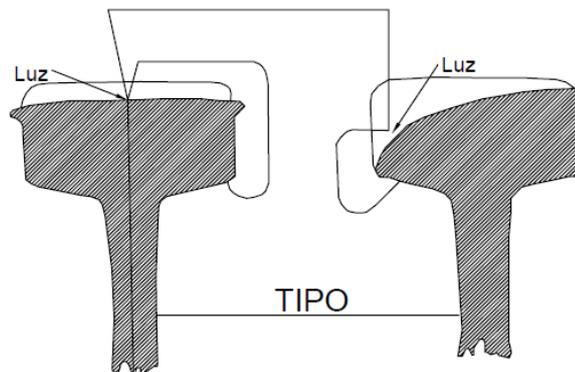
	Fabricados en Europa	Fabricados en América
% de Carbono	0,4 – 0,57	mayor a 0,57
% de Manganeso	0,8 – 1,2	menor a 0,8
% de Silicio	0,1 – 0,25	0,1 – 0,25
% de Fosforo	máximo admisible 0,06	máximo admisible 0,06
% de Azufre	máximo admisible 0,06	máximo admisible 0,06

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.23).

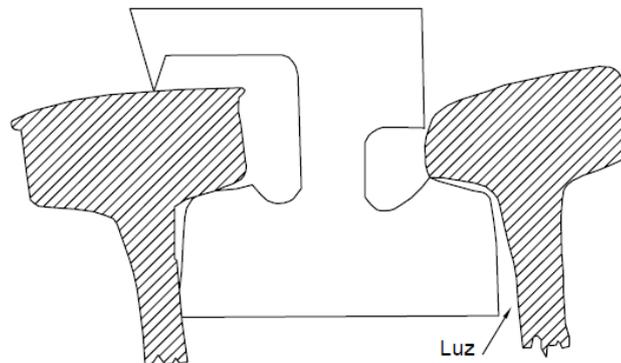
## h) Medición del desgaste de la cabeza del riel y medición de la deformación horizontal

Para poder determinar el desgaste de los rieles se utilizan ciertos materiales haciendo una respectiva medición de desgaste:

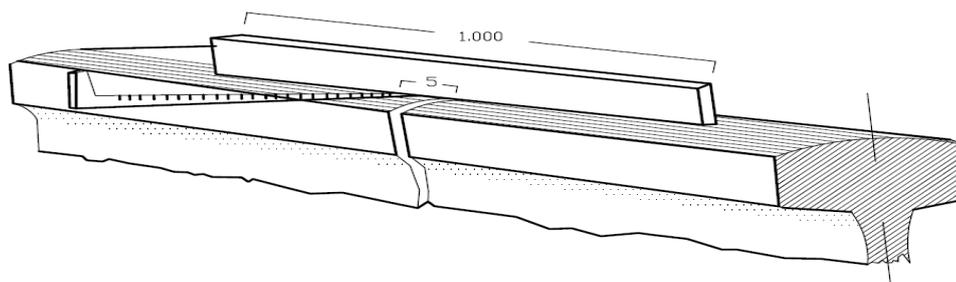
### Uso calibre rielero



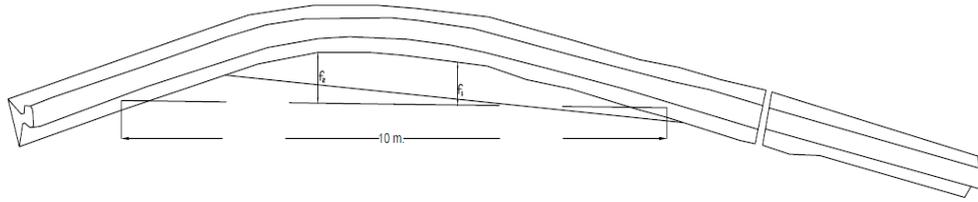
**Figura 18:** Riel de clase o para vía de categoría inferior a la indicada en el calibre  
FUENTE: (Gustavo, 2015).



**Figura 19:** Riel de clase o para vía de categoría igual o superior a la indicada en el calibre  
FUENTE: (Gustavo, 2015).



**Figura 20:** Medición del desgaste vertical de la cabeza en el extremo del riel



**Figura 21:** Medición de las deformaciones de rieles de vía

FUENTE: (Gustavo, 2015).

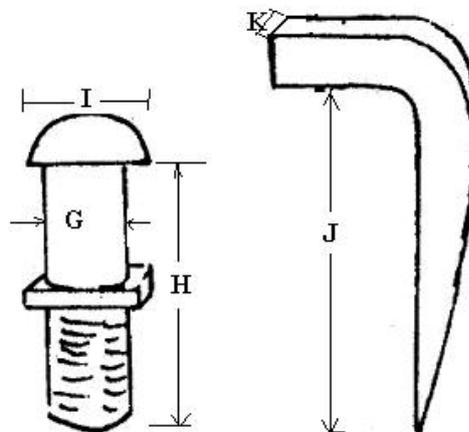
$$r_{\max} > f_2 > f_1 \text{ -----} = \text{deformación riel.}$$

### i) Accesorios para instalación de rieles

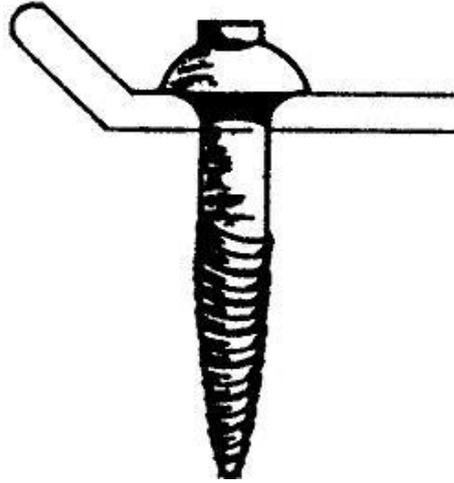
Los rieles se instalan con una serie de accesorios, dentro de los principales accesorios tenemos:

- Eclisas.
- Clavos de riel o escarpías.
- Tirafondos
- Placas de asiento.
- Arandelas.

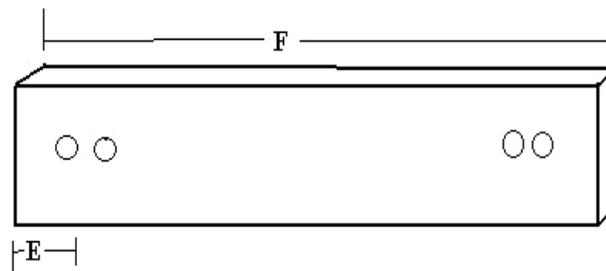
Para aumentar la resistencia de la vía de intenso movimiento se colocan entre los rieles y las traviesas unas planchas de asiento metálicas que se hacen planas o en cuñas.



**Figura 22:** Clavito y tuerca



**Figura 23:** Tirafondo

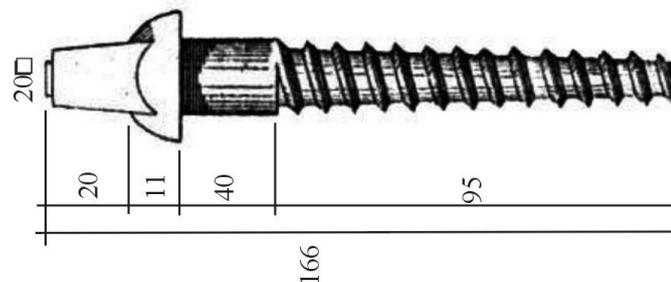


**Figura 24:** Eclisa

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.31).

Las sujeciones del riel son elementos que hacen posible la continuidad estructural de la vía. Las funciones de las sujeciones, son:

- Fijar los rieles a los durmientes.
- Asegurar la invariabilidad del ancho de la vía.
- Facilitar la transferencia de las cargas estáticas y dinámicas del material rodante.



**Figura 25:** Tirafondo

FUENTE: (ACEROS CP S.A.C., 2015).

Un elemento importante de las sujeciones es la placa de asiento, que reduce la presión específica transmitida por el riel protegiendo así al durmiente.

- **Pernos rieleros**

Los rieles y las eclisas van unidos mediante pernos rieleros, hay de diferentes tipos, algunos son:

- **Tirafondo rielero**

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férreas se muestra en la siguiente figura, este debe ir recubierto con aceite (Elman, 2014).



**Figura 26:** Tirafondo rielero

FUENTE: (ACEROS CP S.A.C., 2015).

- **Clavo Rielero Ferrocarriles**

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea se muestra en la siguiente figura, este debe ir recubierto con aceite (Elman, 2014).



**Figura 27:** Clavo rielero

FUENTE: (Elman, 2014).

- **Clavo rielero tipo americano**

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea se muestra en la siguiente figura, este debe ir recubierto con aceite (Elman, 2014).



**Figura 28:** Clavo rielero tipo americano

FUENTE: (Elman, 2014).

- **Perno rielero cuello ovalado**

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea se muestra en la siguiente figura, este debe ir recubierto con aceite (Elman, 2014).



**Figura 29:** Perno rielero cuello ovalado

FUENTE: (Elman, 2014).

- **Tuercas bulldog:**

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea, se muestra en la siguiente, este debe ir recubierto con aceite, una de las características de estas tuercas es que se ensamblan con torque predeterminado impidiendo que se suelte del perno por las vibraciones (Elman, 2014).



**Figura 30:** Tuercas bulldog

FUENTE: (Elman, 2014).

- **Pernos KZ:**

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea, se muestra en la siguiente figura, este debe ir recubierto con aceite (Elman, 2014).



**Figura 31:** Perno KZ

FUENTE: (Elman, 2014).

- **Vastago de anclaje:**

El cual se usa de anclaje de fijación del riel, se muestra en la siguiente figura: (Elman, 2014).



**Figura 32:** Vastago de anclaje

FUENTE: (Elman, 2014).

### 3.1.6 Aparatos de vía

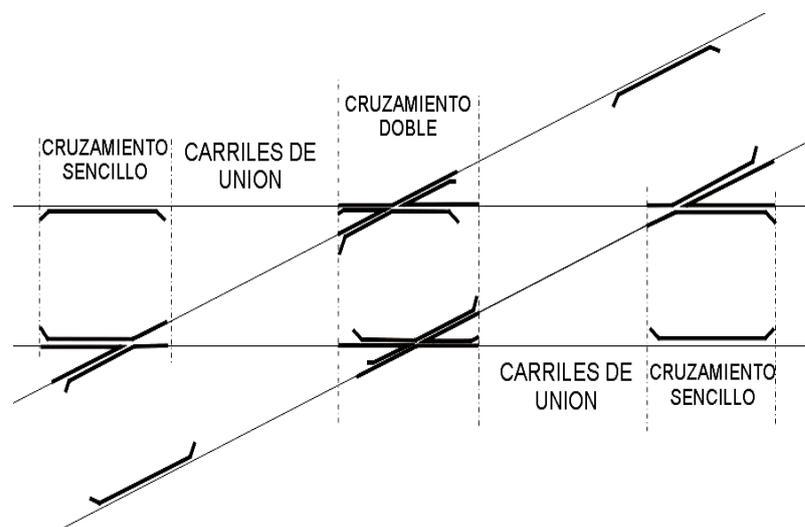
Los aparatos de vía tienen por objeto realizar bien el desdoblamiento o el cruce de las vías aun, cuando adoptan formas variadas, derivan todas ellas de los aparatos fundamentales: el desvío, que permite el paso de los vehículos de una vía sobre otra y la entrevía, que permite realizar la conexión entre dos vías. (véase anexos plano 3). (CCorimaya, 2007, p.23).



**Figura 33:** Aparatos de vía (sapa)

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.34).

El desvío los ejes de ambas vías se juntan tangencialmente mientras que en la entrevía dichos ejes se cortan. Para efectuar la separación o el cruce de unas y otras filas de los carriles se emplean dos elementos, llamados cambios de vías, y cruzamientos, así en un desvío sencillo o de dos vías, y a partir del origen común de las vías, se encuentran sucesivamente el cambio, en el que se separan ambas filas de la izquierda y ambas filas de derecha; los rieles o agujas de unión, y el cruzamiento en el que las dos filas interiores, una de derecha y otra de izquierda, se cruzan (CCorimaya, 2007, p.34).



**Figura 34:** Cruzamiento doble o entrevía oblicua

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.35).

En una entrevía oblicua se encuentran sucesivamente: un cruzamiento sencillo, análogo al anterior, en el que se cruzan filas de rieles de distinto nombre, es decir, la fila de la derecha de la vía izquierda con la fila de la izquierda de la vía derecha; rieles intermedios de unión; un cruzamiento doble, frente a la intersección de los ejes de ambas vías, compuesta sobre cada vía por un doble cruzamiento, llamado también cruzamiento obtuso, en el que se cruzan filas del mismo nombre; nuevos carriles de unión; finalmente, un cruzamiento de salida análogo al cruzamiento de entrada como se muestra en la (figura 34), (CCorimaya, 2007, p.35).

### 3.1.7 Trocha

La trocha es la distancia entre las caras internas de las cabezas de los carriles, en ángulo recto al riel, en un plano ubicado a 16 mm., desde la parte superior de la cabeza dimensiones del riel. En minera subterránea se utilizan trochas de diferentes dimensiones y está en función a la sección de las rieles, en las secciones de las vías estrechas se admiten las desviaciones del ancho normal más 4 mm en sobre ancho y – 2 mm., en estrechamiento, debido a la presencia de juego se previenen la posibilidad de acañamiento de las pestañas entre los rieles con inexacta colocación de la vía se asegura en movimiento el centrado de las ruedas sobre los carriles, en las partes curvas de las vías para facilitar el movimiento de las vagonetas se necesita un aumento de la separación, el ensanchamiento de la vía con respecto a la trocha nominal no debe superar los 25 mm.

En la elección de la trocha influye el tipo de equipo disponible y el radio de curvatura de las galerías de transporte. Para la instalación de la vía se usa con la herramienta de medida para trochas, denominada el "escantillón" o regla del carrilano (CCorimaya, 2007, p.36).



**Figura 35:** Trocha en una vía férrea

FUENTE: (AHM, 2008).



**Tabla 7:** Selección de riel

Peso del riel (lb/yd)	Espaciamiento de durmientes de madera (pulgadas)			
	24	30	36	42
20	3 800	3 100	2 500	2 100
25	4 700	3 800	3 100	2 700
30	6 700	5 400	4 500	3 900
35	8 100	6 400	5 400	4 600
40	9 700	7 700	6 400	5 500
45	11 300	9 100	7 600	6 500
50	13 300	10 600	8 900	7 600
55	15 300	12 300	10 200	8 800
60	17 700	14 100	11 600	10 000

FUENTE: (Llanque, *et al.*, 2008, p.173).

Dentro de las funciones que cumplen los rieles, podemos mencionar que estos son los que soportan todo el material rodante y sirven de guía para el trayecto a seguir.

### 3.1.8 Locomotoras

Son equipos de tracción por adherencia, sirven para mover los carros mineros durante la operación de transporte, el sistema de transporte minero subterráneo requiere de locomotoras pesadas y de mayores potencias debido al esfuerzo de tracción y la continuidad del trabajo, según la energía utilizada, las locomotoras se dividen en locomotoras a: aire comprimido, diésel, batería y eléctricas (Atencio, 2013).

#### 3.1.8.1 Locomotoras a aire comprimido

Son máquinas que cuentan con unos recipientes o botellas de aire comprimido de 700 litros de capacidad aproximadamente, que son transportados por la locomotora para su accionamiento (Atencio, 2013).



### **Ventajas:**

- Buena seguridad.
- No causa problemas por corrientes eléctricas, ni gases tóxicos.

### **Desventajas:**

- Requiere de instalaciones especiales de aire a alta presión en superficie, para enviarla a interior mina por una red de tuberías a cierto número de estaciones de carga de recipientes de la locomotora.
- Tiene un rendimiento deficiente.

### **3.1.8.2 Locomotoras a diésel**

Accionados por motores de combustión interna, se emplean para transporte de grandes toneladas de mineral, construidas para cualquier fuerza de tracción, desarrollan velocidades de 15 a 50 km/h. con potencias de 30 a 600 HP y con pesos de hasta 25 TC. (Atencio, 2013).

### **Ventajas:**

- Posee gran radio de acción.
- Es fácil de operar.
- No requiere de una instalación previa para operación aparte de la línea *de cauville*.

### **Desventajas:**

- No es posible su utilización en lugares donde la ventilación es deficiente.



- Está latente el peligro de incendio, toxicidad de los gases de escape e inflamación del gas grisú si se usa en minas de carbón.
- Deben contar extintores contra fuegos.

### **3.1.8.3 Locomotoras a batería**

Son muy versátiles, generalmente las minas pequeñas y algunas medianas las tienen en operación, cuando se deba calcular el tamaño de la locomotora, también debe calcularse la capacidad en amperios hora de la batería que es la fuente de energía, solo el haber calculado correctamente ambos, dará una operación segura y eficiente durante el ciclo de trabajo previamente calculado.

Las locomotoras a batería tienen por norma tener 02 bancos de batería: un banco en operación y el otro en carga (para la 2da. guardia), no es recomendable hacer trabajar una locomotora con un solo banco de batería, porque reduce el rendimiento de la máquina y acorta sensiblemente la Vida útil del banco de batería.

Estas locomotoras también funcionan con energía eléctrica, pero esta energía es corriente eléctrica continua generada por unos acumuladores del tipo ácido básico o de ferroníquel (alcalinas) conectados en paralelo (24 V) y que son transportados por la misma locomotora, periódicamente son recargados en las estaciones de carguío de baterías.

El acumulado de plomo (o ácido) está compuesto por celdas de 2 placas de plomo c/u y bañadas en ácido sulfúrico; cada celda produce 2 voltios, el acumulador de ferroníquel (o alcalino) es menos pesado y menos voluminoso, dada celda está constituida por placas de níquel y zinc con una solución de potasa y agua destilada, cada



celda produce 25 voltios, desarrollan velocidades de trabajo de 10 a 15 km/h. (Atencio, 2013).

#### **Ventajas:**

- Se puede transportar a cualquier lugar donde existe riel.
- Es muy fácil de operar.
- Responde rápidamente a los controles.
- No requiere de instalación previa para la operación.

#### **Desventajas:**

- Requiere de una estación de carguío de baterías.
- No se puede utilizar en el transporte de grandes tonelajes.
- Tiene limitaciones de capacidad debido a la poca duración de la batería.

#### **3.1.8.4 Locomotoras a *trolley***

Son equipos de tracción cuyos motores son accionados al hacer contacto el cable conductor aéreo positivo (+) instalado a un promedio de 1,80 metros de altura mínimo con la línea de riel que conduce la carga eléctrica negativa (-) a través de una roldana o zapata de la pértiga (*trolley o trole*), para su funcionamiento requieren de corriente continua de 220 a 255 voltios, y desarrollan velocidades de 10 a 30 km/h. Generador o transformador de corriente continua. Cable conductor aéreo de cobre, de sección transversal en forma de 8 para su fácil instalación mediante grampas, aisladores y varillas de anclaje (Atencio, 2013).



### **Ventajas:**

- No genera gases tóxicos.
- Son compactos y simples de operar.
- Se utilizan en el transporte de grandes tonelajes a grandes distancias por los niveles principales de la mina.
- El costo de energía consumida es menor comparado con otros tipos de locomotoras.

### **Desventajas:**

- Se usa solo en labores donde existe línea a *trolley*.
- Su instalación inicial es cara.
- El sistema es peligroso por los riesgos de electrocución.
- No es posible usarlo en minas de carbón.

### **3.1.9 Carros mineros**

Los carros mineros son estructuras de acero, son utilizados en todos los tipos de minería actual, sin importar el tipo de carro seleccionado, es recomendable por motivos prácticos estandarizar al equipo para simplificar así las reparaciones y limitar la cantidad de repuesto necesario en *stock*. Las partes principales de los carros mineros se observan en la siguiente figura, los carros mineros se caracterizan por los siguientes parámetros: (Llanque, *et al.*, 2008 p.178).

- Capacidad de carga útil.
- Tara

- Coeficiente de tara.
- Número de ejes.
- Coeficiente de resistencia al movimiento.



**Figura 36:** Partes principales de carros mineros

FUENTE: (Serminsa, 2013).

**a) Capacidad**

Según su capacidad los carros mineros se dividen en tres categorías pequeños con capacidad de 1,3 metros cúbicos, medianos con capacidad de 1,3 – 2,7., metros cúbicos, actualmente hay tendencia a aumentar la capacidad de los carros y locomotoras (Llanque, *et al.*, 2008 p.179).

**b) Tara (qm)**

Es el peso del carro sin carga, la disminución del peso propio de los carros mineros aumenta la capacidad de transporte de la vía y conduce a la economía de energía, esto se logra empleando diferentes aleaciones especiales de acero y aleaciones ligeras (aluminio) (Llanque, *et al.*, 2008 p.179).

**c) Coeficiente de tara (kt)**

Es el cociente del peso de la vagoneta a su carga útil:

$$K_t = \frac{q^* m}{V \delta}$$

Dónde:

V : Capacidad de la vagoneta metros cúbicos o pies cúbicos

$\delta$  : Peso específico de material transportado.

El Coeficiente de tara para los carros mineros varia de 0,4 – 0,7 (Llanque, *et al.*, 2008 p.179).

#### d) Número de ejes

Los carros mineros son todos de dos ejes, la sección transversal de los carros mineros depende de las dimensiones de las labores de transporte.

#### 3.1.10 Tipos de carros

De acuerdo a su forma se clasifican en:

##### a) Carros de tipo Gramby

Son de volteo lateral realizado por una rampa y pistón neumático; se emplean para el transporte de grandes toneladas, con una capacidad de 60, 70, 80, 100, 120 pies cúbicos, con un volteo lateral, se observan en la siguiente figura, son para anchos de trocha de 24 a 26 pulgadas (Tapia, 2018).



**Figura 37:** Carro tipo Gramby

FUENTE: (Serminsa, 2013).

### b) Carros de vaciado lateral tipo V

Está diseñado para trabajos pesados y de acarreo rápido, con refuerzos para ello, sus ruedas de 14 pulgadas de diámetro (35 cm.) aseguran estabilidad en operaciones rápidas, cuentan con un seguro de volteo que es accionado con el pie y que permite que la tolva sea volteada solamente hacia el lado opuesto del operador, pueden ser volteadas a ambos lados si es necesario (Tapia, 2018).



**Figura 38:** Carro tipo “V”

FUENTE: (Serminsa, 2013).

### c) Carros de vaciado lateral tipo U

Es el más difundido por su facilidad para ser accionado manualmente o con locomotora, cuentan con seguro de volteo que es accionado con el pie y que permite que la tolva sea volteada solamente hacia el lado opuesto del operador, pueden ser volteadas a ambos lados como el de tipo V (Tapia, 2018).

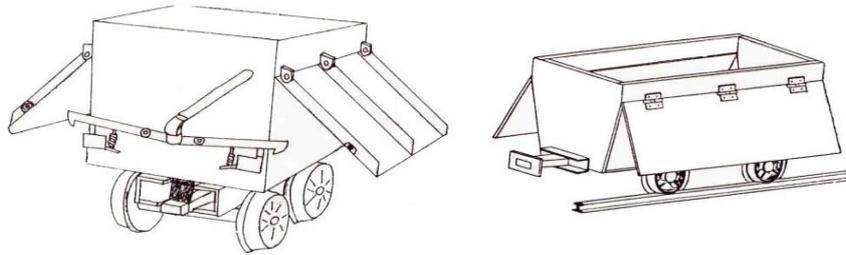


**Figura 39:** Carro tipo “U” y ”V”

FUENTE: (Serminsa, 2013).

**d) Carros de tipo gable (caja fija y puertas laterales)**

Tienen la base del cajón en forma de "V" invertida a 45°, cuenta con puertas laterales para descargar sin necesidad de voltear el carro; basta solamente abrirlas manualmente y el mineral cae por sí mismo, según el pedido se fabrican con apertura automática de las puertas laterales (Tapia, 2018).

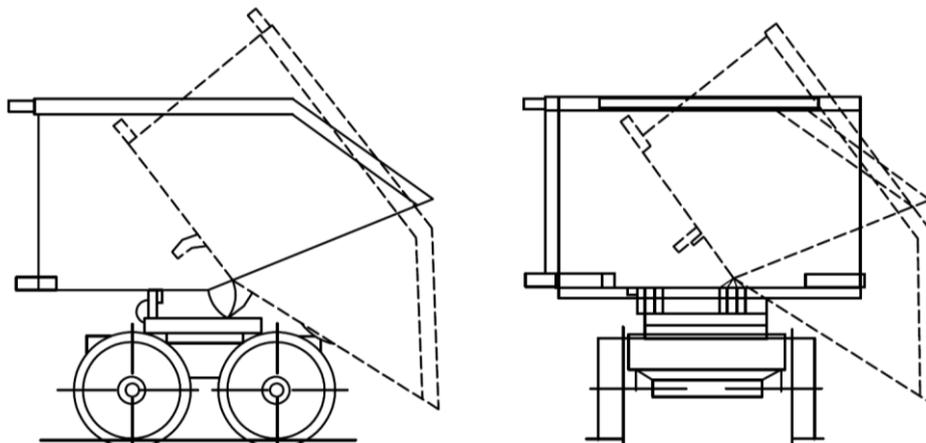


**Figura 40:** Carro tipo fija y puertas laterales

FUENTE: (Llanque, *et al.*, 2008 p.180).

**e) Carros de vaciado frontal o tipo cuchara**

Es de construcción liviana, para operación manual, es de volteo frontal con un radio de giro de 360°, al contar con una tornamesa para el efecto., su capacidad es de 0,50<sup>3</sup>, para trocha de 20 pulgadas (500 mm.), existen de gran capacidad (10 toneladas) que requieren dispositivos especiales para su volteo (tecles, winches), los mismos que requieren gran sección para su operación (Tapia, 2018).



**Figura 41:** Carro de vaciado frontal o tipo cuchara

FUENTE: (Serminsa, 2013).



## SOLUCIONES PRÁCTICAS

### 3.2 GENERALIDADES

La extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, desde interior mina de las labores subterráneas es constante cuando se tiene el medio de transporte por vía férrea, en primer lugar, debemos tener presente el volumen de material a transportar por turno y posteriormente debemos seleccionar al equipo o equipos que realizarán este trabajo.

El sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles en cualquier operación subterránea es similar, solo con la diferencia de que en algunos emplean locomotoras eléctricas, en otras locomotoras a batería y en menor proporción equipos diésel, se debe de indicar que estos últimos son mayormente empleados en operaciones mineras superficiales.

Por lo tanto, podemos especular que lo más importante en seleccionar el componente del sistema de transporte sobre rieles es seleccionar las locomotoras. El presente informe tiene como objetivo realizar el diseño y planeamiento del sistema de extracción de mineral y desmonte del proyecto de explotación y ampliación del 4565 Veta Túnel 4 y Veta Túnel 3, para incrementar los recursos y realizar la posterior explotación sostenida, con la finalidad de garantizar el futuro de la mina.

Tomando en cuenta las consideraciones de ventilación y productividad deficientes por las limitaciones de un sistema de explotación *trackless* y bajo el análisis de factibilidad se toma la decisión de implementar un sistema convencional de acarreo con locomotora de 6 toneladas y carros mineros Gramby de 60 pies cúbicos, así como el diseño y ejecución de los ambientes necesarios para el funcionamiento de las



locomotoras (taller de mantenimiento, estación de baterías, sistema de volteo a los *pockets*).

### **3.2.1 Sistema de extracción con locomotora**

El presente informe es realizado siguiendo los pasos que se muestran a continuación:

Analizar la implementación en su sistema de extracción con el uso de locomotoras a batería y carros mineros, para ello el análisis y cálculos se basa en la información brindada en el cuestionario de locomotoras.

### **3.2.2 Selección de locomotoras a batería para trabajo en minería**

La selección es importante, pues intervienen en ella un gran número de factores, límites geométricos, potencia y esfuerzo de tracción, seguridad y consideraciones económicas.

La sección y el radio de curvatura en las labores a transitar debe ejecutarse de acuerdo al equipo, una locomotora debe transportarse fácilmente.

Las locomotoras a batería son muy versátiles, generalmente las minas pequeñas y algunas medianas las tienen en operación cuando se deba calcular el tamaño de una locomotora, también debe calcularse la capacidad en amperios hora de la batería que es la fuente de energía, solo el haber calculado correctamente ambos, nos dará una operación segura y eficiente durante el ciclo de trabajo previamente calculado.

Las locomotoras a batería tienen por norma tener 02 bancos de batería: un banco en operación y el otro en carga (para la 2da. guardia)



No es recomendable hacer trabajar una locomotora con un solo banco de batería, porque reduce el rendimiento de la máquina y acorta sensiblemente la vida útil del banco de batería.

### 3.2.2.1 Descripción de los componentes de una locomotora

- **Chasis:** compuesto de planchas de acero estructural soldadas eléctricamente, donde se montan los equipos para la propulsión y control.
- **Suspensión:** que pueden ser resortes helicoidales o también tacos de jebe endurecidos. El chasis de la locomotora descansa en el sistema de suspensión.
- **Propulsión piñón catalina:** corona dentada, tornillo sinfín; doble reducción con piñones helicoidales, son las propulsiones usadas en locomotoras eléctricas, en las locomotoras diésel, generalmente se emplea los convertidores hidrostáticos de torque, como intermedio.
- **Caja de ejes:** los ejes de la locomotora se apoyan en cajas de eje, dentro de estas están alojados 1 ó 2 cojinetes y 1 ó 2 retenes de grasas las cajas pueden ser móviles o ser fijos, según el tipo de suspensión usado.
- **Ruedas:** pueden ser sólidas o con llantas, deben ser de acero de buena calidad, a fin de tener una buena adherencia y poseer además excelentes cualidades de tracción.
- **Freno:** zapatas de acero fundido de menor dureza que el de ruedas provocan el frenado de la locomotora, el accionamiento se efectúa mediante brazos articulados que pueden ser accionados mecánicamente, hidráulicamente o neumáticamente.



- **Motor:** motor de corriente continua tipo serie, son usadas en las locomotoras de mina, por tener estos motores un alto par de arranque y poder regular su velocidad en un amplio rango. motores de corriente alterna son una posibilidad en futuras locomotoras.
- **Control:** es el componente a través del cual podemos arrancar. acelerar, detener y cambiar el sentido de marcha de la locomotora - hay varios tipos de control:
  - Electromagnéticos
  - Electroneumáticos
  - Tambores de levas y contactos
  - Electrónicos: a) transistores, y b) diodos y tiristores.
- **Banco de resistencias:** consunto de resistencia que sirven para variar el voltaje al motor o motores a fin de ir variando su velocidad. no se usa con controles electrónicos. además, sirven para controlar el amperaje de los motores.
- **Sistemas de protección y seguridad:**
  - Relee de sobrecarga
  - Fusible
  - Luz
  - Bocina

### 3.2.2.2 Factores que determinan la elección del tamaño

Para la selección de la locomotora interviene muchos factores, en nuestro caso tomaremos los factores relacionados a la producción, lo fundamental para la elección es



que el peso adherente de la máquina elegida sea el apropiado para que desarrolle el efecto de tracción necesario para poder arrancar y mover el tren con su máxima carga y con la máxima gradiente en contra, este factor es visto desde el punto de vista técnico.

Los siguientes factores de diseño pueden afectar el efecto de tracción:

- a) Distribución de peso
- b) Relación de la potencia en caballos de fuerza del motor (o motores) con respecto al peso de la locomotora.

El equipo debe ser capaz de suministrar una razonable aceleración y mantener una reserva de fuerza.

### **3.2.2.3 Fuerzas que actúan sobre un tren**

Las fuerzas que tienden a acelerar un tren, son el esfuerzo desarrollado por el motor o los motores y la componente de peso en la dirección de la vía cuando se trata de tramos descendentes.

- Las fuerzas que retardan el movimiento del tren son:
- Las diferentes fuerzas de rozamiento,
- La componente del peso en las subidas.
- El esfuerzo de fricción de los frenos.

Todos los esfuerzos de rozamiento, excepto el de frenado, se tienen en cuenta conjuntamente bajo la denominación de resistencias del tren.

### **3.2.2.4 Esfuerzo de tracción**

Es la fuerza neta ejercida por el motor en las ruedas motrices de la locomotora venciendo las resistencias y el propio peso de la locomotora.

El esfuerzo de tracción se expresa en libras/fuerza o en kilogramos/fuerza y generalmente está referido a una velocidad específica dentro de la curva esfuerzo de

tracción-velocidad que los fabricantes tienen preparada para cada tipo de locomotora (curva de rendimiento).

### 3.2.2.5 Coeficiente de adherencia

El coeficiente de adherencia es aquel que depende de las condiciones en que se encuentra la línea de riel, el uso de arena mejora notablemente el valor del coeficiente de adherencia.

**Tabla 8:** Coeficientes de adherencia

Estado del carril	Valor coeficiente
Limpios y secos	0,25 a 0,20
Húmedos y limpios	0,20 a 0,18
Húmedos con barro	0,16 a 0,14
Húmedos con grasa	0,14 a 0,11
Con nieve	0,11

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.54).

### 3.2.3 Esfuerzo y resistencia al movimiento

#### 3.2.3.1 Adherencia de las locomotoras y carros mineros

Las ruedas motrices de una locomotora ejercen sobre el riel un esfuerzo tangencial “T” variable, pero limitado superiormente a un valor “To” más allá del cual comienza el patinaje. “To” es función del esfuerzo vertical “N o PL” transmitido por las ruedas y de un coeficiente “α” que se llama coeficiente de adherencia.

$$T_o = \alpha N$$

$$T = a * 2\,000 * PL$$

Dónde:

To = fuerza máxima que la locomotora puede comunicar a las ruedas en trabajos exigentes, no siempre se desarrolla en lb.



PL = Peso de la locomotora en TC.

$\alpha$  = factor o coeficiente de adherencia; normalmente se considera 0,25, pero con el uso de arenadores oscila entre 0,20 a 0,40

Este coeficiente depende de un gran número de factores y principalmente del estado del riel, para rieles húmedos los valores son de 0,14 a 0,25 y para rieles secos son de 0,20 a 0,34; si los rieles están lavados por la lluvia "a" es 0,14; cuando la locomotora patina "  $\alpha$  " es de 0,10., la siguiente tabla da los valores aproximados más empleados para el diseño.

**Tabla 9:** Valores de coeficiente de adherencia para diferentes estados de riel

Estado de riel	Coeficiente de adherencia / Velocidad del tren en km/h							
km/h	0	5	10	15	20	30	40	50
Húmedos	0,25	0,23	0,21	0,20	0,185	0,17	0,16	0,15
Secos	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21
Con arena	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.56).

Las locomotoras llevan arena en dos cajas; por lo cual dejan caer esta sobre el riel y la adherencia es mucho mayor.

### 3.2.3.2 Esfuerzo tracción necesaria

Se calcula mediante la siguiente relación:

$$ET = PL(RRL \pm RG + RC + RI) + PC(RRC \pm RG + RC + RI)$$

$$PL = \frac{PC(RRC \pm RG + RC + RI)}{A - (RRL \pm RG + RC + RI)}$$

$$PC = N(PM + PTC)$$

$$A = \alpha * 2\ 000 \text{ lb/TC.}$$



Dónde:

- ET : Fuerza máxima utiliza pro la locomotora para efectuar un trabajo, es decir poner en movimiento su propio peso y el peso del convoy en lb.
- PL : Peso de la locomotora en TC.
- PC : Peso del convoy en TC.
- RRC : Resistencia a la rodadura del convoy de acuerdo al tipo de rodaje en lb/TC.
- RRL : Resistencia a la rodadura de la locomotora de acuerdo al tipo de rodaje en lb/TC.
- RC : Resistencia debido a la curvatura en lb/TC. ó kg/TM.
- RG : Resistencia debido a la gradiente en lb/TC.
- RI : Resistencia debido a la inercia en lb/TC.
- $A(\alpha)$  : Coeficiente de adherencia entre ruedas de locomotora y riel en lb/TC.
- N : Número de carros / convoy.
- PM : Peso del material en cada carro en TC.
- PTC : Peso de cada carro vacío (tara) en TC.

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.57).

#### 3.2.4 Resistencia

Se determinan en lb/t. o en kg/t., las mismas que se hallan a base de pruebas y experiencias propias de cada fabricante, corregidas durante la operación indicaremos algunos valores según experiencia (CCorimaya, 2007, p.62).

##### a) Resistencia debido a los vehículos

Un vagón no tiene jamás un rodamiento perfecto, debido a la existencia de movimientos parásitos que perturban la marcha (movimiento de galope, zigzag,

balanceo), además de los órganos de rodamiento tienen frotamientos internos más o menos importantes.

Cada vehículo ofrece resistencia a la tracción ( $R_v$ ) que crece con su peso ( $q$ ) y depende de un coeficiente que le es propio y se llama coeficiente de rodamiento "RR".

$$R_v = RR * q$$

Dónde:

$R_v$  : Resistencia a la tracción.

$q$  : Peso.

RR : Coeficiente de rodamiento ó resistencia al rodamiento

Los carros mineros están montados sobre rodamientos de villas (bolas) o manguitos (rodillos), y su coeficiente de rodamiento en k/t. es como se especifica en la siguiente tabla: (CCorimaya, 2007, p.68).

**Tabla 10:** Resistencia a la rodadura

Vías en condiciones normales	RRC - RRL (lb/TC.)
Carros con cojinetes de bolas ordinarios	30
Carros con cojinetes de rodillos cilíndricos	15 - 20
Carros con cojinetes sin rodillos cilíndricos	10
Carros con cojinetes planos	30

FUENTE: (CCorimaya, 2007, p.69).

#### b) Resistencias suplementarias

Son las fuerzas que se oponen al movimiento de la locomotora en determinadas circunstancias y son los que se presentan en los tramos no rectos ni horizontales de las vías; son las resistencias según la presencia de curvas, gradiente, la inercia durante el movimiento con velocidades variables.



c) **Resistencia debido a las curvas (RC)**

Las curvas introducen una resistencia adicional RC debido, entre otros factores, a la variación de un empuje transversal que no siempre es anulado correctamente por el peralte, esta resistencia es debido a los siguientes factores:

- Por la solidaridad de las ruedas caladas sobre el mismo eje, y que teniendo que recorrer caminos diferentes en el mismo tiempo con la misma velocidad angular, supondrá necesariamente un deslizamiento de una sobre otra.
- Por el paralelismo de los ejes.
- El esfuerzo transmitido de una vagoneta a la siguiente deja de ser perpendicular a ésta, la pestaña de la rueda delantera en las curvas se aprieta al carril exterior, lo que provoca un frotamiento suplementario.
- La diferencia de las circunstancias de rodamiento de los pares de ruedas por los carriles exteriores e interiores provoca un desplazamiento transversal y desplazamiento longitudinal del par de ruedas, aumentando de este modo el frotamiento de deslizamiento.
- A la entrada en la curva y salida de ésta se produce el giro del bugue que provoca un frotamiento suplementario.

La fórmula recomendada para calcular la resistencia a las curvas en las minas subterráneas es:

$$RC = y * q \qquad y = \frac{135(L + e)}{R}$$

Dónde:

RC : Resistencia debido a las curvas (kg/TM)



- q : Peso del vehículo (TM.)
- L : Distancia entre ejes (m.)
- e : Trocha de la vía (m.)
- R : Radio de la curva (m.)

Otros entendidos en la materia consideran para el cálculo de la resistencia suplementaria a las curvas la siguiente relación matemática.

$$RC = \frac{35 * k}{\sqrt{R}}$$

Dónde:

- k : 1,0 para curvas con peralte.
- k : 1,5 para curvas sin peralte.
- R : Radio de la curvatura (m.).
- RC : resistencia debido a la curvatura (kg/TM.).

**d) Resistencia debido a la gradiente (RG)**

La gradiente o pendiente de una vía está dada por la diferencia de altura entre dos puntos de la misma y que distan 100 metros. Es muy importante saber, que es la pendiente de la vía la que limita el número de carros que una locomotora puede jalar y también la posibilidad de detenerse rápidamente cuando está en marcha.

La resistencia a la gradiente se estima como:

$$RG = 20 \text{ lb/TC.}; \text{ por cada } 1 \% \text{ de gradiente.}$$

**e) Resistencia debido a la inercia**

Son las que aparecen al variar el régimen de marcha, lo que supone un cambio velocidad con una variación de la resistencia, se determina con la siguiente relación:



$$RI = \frac{Ki * P * a}{g}$$

Dónde:

Ki : Coeficiente que varía de 1,05 a 1,08

P : Peso (lb/TC.).

a : Aceleración del convoy (*pies/s<sup>2</sup>*)

g : Constante de aceleración de la gravedad (32,3 *pies/s<sup>2</sup>*)

**f) Resistencia al arranque (RA)**

Por ejemplo, se tiene los siguientes valores:

Locomotora : 12 kg/t.

Carro minero pequeño : 13,5 kg/t.

Carro minero grande : 11 kg/t.

**g) Resistencia ala rodadura (RD)**

Un vagón tiene un rodamiento perfecto; ya que sabe la existencia de movimientos parásitos que perturban la marcha (movimiento de galope, zigzag, balanceo), además de los órganos de rodamiento tiene frotamientos internos más o menos importantes, cada vehículo ofrece resistencia a la tracción (Rv) que crece con su peso (q) y depende de un coeficiente que le es propio y se llama coeficiente de rodamiento “RR”.

$$Rv = RR * q$$

Dónde:

Rv : Resistencia a la tracción.

q : Peso.

RR : Coeficiente de rodamiento o resistencia al rodamiento.



Por ejemplo, se tiene:

Locomotora : 9 kg/t.

Carro minero pequeño : 9 kg/t.

Carro minero grande : 7 kg/t.

#### i. Resistencia total (RT)

$$RT = RD \pm RG + RC = \text{kg/t.}$$

Dónde:

RD : Resistencia a la rodadura.

RG : Resistencia a la gradiente (+/-).

RC : Resistencia a la curva.

#### 3.1.1 Potencia del motor de la locomotora

Se estima con la siguiente relación.

$$PML = \frac{ET * V}{550 * E}$$

Dónde:

PML : Potencia del motor de la locomotora en HP

ET : Esfuerzo de tracción en lb.

V : Velocidad de locomotora en pies/s.

E : Eficiencia del trabajo del motor

##### 3.1.1.1 Consumo de energía

$$CE = \frac{L(ETv + ETc)}{1\ 760\ 000}$$

Dónde:

CE : Consumo de energía por locomotora (kW-h/viaje)

ETv : Esfuerzo de tracción convoy vacío (lb.)

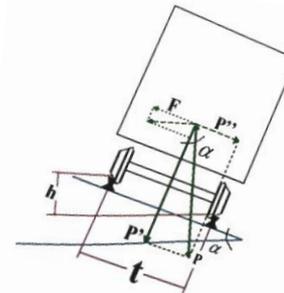
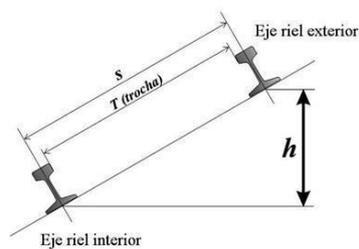
ETc : Esfuerzo de tracción convoy cargado (lb.)

L : Distancia de transporte en pies.

### 3.2.5 Peralte

Se denomina peralte a la diferencia de cota entre los dos rieles de la vía en curva, para una sección normal al eje de la vía., se proporciona mediante la elevación gradual del riel exterior sobre el interior, manteniendo éste a su nivel original en la recta, las principales misiones del peralte son:

- Producir una mejor distribución de cargas en ambos rieles.
- Reducir la degradación y desgaste de los rieles y del material rodante.
- Compensar parcial o totalmente el efecto de la fuerza centrífuga con la consiguiente reducción de sus consecuencias.
- Proporcionar confort a los viajeros (Mellado, 2014,p.26).



**Figura 42:** Peralte

FUENTE: (Mellado, 2014, p.27).

Componente paralela a la vía:

$$P'' = P \operatorname{sen} \alpha = P \frac{h}{t}$$

Fuerza centrífuga durante el movimiento:

$$F = \frac{M * V^2}{R} = \frac{P * V^2}{g * R}$$



Estado de equilibrio máxima para evitar vuelco:  $F = P''$

$$\frac{P * V^2}{g * R} = \frac{P * h}{t}; h = \frac{t * V^2}{g * R}$$

Donde:

P : Peso del carro y carga.

H : Peralte.

t : Trocha.

R : Radio de curvatura.

g : Gravedad.

Se produce vuelco cuando:  $F > P'' \Rightarrow h < \frac{t * V^2}{g * R}$

#### a) **Peralte teórico**

Este peralte debe considerarse solo como teórico, ya que en la práctica el peralte que se puede a la vía se encuentra limitado por la coexistencia de trenes rápidos y trenes lentos; en estos últimos, que se encuentran con exceso de peralte, el apoyo de las pestañas con el riel interior, agravado por la resultante de las fuerzas de tracción, origina el desgaste de tales elementos y sobre todo, aumenta notablemente la resistencia a la rodadura, hasta el punto de hacer difícil el arranque en caso de parada imprevista en curva, debe observarse que, por efecto de peralte, la presión del vehículo sobre los rieles aumenta (Mellado, 2014, p.27).

$$h = \frac{V^2 * s}{127 * R}$$

#### b) **Peralte práctico**

Se tomará el peralte práctico a los 2/3 del valor del teórico (Mellado, 2014, p.28).



$$h_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{V^2 * s}{127 * R}$$

$$s = T + 2 * \left( \frac{g}{2} \right)$$

Dónde:

h = Peralte teórico

h<sub>1</sub> = Peralte practico

V = Velocidad

R = Radio de curvatura

s = Ancho de vía más dos veces el semiancho de la cabeza del riel.

g = Ancho de la cabeza del riel

El límite del peralte se encontrará entre.

$$\frac{1}{9} * T \quad \text{y} \quad \frac{1}{12} * T$$

### 3.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN PRÁCTICO EN TRANSPORTE SOBRE RIELES EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

1. En una galería recta de 500 m. se debe instalar una vía de rieles con las siguientes características:

- Longitud de cada riel = 10 m.
- Peso de cada riel = 30 lb/yd.
- Espaciamiento entre durmientes = 0,50 m.
- Trocha = 24” (0,61 m.)
- Clavo rielero = 4”

Se pide determinar:

- a) Cantidad y peso de rieles.
- b) Dimensiones y cantidad de durmientes.
- c) Cantidad de eclisas, pernos y clavos rieleros.



### Solución:

#### a) Cantidad y peso de rieles.

- Cantidad de rieles  $= \left( \frac{500m.}{10m.} \right) * 2$  Colleras  
Cantidad de rieles = 100 rieles
- Peso de rieles =  $10m * 100 * 30 \text{ lb/yd.} * 1,034 \text{ yd/m.}$   
= 31 020 lb.  
= 31 020 lb \* 0,0005  
= 15,51 TC.

#### b) Dimensiones y cantidad de las durmientes

- Dimensión de durmientes  
Longitud =  $2 * \text{trocha}$   
=  $2 * 24''$   
=  $48''$  (1,22 m.)  
Espesor =  $0,25 + \text{longitud clavo}$   
=  $0,25 + 4$   
=  $4,25''$  (0,11 m.)  
Ancho =  $\text{espesor} + 0,04$   
=  $0,11 + 0,04$   
= 0,15 m.
- Cantidad de durmientes  
=  $(\text{Longitud riel}) / (\text{Separación durmiente}) + 1$   
=  $\frac{10m.}{0,5m.} + 1$   
=  $21 * 50$   
= 1 050 durmientes.

**c) Cantidad de eclisa, pernos y clavos**

- Cantidad de eclisas = N° de empalmes \* par. eclisas/par – 2 extremos

$$= \left( \frac{500}{10} \right) * 2 - 2$$

$$= 98 \text{ pares de eclisas.}$$

- Cantidad de pernos

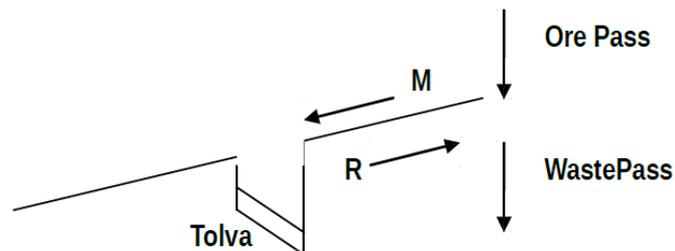
$$= (98 \text{ eclisas}) * (4 \text{ pernos/eclisa})$$

$$= 392 \text{ Pernos}$$

- Cantidad de clavos = (1 050 durmientes)\*(4 clavos/durmiente)

$$= 4 200 \text{ clavos}$$

2. Desde un *ore pass*, un convoy de 10 carros mineros transporta mineral económico a la tolva de gruesos desde allí es cargado con relleno que lo transportará y descargará en el interior de la mina al *waste pass*, la distancia es de 530 m., los parámetros son:



Además, se cuenta con los siguientes datos:

- Tiempo efectivo de trabajo : 6 horas
- Gradiente de la vía : 0,4 %
- Peso de cada carro vacío : 1 800 lb.
- Capacidad de cada carro económico : 3 315 lb. mineral
- : 2 300 lb. relleno



- Eficiencia del motor : 0,90
- Velocidad media del tren (vía húmeda) : 4 km/h.
- Aceleración : 0,4 km/h\*s.
- Carros con rodajes de bolas
- Tiempo de cada ciclo (mineral - relleno) : 25 minutos

**Hallar:**

- Número de viajes por guardia
- Peso del convoy con mineral y con relleno
- Peso del tren con mineral y relleno
- Tonelaje por viaje de mineral y relleno
- Esfuerzo necesario con mineral y con relleno
- Potencia del motor con mineral y con relleno
- Consumo de corriente con mineral y con relleno
- Consumo de corriente por ciclo.

**Solución:**

**a) N° de viajes / guardia**

$$1 \text{ guardia} = 6 \text{ horas}$$

$$1 \text{ ciclo} = 25 \text{ min.} \cdot \frac{1 \text{ h.}}{60 \text{ min.}} = 0,416 \text{ h.}$$

$$1 \text{ ciclo} = 0,416 \text{ h.} = 0,416 \text{ h.} \cdot \frac{1 \text{ h.}}{6 \text{ h.}} = \text{guardia}$$

$$1 \text{ guardia} = \frac{6 \text{ h.}}{0,416 \text{ h.}} \text{ viajes} = 14,4 \text{ viajes / guardia}$$

**b) Peso de convoy (1TC. = 2 000 lb.)**

$$\text{Con mineral} = 10(\text{carro vacío} + \text{mineral})$$

$$= 10(1\,800 \text{ lb.} + 3\,315 \text{ lb.})$$

$$= 10(5\,115 \text{ lb.})$$



$$= 51\ 150\ lb.$$

$$= 25,58\ TC.$$

$$\text{Con relleno} = 10(\text{carro vacío} + \text{relleno})$$

$$= 10(1\ 800\ lb. + 2\ 300\ lb.)$$

$$= 10(4\ 100\ lb.)$$

$$= 41\ 000\ lb.$$

$$= 20,50\ TC.$$

c) **Peso del tren:**

- Peso del tren con mineral.

$$PT = PL + PC$$

- RRL : Cojinetes de bolas ordinarios = 30 lb/TC. (ver tabla 10)

- RG : 20 lb/TC. por cada 1 % = 20 lb/TC.

- RC : Se desprecia tramo recto = 0

- Coeficiente de adherencia vía húmeda (ver tabla 9).

$$PL = \frac{PC(RRC \pm RG + RC + RI)}{A - (RRL \pm RG + RC + RI)}$$

$$RI = \frac{ki * P * a}{g}$$

$$Ki = (1,05 + 1,08) / 2 = 1,065$$

$$P = 2\ 000\ lb/TC.$$

$$a = 0,4\ km/h.*s. = 0,365\ pies/s^2.$$

$$RI = \frac{1,065 * 2\ 000\ lb/TC * 0,365\ pies/s^2}{32,3\ pies/s^2} = 24,07\ lb/TC.$$

$$PL = \frac{25,58(30 - 20 * 0,4 + 0 + 24,07)\ Conv.}{0,25 * 2\ 000 - (30 - 20 * 0,4 + 0 + 24,07)\ Loc.}$$

$$PL = \frac{1\ 178,4706\ Conv.}{0,25 * 2\ 000 - (30 + 0 + 24,07 - 20 * 0,4)\ Loc.}$$

$$PL = \frac{1\ 178,4706\ Conv.}{453,93\ Loc.} = 2,596\ TC.$$



$$\text{Peso tren con mineral} = 25,58 + 2,596 = 28,176 \text{ TC.}$$

- Peso del tren con relleno

$$PL = \frac{20,50(30 + 20 * 0,4 + 0 + 24,07) \text{ Conv.}}{0,25 * 2000 - (30 + 20 * 0,4 + 0 + 24,07) \text{ Loc.}}$$

$$PL = \frac{1272,435 \text{ Conv}}{2000 * 0,25 - (30 + 20 * 0,4 + 0 + 24,07) \text{ Loc.}}$$

$$PL = \frac{1272,435 \text{ Conv}}{437,93 \text{ Loc.}} = 2,906 \text{ TC.}$$

$$\text{Peso tren con relleno} = 20,50 + 2,906 = 23,406 \text{ TC.}$$

**d) Tonelaje / viaje**

- Tonelaje / viaje con mineral

$$= 10 * (3\ 315 \text{ lb.})$$

$$= 33\ 150 \text{ lb.}$$

$$= 33\ 150 / 2\ 000$$

$$= 16,58 \text{ TC.}$$

- Tonelaje / viaje con relleno

$$= 10 * (2\ 300 \text{ lb.})$$

$$= 23\ 000 \text{ lb.}$$

$$= 23\ 000 / 2\ 000$$

$$= 11,50 \text{ TC.}$$

**e) Esfuerzo de tracción**

$$ET = PL(RRL \pm RG) + PC(RRC \pm RG)$$

- Con mineral  $ET = 2,596(30 - 20 * 0,4) + 25,58(30 - 8)$

$$ET = 2,596(22) + 25,58(22) = 619,87 \text{ lb.}$$

- Con relleno  $ET = 2,906(30 + 20 * 0,4) + 20,50(30 + 20 * 0,4)$

$$ET = 2,906(38) + 20,50(38) = 889,43 \text{ lb.}$$



**f) Potencia del motor**

$$HP = \frac{ET * V}{375 * E} \quad V: \quad \text{Velocidad milla/hora}$$

$$HP = \frac{ET * V}{550 * E} \quad V: \quad \text{Velocidad pie/segundo}$$

$$V = 4 \text{ km / h.} \quad = \quad 3,645 \text{ pie/s.} \quad = 2,485 \text{ milla/hora}$$

- Para mineral

$$HP = \frac{619,87 * 3,645}{580 * 0,9} = 4,33 \text{ HP}$$

$$HP = \frac{619,87 * 2,485}{375 * 0,9} = 4,56 \text{ HP}$$

- Para relleno

$$HP = \frac{889,43 * 3,645}{580 * 0,9} = 6,21 \text{ HP}$$

$$HP = \frac{889,43 * 2,485}{375 * 0,9} = 6,55 \text{ HP}$$

**g) Consumo de corriente**

$$CE = \frac{L(ET_v + ET_c)}{1\,760\,000} \text{ kW / h.}$$

ET<sub>v</sub>: Se considera 0, porque en ida y de regreso se encuentra con carga.

- Para mineral

$$\begin{aligned} &= \frac{530 \text{ m.} * 3,28 \text{ pie/m.} * (0 + 619,87)}{1\,760\,000} \\ &= \frac{1\,738,4 \text{ pie} * 619,87 \text{ lb.}}{176\,0000} = 0,61226 \text{ kW / h.} \\ &= 612,26 \text{ Watt/h.} \end{aligned}$$

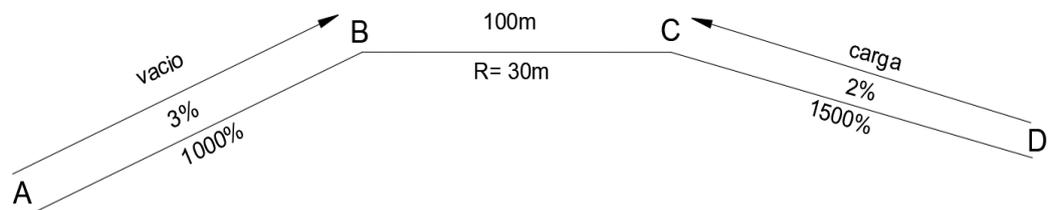
- Para relleno

$$\begin{aligned} &= \frac{530 \text{ m.} * 3,28 \text{ pie/m.} * (0 + 889,43 \text{ lb.})}{1\,760\,000} \\ &= \frac{1\,738,4 \text{ pie} * 889,43 \text{ lb.}}{1\,760\,000} = 0,87851 \text{ kW / h.} \\ &= 878,51 \text{ Watt/h.} \end{aligned}$$

## h) Consumo de corriente eléctrica por ciclo

$$CE_M + CE_D = 619,87 + 889,43 = 1\,509,30 \text{ Watt/h.}$$

3. En una empresa minera se desea trabajar por método de explotación corte relleno ascendente, con relleno detrítico cuaternario convencional, el mineral se transporta con equipos sobre rieles, la empresa ha planificado producir 80 000 TC/mes durante 5 años siguientes en 3 guardias por día y 26 días laborables por mes, la eficiencia de operación es de 65 %, el perfil de la vía es como se muestra en la figura, las demás características del equipo y de la vía son como sigue:



Se tiene los siguientes datos verídicos de la mina Paula.

Tara de carros	: 1 600 kg.
Capacidad de carros	: 3 000 litros.
Peso de locomotora	: 10 TC.
Peso de mineral suelto	: 1,6 TM/m <sup>3</sup> , esponjamiento = 28 %.
	Radio de curvatura de la vía: 30 m.
Velocidad promedio	: en las rectas = 15 km/h y en las curvas = 10 km/h.
Aceleración	: 0,4 km/h*s.
Rueda de carros mineros	: Cojinete de bolas ordinarias y ruedas de acero.
Rieles	: Secos con arena, de 9 m. de longitud
Durmientes	: Eucalipto no tratado
Fijación	: Clavos en las rectas y tirafondos en las curvas, ambos de 4" de longitud.
Trocha mínima	: 600 mm.
Distancia entre ejes	: Locomotora = 1 450 mm, carros = 1 000 mm.



Ruedas:

Locomotora : Radio = 300 mm.; pestaña = 30 mm.

Carros : Radio = 180 mm.; pestaña = 20 mm.

**Se pide calcular:**

- Potencia del motor.
- Seleccionar el perfil de los rieles.
- Número y dimensiones de los durmientes, clavos, tirafondos y eclisas
- Carga transportada por viaje y por guardia.
- Número de locomotoras y carros necesarios/convoy.

**Solución:**

**a) Potencia del motor (PML)**

$$PML = \frac{ET * V}{550 * E}$$

Dónde:

PML : Potencia del motor de la locomotora en HP.

ET : Esfuerzo de tracción en lb.

V : Velocidad de la locomotora en pies/s.

E : Eficiencia de trabajo del motor.

$$ET = PL(RRL \pm RG + RC + RI) + PC(RRC \pm RG + RC + RI)$$

RRL : Cojinetes de bolas ordinarios = 30 lb/TC.

RRC : Cojinetes de rodillos = 20 lb/TC.

**Calculo de resistencia debido a la gravedad (RG) lb/TC.**

Para convoy y locomotora vacía, la pendiente máxima es 3 % y con carga es de 2 %

$$RG = 20 \text{ lb/TC.} * 3 \%$$

$$RG = 60 \text{ lb/TC.}$$



$$RG = 20 \text{ lb/TC.} * 2 \%$$

$$RG = 40 \text{ lb/TC.}$$

**Cálculo de resistencia debido a la curvatura lb/TC.**

$$RC = 35 * K / (30)^{1/2} \quad ; \quad k = 1 \text{ para curvas con peralte.}$$

$$RC = 35 * 1 / (30)^{1/2} = 6,39 \text{ lb/TC.}$$

**Cálculo de resistencia debido a la inercia lb/TC.**

$$RI = \frac{Ki * P * a}{g}$$

Dónde:

Ki = Coeficiente que varía de 1,05 a 1,08

P = Peso (lb/TC.)

a = Aceleración del convoy (pies/s<sup>2</sup>)

g = Constante aceleración de la gravedad (32.5 pies/ s<sup>2</sup>)

Ki = (1,05 + 1,08) / 2 = 1,065

P = 2 000 lb/TC.

a = 0,4 km/h.\*s. = 0,365 pies/s<sup>2</sup>.

$$RI = \frac{1,065 * 2\,000 \text{ lb / TC.} * 0,365 \text{ pies/s}^2}{32,3 \text{ pies / s}^2} = 24,07 \text{ lb/TC.}$$

Adherencia (A): 33 % (riel seca con arena y para una velocidad de 15 km/h)

$$A = 0,33 * 2\,000 \text{ lb/TC.} = 660 \text{ lb/TC.}$$

**Calculamos el PC para equipo con carga:**

$$PL = \frac{PC(RRC \pm RG + RC + RI)}{A - (RRL \pm RG + C + RI)}$$

Como se sabe: PL = 10 TC.

$$10 = \frac{PC(30 + 40 + 6,39 + 24,07)}{660 - (20 + 40 + 6,39 + 24,07)} = \frac{PC(100,46)}{569,54}$$

$$PC = 5\,695,4 / 100,46 = 56,7 \text{ TC. (Peso del convoy)}$$



Pero:

$$PC = N (PM+ PTC)..... (*)$$

$$PM = 3 \text{ m}^3 * 1,6 \text{ TM/m}^3 = 4,8 \text{ TM.}$$

$$PTC = 1,6 \text{ TM.}$$

$$PC = N (4,8+1,6) = N \times 6,4 \text{ TM} * 1,1 \text{ TC/TM}$$

$$PC = N (7,04 \text{ TC.})..... (**)$$

Reemplazando PC en (\*)\*

$$56,7 \text{ TC.} = N (7,04 \text{ TC.}) \quad N = 8,05 = 8 \text{ carros.}$$

Cuando el tren regresa vacío podrá jalar más carros y a una pendiente de 3 %, ahora podemos calcular ET,

$$10(20 + 40 + 6,39 + 24,07) + 56,7(30 + 40 + 6,39 + 24,07)$$

$$ET = 904,6 + 5 696,08 = 6 600,7 \text{ lb.}$$

#### Calculo de la velocidad promedio (V):

$$V = \frac{(15 \text{ km / h})1 \text{ km.} + (15 \text{ km / h})1,5 \text{ km.} + (10 \text{ km/h})0,1 \text{ km.}}{1 \text{ km.} + 1,5 \text{ km.} + 0,1 \text{ km.}}$$

$$V = 14,8 \text{ km/h.}$$

$$V = 13,48 \text{ Pies/s.}$$

Ahora se puede calcularse la potencia.

$$ET = 6 600,7 \text{ lb.}$$

$$V = 13,48 \text{ pies/s.}$$

$$E = 90 \%$$

$$PML = \frac{6 600,7 * 13,48}{550 * 0,9} = 179,7 = 182,5 \text{ HP}$$

#### b) Seleccionar el perfil de los rieles

Se puede estimarse con las siguientes relaciones:

$$Pr = (W. a)/2k.....(1)$$

$$Pr = k. W.a.....(2)$$



Donde:

Pr : Peso de riel en kg/m.

W : Es la carga que soporta por eje en toneladas.

a : Espaciamiento entre durmientes.

k : Coeficiente que varía en función a la velocidad

Según la tabla selección de riel se puede elegir rieles de perfil = 40 lb/yd.

**c) dimensión de las durmientes, clavos tirafondos y eclisas.**

Durmiente:

Longitud = 2 x trocha = 2 x 0,6 m. = 1,2 m.

Espesor = 1/4" + long. clavo = 4 1/4"

Ancho = 1,4 x J = 1,4 x 4" = 5,6".

Según el peso de riel para 40 lb/yd. se puede seleccionar durmientes de sección 6 x 6"

Para estar en concordancia con los cálculos podemos seleccionar durmientes de 5" x 6", con 1,2 m. de longitud.

**Número de Durmientes:**

Distancia total = 1 000 + 100 + 1 500 = 2 600 m.

N° durmientes en rectas = 2 500 / 0,762 = 3,281+ 1 = 3 282

N° durmientes en curva = 100 / 0,762 = 131

Total de durmientes = 3 282 + 131 = 3 413 durmientes.

• N° de clavos = 3 282\*4 = 13 128 clavos.

• N° tirafondos = 131\*4 = 524 tirafondos.

• N° de empalmes: = 2 600 / 9 = 288,88 = 289

• N° de eclisas: = 289 \* 2-2 = 576 pares de eclisas

**d) Carga transportada por viaje y por guardia**

Peso mineral = 4,8 TM/carro = 5,29 TC/carro

TC/viaje = 8\*5,29 = 42,32



N° De viajes

$$\text{Ciclo} = \text{TF} + \text{TV}$$

$$\text{TV} = 2,5 \text{ km}/15 \text{ km/h.} + 0,1 \text{ km}/10 \text{ km/h.} = 0,177 \text{ h.}$$

$$\text{Ida y vuelta} = 2 (0,177) = 0,354 \text{ h.} = 21,24 \text{ min/viaje}$$

$$\text{Como se tiene TF} = 10 \text{ min/viaje}$$

$$\text{El ciclo será} = 21,24 + 10 = 31,24 \text{ min/ciclo}$$

$$\text{N° de viajes/guardia} = 8 \text{ h/guardia} * 60 \text{ min/h} * 0,65 = 312 \text{ min/guardia}$$

$$(312 \text{ min/guardia}) / 31,24 \text{ min/viaje} = 9,99 = 10 \text{ viajes/guardia}$$

Se realizan 3 guardias / día

$$\text{Viajes / día} = 10 * 3 = 30$$

$$\text{Por viaje se transportará} = 10 * 42,32 = 423,2 \text{ TC/viaje}$$

$$\text{Por día transportara} = 42,32 * 30 = 1 269,6 \text{ TC/día}$$

**e) N° de locomotoras necesarias**

$$\text{Se tiene una producción} : 80 000 \text{ TC/mes}$$

$$80 000 \text{ TC/mes} * 1 \text{ mes} / 26 \text{ días} : 3 076,92 \text{ TC/día}$$

$$\text{Producción locomotora} : 1 267,2 \text{ TC/día}$$

$$\text{N° locomotoras} : 3 076,2 / 1 267,2 = 2,42$$

Se puede redondear a 3 locomotoras por día para cumplir con la producción.



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 IMPLEMENTACIÓN DE LOCOMOTORA Y CARROS MINEROS SOBRE RIELES

Para la implementación se tuvo que definir el área de ubicación de la locomotora y carros mineros sobre rieles de veta Túnel 4 y Túnel 3, se tomaron criterios y procedimientos de trabajo para la implementación, esto fue liderado por el área de planeamiento con el soporte de las áreas de mina, mantenimiento mecánico, servicios auxiliares y otras áreas involucradas, para lograr el objetivo de realizar la extracción, utilizando locomotora y carros mineros sobre rieles, el cual nos permite reducir los niveles de contaminación, tener menor costo en ventilación, reducir los costos de transporte de mineral y desmonte, reducción de costos de excavación con labores de menor sección.

##### 4.1.1 Sistema de extracción con locomotora

Analizar la implementación en el sistema de extracción el uso de locomotoras a batería y carros mineros, para ello el análisis y cálculos se basa en la información en el cuestionario de locomotoras y cuestionario de carros mineros.

##### 4.1.2 Cálculos preliminares capacidad de carro minero

De la información en el cuestionario de cálculo de locomotoras (véase anexos figura 49). se observa que se necesita extraer 400 toneladas por día en 02 turnos, en una longitud de acarreo de 1 500 metros en promedio, además el peso específico del mineral roto es de  $1,8 \text{ t/m}^3$ .



Además se propone el uso de carros mineros Gramby capacidad 60 Pies<sup>3</sup> trocha 600 mm, por temas de seguridad al contar con un sistema de volteo electrohidráulico para volteo con pistón.

**Tabla 11:** Calculo número de carros mineros Gramby 60 pies<sup>3</sup>

Descripción	Cantidad	Unidad
Capacidad diaria	400	t.
Turnos	2	guardia
Tiempo efectivo de trabajo	8	h.
Longitud de la vía	1 500	m.
Velocidad promedio	10	km/h.
Densidad del mineral roto	1,8	t/m <sup>3</sup>
Capacidad del carro	60	pies <sup>3</sup>
Peso carro vacío	1,78	t.
Tiempo de carga/carro	66	s.
Tiempo de descarga/carro	51,2	s.
Numero de carros/convoy	8	und.
Eficiencia	75 %	%
Capacidad por turnos	200	t.
Capacidad de carga por carro	3,06	t.
Peso carro + material	4,8	t.
Tiempo teórico ida y vuelta/viaje	33,63	min.
Tiempo real ida y vuelta/viaje	44,8	min.
Total, mineral acarreado/convoy	24,5	t.
Número de viajes teórico	8	viajes
Total, Mineral acarreado por turno	195,73	t.
Peso total convoy (carro + mineral)	38,7	t.

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).



Se observa que la capacidad de acarreo de 200 toneladas por turno es factible con un convoy de 08 carros mineros Gramby 60 pies<sup>3</sup> realizando 8 viajes por turno, esto con una eficiencia del 75 % donde cada viaje (ida y vuelta) tiene un tiempo aproximado de 44,8 minutos.

#### 4.1.3 Cálculo capacidad de locomotora para acarrear 8 carros mineros Gramby 60 pies<sup>3</sup>

Para el cálculo de la locomotora se basa en la información brindada en el cuestionario de locomotora, (véase anexos figura 49).

A continuación, se muestra un extracto del cuestionario, resultados del cálculo preliminar tipo de carro minero, así como algunos datos y restricciones geométricos requeridos para el cálculo de capacidad de locomotoras.

**Tabla 12:** Cálculo de locomotoras – ingreso de datos

Descripción	Cantidad	Unidad
1.- Nº de guardias de trabajo	2,00	g/día
2.- Densidad del mineral roto	1,80	t/m <sup>3</sup>
3.- Capacidad del carro minero	1,70	m <sup>3</sup>
4.- Distancia entre ejes carro minero	834,00	mm.
5.- Distancia entre ejes locomotora	850,00	mm.
6.- Peso de carro vacío	1,78	t.
7.- Velocidad requerida	7,00	km/h.
8.- Coeficiente de adherencia asumida	200,00	kg/t.
9.- Gradiente de la vía	0,50	%
10.- Numero de carros del convoy	8,00	und.
11.- Trocha de la vía	600,00	mm.
12.- Radio mínimo de curvatura	35,00	m.
13.- Distancia de acarreo	1 500,00	m.
14.- Numero de viajes por turno	8,00	viajes

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).

**Tabla 13:** Calculo de locomotora - resistencia

Descripción	Cantidad	Unidad
1.- Resistencia a la rodadura carro minero (Rrc)	30,00	Lb/TC.
2.- Resistencia a la rodadura locomotora (Rrl)	30,00	Lb/TC.
3.- Resistencia al arranque carro minero (Rac)	24,07	Lb/TC.
4.- Resistencia al arranque locomotora (Ral)	24,07	Lb/TC.
5.- Resistencia a la gradiente (Rga)	0,00	lb/TC.
6.- Resistencia a la curva (Rc) carros mineros	6,39	lb/TC.
7.- Resistencia a la curva (Rc) locomotora	6,39	lb/TC.

FUENTE: (Serminsa, 2014).

### Calculo de resistencia debido a la gravedad (RG) lb/TC.

Para convoy y locomotora vacía, la pendiente máxima es 05 % y con carga es de 0 %

$$RG = 20 \text{ lb/TC.} * 0,5 \%$$

$$RG = 10 \text{ lb/TC.}$$

$$RG = 20 \text{ lb/TC.} * 0 \%$$

$$RG = 0 \text{ lb/TC.}$$

### Cálculo de resistencia debido a la curvatura lb/TC.

$$RC = 35 * K / (30)^{1/2} \quad ; \quad k = 1 \text{ para curvas con peralte.}$$

$$RC = 35 * 1 / (30)^{1/2} = 6,39 \text{ lb/TC.}$$

### Cálculo de resistencia debido a la inercia lb/TC.

$$RI = \frac{Ki * P * a}{g}$$

Dónde:

Ki = Coeficiente que varía de 1,05 a 1,08

P = Peso (lb/TC.)

a = Aceleración del convoy (pies/s<sup>2</sup>)



$$g = \text{Constante aceleración de la gravedad (32,3 pies/ s}^2\text{)}$$

$$K_i = (1,05 + 1,08) / 2 = 1,065$$

$$P = 2\,000 \text{ lb/TC.}$$

$$a = 0,4 \text{ km/h} \cdot \text{s.} = 0,365 \text{ pies/s}^2.$$

$$RI = \frac{1,065 * 2\,000 \text{ lb/TC} \cdot 0,365 \text{ pies/s}^2}{32,3 \text{ pies/s}^2} = 24,07 \text{ lb/TC.}$$

Adherencia (A): 33 % (riel seca con arena y para una velocidad de 10 km/h)

$$A = 0,30 * 2\,000 \text{ lb/TC.} = 600 \text{ lb/TC.}$$

**Calculamos el PL para equipo con carga de mineral:**

$$PC = N * (P_c + P_m)$$

Donde:

N = Número de carros

P<sub>c</sub> = Peso de cada carro vacío; TC

P<sub>m</sub> = Peso del mineral en cada carro; TC

$$PC = 8 * (2,02TC. + 3,37TC.)$$

$$PC = 43,12TC.$$

$$PL = \frac{PC(RRC \pm RG + RC + RI)}{A - (RRL \pm RG + C + RI)}$$

$$PL = \frac{43,12(30 \pm 0 + 6,39 + 24,07)}{0,25 * 2\,000 - (30 \pm 0 + 6,39 + 24,07)}$$

$$PL = \frac{43,12(60,46)}{500 - (60,46)}$$

$$PL = \frac{2\,607,04}{440}$$

$$PL = 5,93TC.$$

**Calculo de la velocidad promedio (V):**

$$V = 14,8 \text{ km/h.}$$

$$V = 6,37 \text{ Pies/s.}$$



Ahora se puede calcularse la potencia.

$$ET = PL(RRL \pm RG) + PC(RRC \pm RG)$$

$$ET = 5,43(30 - 20 * 0,4) + 43,12(30 - 8)$$

$$ET = 5,43(8) + 43,12(30 - 8)$$

$$ET = 43,44 + 948,64$$

$$ET = 992,08$$

$$ET = 992,08 \text{ lb.}$$

$$V = 6,37 \text{ Pies/s.} = 4,343 \text{ Milla por hora}$$

$$E = 90 \%$$

$$PML = \frac{992,08 * 6,37}{550 * 0,9} = 12,8 \text{ HP}$$

$$PML = \frac{992,08 * 4,343}{375 * 0,9} = 12,8 \text{ HP}$$

### Potencia del motor

$$HP = \frac{992,08 * 6,37}{580 * 0,9} = 12,11 \text{ HP}$$

$$HP = \frac{992,08 * 4,343}{375 * 0,9} = 12,77 \text{ HP}$$

### Consumo de corriente

$$\begin{aligned} &= \frac{1500 \text{ m.} * 992,08 \text{ lb}}{1760} \\ &= \frac{4921,26 \text{ pies} * 992,08 \text{ lb.}}{1760} = 2717,66 \text{ Watt / hr} \end{aligned}$$

#### 4.1.4 Fuerzas

Fuerza requerida en el gancho de arrastre (DEP) para arrancar la locomotora completamente cargada y con gradiente en contra.

$$DEP = W * R_{tac}$$



Dónde:

W: Peso total de la carga incluido peso de carros

Densidad del mineral = 1,80 t/m<sup>3</sup>

Capacidad del carro minero = 1,70 m<sup>3</sup>

Cantidad de mineral/carro = Densidad del mineral \* capacidad  
del carro minero

$$= 1,80 * 1,70$$

Cantidad de mineral a transportar por carro = 3,06 t.

(Cantidad de mineral por carro + peso carro vacío)\* N° de carros

$$(3,06 + 1,78)*8 = 38,72 \text{ t.} = 42,68 \text{ TC.}$$

Rac : Resistencia al arranque carro minero = 24,07 lb/TC.

Rga : Resistencia a la gradiente = 0,00 lb/TC.

Rc : Resistencia a la curva carro minero = 6,39 lb/TC.

Rtac : Total de resistencia al arranque de los carros mineros cargados

y con gradiente en contra = 30,46 lb/TC..

DEP = 1 300 TC..

Agregamos 10 % más a la fuerza obtenida en el acoplamiento DEP, en razón al esfuerzo adicional que tiene que realizar la locomotora para mover su propio peso.

DEP TOTAL = 1 430 lb/TC..



#### 4.1.5 Peso mínimo de la locomotora requerida es (Lw)

$$Lw = \frac{DEP}{Ta - Rtal}$$

Dónde:

DEP : Fuerza en el gancho de arrastre 1430 lb7TC.

Ta : Adherencia a la tracción asumida 440 lb/TC.

Ral : Resistencia al arranque locomotora 24,07 lb/TC.

RG : Resistencia a la gradiente 0 lb/TC.

RC : Resistencia a la curva locomotora 6,39 lb/TC.

Rtal : Total resistencia al arranque locomotora con gradiente en contra 30,46 lb7TC.

$$Lw = 1430 / (440 - 30,46) = 3,49 \text{ t. Batería}$$

#### Calculo de potencia mínima requerida (P)

$$P = \frac{\text{Máximo esfuerzo de la tracción (kg)} * \text{Velocidad (km/h)} * k}{343 \text{ (constante)}}$$

Donde

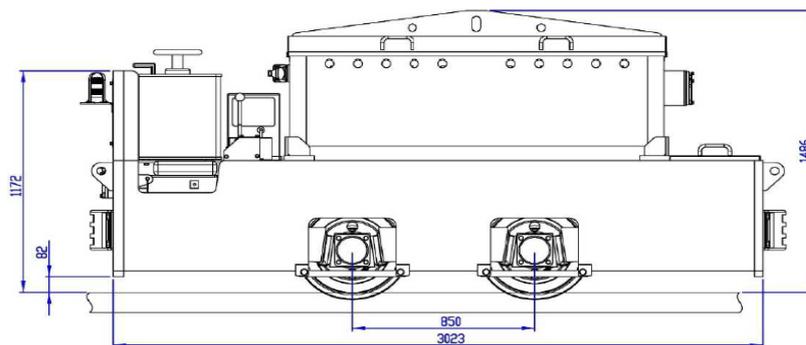
Factor k	Horas de trabajo							
1,1	8	k =	1,1	P =	25,6	HP	2 motores de	14 HP
1,3	16	k =	1,3	P =	30,3	HP	2 motores de	17 HP
1,6	24	K =	1,6	P =	37,3	HP	2 motores de	21 HP

$$P = 648,64 * 7 * 1,33 / 343$$

$$P = 17,58$$

De los resultados obtenidos, la locomotora recomendada para 8 carros mineros Gramby de 60 pies<sup>3</sup> es una locomotora de 6,0 toneladas 30 HP, además, dentro de las restricciones geométricas y de operación están:

- El radio mínimo de curvatura en la línea de riel deberá ser de 35 m.
- El equipo deberá trasladar la carga con pendiente a favor de 0,5 % para efectos del cálculo del equipo se asume 0 con carga.
- La velocidad máxima de diseño permitido en el reglamento minero es de 10 km/h.
- Se asume rieles limpios y secos.



**Figura 43:** Locomotora 6,0 toneladas 35 HP

FUENTE: (Serminsa, 2013).

#### 4.1.6 Cálculo de radio mínimo de curvatura

Se recomienda que el radio mínimo sea igual a 30 veces la distancia entre ejes del carro minero o 12 veces la distancia entre ejes de la locomotora

$$30 \times \text{distancia entre ejes del carro minero} = 30 \times 834 = 25\,020 = 25,02 \text{ metros}$$

$$12 \times \text{distancia entre ejes de la locomotora} = 12 \times 850 = 10\,200 = 10,2 \text{ metros}$$

Se recomienda un radio de curvatura mínimo de riel de 35 metros, esto con el fin de evitar el deterioro prematuro de los componentes del convoy, tales como las ruedas, transmisiones, etc.

#### 4.1.7 Cálculo de libraje de riel necesario para carga del convoy

Para el cálculo del libraje del riel, así como la separación de los durmientes se tomó como base el peso máximo del equipo que irá sobre el riel, en este caso es la locomotora de 6,0 toneladas.

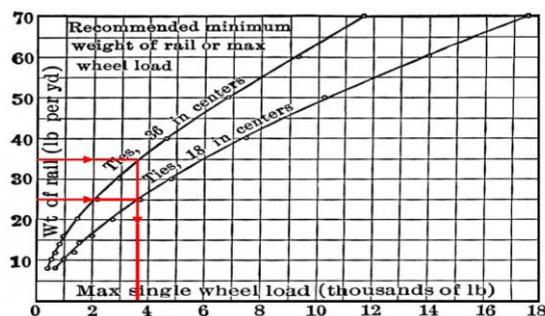
$$\text{Peso (lb.)} = \text{Factor} * 4 * 1\,000$$

Reemplazando:

$$6,0 \text{ t.} = 13\,227,7 \text{ lb.} = \text{Factor} * 4 * 1\,000$$

$$\text{Despejando:} = 13\,227,7 / 4\,000$$

$$\text{Factor} = 3,3$$



Peso del riel para espacio de amarre de 1 1/2 y 3 pies.

FUENTE: (Serminsa, 2013).

Se deduce que se puede usar:

Riel de 35 libras con una separación entre centro de durmientes de 36” ó

Riel de 25 libras con una separación entre centro de durmientes de 18”



#### 4.1.8 Cálculo amperaje de batería

Para el cálculo del amperaje se ha tomado en cuenta las horas de operación del equipo por cada turno (8 horas), además de potencia y voltaje de la locomotora recomendada.

$$I = P/V * \text{eficiencia}$$

Dónde:

I = Corriente nominal en amperios

P = Potencia en watts

V = Voltaje en V

Ejemplo:

Hallar la corriente nominal del motor de 35 HP y 140 VDC

Voltaje 140 VDC

Potencia en HP 35 HP

Potencia en kW 26,11 kW

Potencia en Watts 26 110 W

241,76

Corriente (I) = Potencia (W)

Voltaje (V)\* Eficiencia (%)

26 110 W

140 VDC\*90 %



Corriente (I) = 207,22 Amperios

8 horas efectivas/turno

829 AH capacidad de celda

Se recomienda una batería de 830 AH 140 VDC

## 4.2 UBICACIÓN DEL PROYECTO DE LÍNEA DE CAUVILLE

El proyecto se encuentra ubicado en el distrito de Cayarani, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, la altitud varía entre los 4 600 y 5 200 msnm, geográficamente se encuentra al NE del Nevado Coropuna, a 175 km. al NE en línea recta de la ciudad de Arequipa, dentro del Macizo Occidental de la cordillera de los Andes, Flanco Oeste.

**Tabla 14:** Coordenadas geográficas de la Unidad Minera Arcata son:

Geográficas		Coordenadas UTM	
Longitud	: 72°18'30" W	Norte	: 8 341 624,00
Latitud	: 14°59'00" S	Este	: 789 345,00

### 4.2.1 Diseño línea de cauville

El sistema de extracción con locomotora contempla, la extracción de mineral y desmonte en veta Túnel 4 y veta Túnel 3, el proyecto comprende la ejecución de una estación de carguío de batería, sistema de volteo para carros mineros Gramby con trocha de 60 cm, taller de mantenimiento de locomotora de 6,0 toneladas, ejecución de 02 *pockets* para mineral y desmonte, estación de carro minero, se usará rieles de 45 lb. y durmientes de madera de 8" \* 6" \* 1,5 m., en el proyecto se usará 01 locomotora de 6,0 toneladas con un convoy de 08 carros mineros con una longitud de extracción de 1 500 m.



## 4.2.2 Actividades de desarrollo del proyecto

### 4.2.2.1 Construcción de *pockets*

- Llenado de echaderos con carga para trabajos de desquinche
- Protección de cables y tuberías.
- Desquinche de *pocket* de desmonte
- Limpieza de exceso de carga, desate y sostenimiento
- Perforación de taladros para anclaje de parrilla 1
- Instalación de parrilla *pocket* de desmonte - cuerpo horizontal.
- Instalación de parilla *pocket* de desmonte - cuerpo inclinado.
- Desquinche de *pocket* de mineral. (véase anexos plano 8 y 9).
- Limpieza de exceso de carga, desate y sostenimiento
- Perforación de taladros para anclaje de parrilla 2
- Instalación de parrilla *pocket* de mineral - cuerpo horizontal.
- Instalación de parilla *pocket* de mineral - cuerpo inclinado.
- Obras civiles.

### 4.2.2.2 Instalación de tolvas metálicas en *pockets*

- Habilidad de 02 tolvas metálicas.
- Bombeo de agua acumulada en base de *pockets*.
- Armado de plataforma de trabajo tolva metálica 1 (*pocket* de desmonte).
- Instalación de tolva metálica 1 (*pocket* de desmonte).
- Armado de plataforma de trabajo tolva metálica 2 (*pocket* de mineral).
- Instalación de tolva metálica 2 (*pocket* de mineral).



#### 4.2.2.3 Sistema de volteo de carros

- Marcado en hastiales de gradiente y en techo de eje de trocha
- Obras civiles para instalación del sistema electro hidráulico
- Marcado de taladros para anclaje de sistema de volteo.
- Traslado de materiales: rieles, durmientes, balasto
- Tendido de 2 colleras de riel completa: alineada y nivelada para pruebas de volteo en los *pockets*.
- Traslado de carro minero de 60 pie<sup>3</sup>
- Instalación de sistema de volteo - obras mecánicas en ambos *pockets*.
- Instalación de sistema de volteo - obras eléctricas
- Prueba de volteo de carro minero en ambos *pockets*.

#### 4.2.2.4 Instalación de línea *de cauville*

- Nivelación de piso, retiro de carga suelta (raspado con equipo).
- Instalación de línea *de cauville*, trocha principal, tendido de durmientes, rieles y balasto.
- Fabricación de sapas y monas. (véase anexos plano 4 y 5).
- Instalación de cambio (sapa) hacia taller de locomotora
- Instalación de cambio (sapa) hacia carguío de batería.
- Instalación de línea *de cauville* - cambio a taller de locomotora
- Instalación de línea *de cauville* - cambio a carguío de batería

#### 4.2.2.5 Construcción de cámara para carga de batería

- Excavación y sostenimiento en cámara para carga de batería.
- Construcción de mesa de cambio de batería.



- Instalación de sistema de izaje de batería (monorriel).
- Instalación del cargador de batería y obras eléctricas.

#### **4.2.2.6 Construcción de taller de locomotora**

- Excavación y sostenimiento de taller de locomotora.
- Excavación y sostenimiento de crucero para ventilación.
- Excavación de zanja para inspección de carros y locomotora.
- Obras civiles.

#### **4.2.2.7 Equipos**

- Locomotora a batería de 6 toneladas - 600 mm.
- Bancos de baterías mineras 140 V.
- Cargador de batería.
- Carros mineros Gramby 60 pies<sup>3</sup> - 600 mm.
- Sistema electrohidráulico para volteo de carros
- Tolva metálica. (véase anexos plano 12).
- Puente gura. (véase anexos figura 48).

#### **4.2.3 Estación de carguío batería**

En esta instalación se realiza el carguío y cambio de los bancos de batería; contará con capacidad para dos baterías las cuales reposarán sobre dos plataformas tienen una altura adecuada respecto al piso para el izaje, se cuenta con un puente grúa móvil con capacidad para izar el peso de una (01) batería a la vez.(véase anexos plano 1).

#### 4.2.4 Taller de mantenimiento de locomotora

En dicho taller se realiza trabajos de mantenimiento preventivos, como revisión de chasis, engrase de ruedas, revisión de ejes y soldaduras menores, dicho taller cuenta con las condiciones para garantizar la ventilación del ambiente, se cuenta con una zanja de inspección la cual tendrá un revestimiento de concreto interno y un sumidero para captar grasas, también cuenta con un puente grúa para izaje de componentes del carro o locomotora. (véase anexos plano 6).

#### 4.2.5 Sistema de volteo de carros mineros

El sistema de volteo contempla el uso de pistones electrohidráulicos y mediante el uso de poleas y cables se engancha al carro minero y este a su vez se inclina un aproximado de 45° para descargar el material en la parrilla del echadero. (véase anexos plano 7).

### 4.3 SISTEMA DE VENTILACIÓN

El aire ingresa a través del portal Vetillas, a través de la CH-2092 se inyecta el aire fresco hacia el *By Pass* 2275 SE., el aire viciado será evacuado a través de la chimenea *Alimak* (CH-105) hacia superficie, en la CH-2092 se tiene instalado 01 ventilador de 40 000 *cfm.*, para inyectar aire fresco hacia el conjunto de labores del *By Pass* 2275 SE, para lo cual se tienen enseriado 03 ventiladores auxiliares de 30 000 *cfm.*, cada uno, al pie de la CH-105 se va a instalar 01 ventilador de 60 000 *cfm.*, para extraer el aire viciado del Nv.4565, en el Nv.4565 el sistema de extracción será a través de locomotora a batería, con 01 volquete para transportar el material a superficie.

**Tabla 15:** Balance de caudal Túnel 4 nivel 4565 ingresos

Labor	Caudal m <sup>3</sup> /min	Caudal <i>cfm.</i>
-------	----------------------------	--------------------



CH-2092	1 311	46 294
<b>Total de ingresos</b>	<b>1 311</b>	<b>46 294</b>

FUENTE: (Servicios Mina U.O Arcata, 2015).

**Tabla 16:** Balance de caudal Túnel 4 nivel 4565 salidas

Labor	Caudal m <sup>3</sup> /min	Caudal cfm.
RB-94	1 416	50 000
<b>Total de salidas</b>	<b>1 416</b>	<b>50 000</b>

FUENTE: (Servicios Mina U.O Arcata, 2015).

**Tabla 17:** Requerimiento de aire Túnel 4 nivel 4565

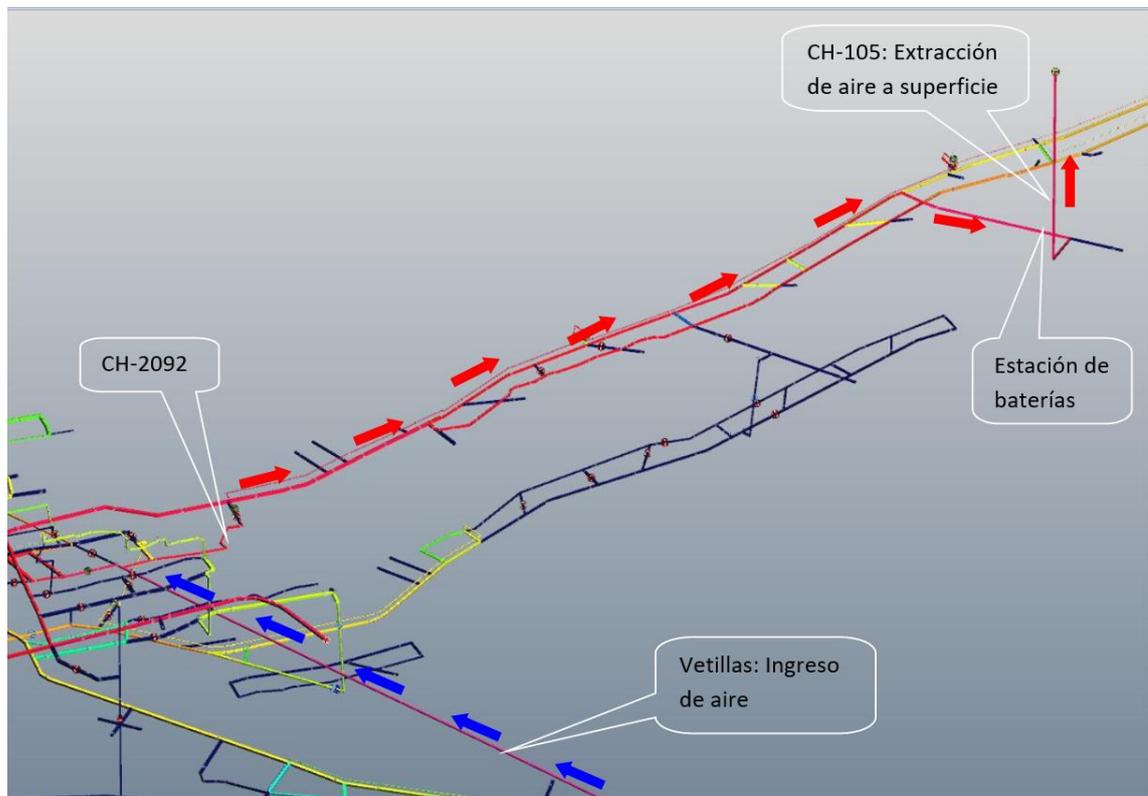
Requerimiento de Aire por personas	Cantidad	Unidad
N° de trabajadores por guardia	30	
Total de trabajadores	30	
Aire requerido por trabajador:	6	m <sup>3</sup> /min
Volumen de aire requerido:	180	m <sup>3</sup> /min
Volumen de aire requerido:	6 356	cfm

FUENTE: (Servicios Mina U.O Arcata, 2015).

**Tabla 18:** Requerimiento de aire por equipo diésel

N°	Equipo	Hp / Equipo	Cantidad	Factor de utilización (%)	Caudal (m <sup>3</sup> /min.)	Caudal (cfm.)
1	Scooptram 2,2	90	1	100 %	270	9 534
2	Scooptram 1,5	55	1	100 %	165	5 826
3	Camioncito	124	1	100 %	372	13 135
4	Camioneta	109	1	100 %	327	11 546
<b>Total</b>					<b>1 134</b>	<b>40 041</b>
<b>Total requerimiento de aire</b>				<b>Cobertura (%)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/min)</b>	<b>Caudal (cfm)</b>
				<b>100 %</b>	<b>1 134</b>	<b>40 041</b>

FUENTE: (Servicios Mina U.O Arcata, 2015).



**Figura 44:** Sistema de ventilación del *By Pass* 2275 SE, Nv-4565

FUENTE: (Servicios Mina U.O Arcata, 2015).

La ubicación de las estaciones de batería está en un sistema óptimo de extracción de aire viciado que garantiza una velocidad superior a los 20 m/min.

## RESULTADOS

1. Con la implementación del proyecto se ha logrado realizar el avance, la extracción de mineral y desmonte utilizando locomotora y carros mineros sobre rieles en veta Túnel 4 y Túnel 3, como se muestra en las siguientes tablas.

**Tabla 19:** Metros de avance ejecutado por año (metros)

Veta	Fase operativa	Año-1	Año-2	Año-3	Total
Túnel 4	Infraestructura de operación	2 033	1 364	704	4 101
Túnel 4	Desarrollo	360	640	320	1 320
Túnel 4	Preparación	109	216	135	460
Túnel 4	<i>Raise borer</i>	60	170	-	230
Túnel 3	Infraestructura de operación	84	535	-	619
Túnel 3	Desarrollo	-	240	-	240
Túnel 3	Preparación	-	80	-	80
<b>Total general</b>		<b>2 646</b>	<b>3 245</b>	<b>1 159</b>	<b>7 050</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2017).

- La implementación del sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, ha permitido la ejecución de los avances en tres años consecutivos teniendo un avance total de 7 050 metros, los cuales se distribuyen por fase de operación.
- **Infraestructura de operación:** Contempla labores en desmote como ventanas *By Pass*, cámaras, cruceros, refugios y rampas cuyo objetivo es dar condiciones para el avance, preparación y explotación del tajeo que se encuentra en reservas.
- **Desarrollo:** Contempla las labores que se encuentran en mineral cuyo objetivo es incorporar reservas.
- **Preparación:** Contempla las labores que se encuentran en mineral y desmote como subniveles, chimeneas y echaderos que son parte del tajeo.

**Tabla 20:** Extracción de mineral por año (toneladas)

Veta	Fase operativa	Año 1	Año 2	Año 3	Total
Túnel 4	Producción	41 114	56 177	28 281	125 571
Túnel 3	Producción	5 341	33 554	38 259	77 154
<b>Total general</b>		<b>46 455</b>	<b>89 731</b>	<b>66 540</b>	<b>202 725</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2017).

- La implementación del sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, ha permitido la extracción de mineral en veta Túnel 4 y Túnel 3 en tres años consecutivos, teniendo una extracción total de 202 725 toneladas de mineral.

**Tabla 21:** Extracción de desmonte por año (m<sup>3</sup>)

Veta	Fase operativa	Año 1	Año 2	Año 3	Total
Túnel 4	Infraestructura de operación	24 100	9 218	4 580	37 898
Túnel 4	Desarrollo	1 312	2 333	1 166	4 811
Túnel 4	Preparación	375	741	463	1 579
Túnel 4	<i>Raise borer</i>	311	881	-	1 192
Túnel 3	Infraestructura de operación	1 206	4 182	-	5 388
Túnel 3	Desarrollo	-	875	-	875
Túnel 3	Preparación	-	278	-	278
<b>Total general</b>		<b>27 304</b>	<b>18 508</b>	<b>6 209</b>	<b>52 021</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2017).

- Se puede observar que la extracción de desmonte es continua durante tres años, de las diferentes fases operativas teniendo una extracción total de 52 021 m<sup>3</sup> de desmonte.
2. Se ha realizado la evaluación económica del proyecto con las cotizaciones de plata 16, 50 \$/oz y el oro en 1 200 \$/oz, obteniendo resultados como se muestra en las siguientes tablas.

**Tabla 22:** Costo de mineral y valor de punto

Costo de mineral		Valor punto	
Costo \$/m.	1 732	0,4012	Ag (gr/t)
<i>Cut Off</i> marginal (costo variable)	87,50	30,8045	Au (gr/t)
<i>Cut Off</i> económico (costo total)	124,50		

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2017).

**Tabla 23:** Evaluación económica del proyecto

Proyecto	Total (m.)	Toneladas	Ag (gr/t)	Au (gr/t)	Dil %	Ag Eq. (gr/t)	VAL \$/t
<b>Total</b>	<b>7 050</b>	<b>202 725</b>	<b>460</b>	<b>1,18</b>	<b>40 %</b>	<b>547</b>	<b>221</b>

En la tabla se aprecia los metros de avance y las toneladas extraídas de todo el proyecto con sus respectivas leyes, con estos valores se estima las onzas finales y el valor del mineral.

**Tabla 24:** Evaluación económica del proyecto (costo total)

Valor del mineral (\$)	(-) Costo de producción (\$)	Margen de operación	(-) Inversión (\$)	Margen neto (\$)
<b>44 802 225</b>	<b>25 239 263</b>	<b>19 562 963</b>	<b>12 210 600</b>	<b>7 352 363</b>
<b>Proyecto</b>			<b>(-) Inversión (\$)</b>	<b>Margen neto (\$)</b>
Materiales de instalación			187 059	
Mano de obra instalación			197 215	
Materiales de mantenimiento			37 536	
Mano de obra mantenimiento			14 138	
Equipos de acarreo			159 762	
Equipos de volteo			19 100	
<b>Sub total</b>			<b>614 810</b>	
<b>Total general</b>			<b>12 825 410</b>	<b>6 737 553</b>

- Se observa que se realizó una inversión de 12 825 410 \$, que considera: metros realizados, compra de equipos a utilizar, materiales, mantenimiento y costo de mano de obra.
- Como valor de mineral se tiene 44 802 225 \$
- Como costo de producción de mineral se tiene 25 239 263 \$
- Como margen de costo de operación se tiene 19 562 963 \$
- De los resultados obtenidos se observa que se tiene un margen de ganancia neto de 6 737 553 \$

**Tabla 25:** Requerimiento de riel Túnel 4 y Túnel 3

Veta	Nivel	Tipo	Long. (m.)
Túnel 4	4565	<i>By Pass</i>	1 320
Túnel 4	4565	Crucero	1 160
Túnel 3	4565	<i>By Pass</i>	240
Túnel 3	4565	Crucero	235
<b>Metros totales vía instalada</b>			<b>2 955</b>
<b>Metros lineales de iel</b>			<b>5 910</b>

- Se considera la labor donde se va instalar la línea *de cauville*, labor principal y acceso hacia el echadero del tajeo entre otros.

**Tabla 26:** Costo materiales de instalación línea *de cauville*

Material	Descripción	Cantidad	Und.	P.U. (S/.)	Sub total (S/.)	Sub total (\$.)
Riel	45 libras	986	Pza.	284,4	280 418	87 631
Durmiente	8"x6"x1,5 m.	4 930	Und.	35	172 550	53 922
Eclisa		1 968	Und.	19,97	39 301	12 282
Perno rielero		3 936	Und.	3,994	15 720	4 913
Clavo rielero	4-1/2" x 1/2"	10 747	kg.	8,43	90 601	28 313
<b>Total</b>					<b>598 590</b>	<b>187 059</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014). (tipo de cambio 3,20)

**Tabla 27:** Costo mano de obra instalación línea *de cauville*

Material -Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. (S/.)	Sub total (S/.)	Sub total (\$.)
Instalación de línea <i>de cauville</i>	2 955	m.	172	508 437	158 887
Fabricación e instalación de cambios	25	Und.	4 906	122 652	38 329
<b>Total</b>				<b>631 089</b>	<b>197 215</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2017).(tipo de cambio 3,20)

**Tabla 28:** Costo equipos de acarreo

Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. (\$)	Sub total (\$)
Locomotora a batería de 6 t. - 600 mm.	1	Und	69 950	69 950
Bancos de baterías mineras 140 V.	2	Und	11 921	23 842
Cargador de batería.	1	Und	4 850	4 850
Carros mineros Gramby 60 pies <sup>3</sup> - 600 mm.	8	Und	7 640	61 120
<b>Total Equipos de acarreo (\$)</b>				<b>159 762</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).

**Tabla 29:** Costo equipos de volteo de carros Gramby

Descripción	Cantidad	Unidad	P.U. (\$)	Sub total (\$)
Sistema electrohidráulico	2	Und	9 550	19 100
<b>Total equipos de volteo (\$)</b>				<b>19 100</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).

**Tabla 30:** Mantenimiento línea *de cauville* instalada (metros)

Veta	Nivel	Descripción	Long.
Túnel 4 - Túnel 3	4565	metros de vía instalada	5 910
<b>Metros totales vía por mantener 20 %</b>			<b>591</b>
<b>Longitud por mantener 20 %</b>			<b>1 182</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).

**Tabla 31:** Costo materiales de mantenimiento vías línea *de cauville*

Material	Descripción	Cantidad	Und.	P.U. (\$/.)	Sub total (\$/.)	Sub total (\$.)
Riel	45 libras	198	Pza	284,4	56 311	17 597
Durmiente	8"x6"x1,5 m.	990	Und.	35	34 650	10 828
Eclisa		392	Und.	19,97	7 828	2 446
Perno rielero		784	Und.	3,994	3 131	979
Clavo rielero	4-1/2"x 1/2"	2 158	kg.	8,43	18 194	5 686
<b>Total</b>					<b>120 114</b>	<b>37 536</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014). (tipo de cambio 3,20)

Se considera el 20% de materiales de la línea instalada

**Tabla 32:** Costo mantenimiento de línea *de cauville*

Material - descripción	Cantidad	Und.	P.U. (S/.)	Sub total (S/.)	Sub total (\$.)
Reparaciones (cambios toda la línea)	5	Und.	1 498	14 983	4 682
Mantenimiento	1 182	m.	26	30 259	9 456
<b>Total</b>				<b>45 242</b>	<b>14 138</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014). (tipo de cambio 3,20)

Para estimar el costo de materiales de mantenimiento y el mantenimiento de línea *de cauville* se considera el 20 % de la línea instalada.

3. Monitoreo de caudal de aire en tajeos del nivel 4565

• **Caudales antes del proyecto**

Se realizaron mediciones de salida e ingreso de caudales en los tajeos, TJ2243, TJ2244, TJ2245, TJ2246, TJ2247, TJ2248 y TJ2250, los cuales arrojaron un promedio de aire de ingreso de 3 630 *cfm.*, y aire de salida de 3 587 *cfm.*, manteniéndose el balance de equilibrio en los valores normales. Ver siguiente tabla.

**Tabla 33:** Medición de velocidades en tajeos antes del proyecto.

Labor	I/S	Velocidad promedio (m/s)	Vel. (m/min)	Sección (m)			Área de sección (m <sup>2</sup> )	Caudal de aire		Temp. (°C)	Condición de aire		
				B1	B2	H		(m <sup>3</sup> /min)	<i>cfm</i>		R.H (%)	O2 (%)	CO (PPM)
TJ 2243	Ingreso	0,41	24,49	1,56	1,50	3,20	4,90	119,90	4 233,74	18,90	82,10	20,80	2,00
	Salida	0,44	26,33	1,61	1,52	3,15	4,93	129,79	4 583,01	18,90	82,10	20,80	1,00
TJ 2244	Ingreso	0,59	35,27	1,34	1,38	2,07	2,82	99,30	3 506,11	18,10	85,30	20,70	2,00
	Salida	0,53	31,91	1,34	1,38	2,07	2,82	89,85	3 172,49	18,10	85,30	20,70	2,00
TJ 2245	Ingreso	0,86	51,33	0,97	1,22	1,94	2,12	109,05	3 850,46	18,30	79,40	20,70	3,00
	Salida	0,71	42,67	0,97	1,22	1,94	2,12	90,64	3 200,39	18,30	79,40	20,70	3,00

Labor	I/S	Velocidad promedio (m/s)	Vel. (m/min)	Sección (m)			Área de sección (m <sup>2</sup> )	Caudal de aire		Temp. (°C)	Condición de aire		
				B1	B2	H		(m <sup>3</sup> /min)	cfm		R.H (%)	O2 (%)	CO (PPM)
TJ 2246	Ingreso	0,37	21,96	1,68	1,34	2,72	4,11	90,19	3 184,78	17,90	77,00	20,60	2,00
	Salida	0,35	20,87	1,68	1,34	2,72	4,11	85,70	3 026,03	17,90	77,00	20,60	2,00
TJ 2247	Ingreso	0,53	31,51	1,71	1,59	1,86	3,07	96,69	3 414,11	18,60	75,50	20,60	2,00
	Salida	1,12	67,33	1,25	1,14	1,93	2,31	155,29	5 483,44	18,30	75,50	20,60	5,00
TJ 2248	Ingreso	0,35	20,81	1,68	1,51	2,89	4,61	95,92	3 386,98	18,10	77,40	20,60	4,00
	Salida	0,36	21,76	1,12	1,41	2,35	2,97	64,68	2 283,75	18,20	77,20	20,60	4,00
TJ 2250	Ingreso	0,61	36,67	1,02	1,11	2,78	2,96	108,56	3 833,22	19,90	82,50	20,70	0,00
	Salida	0,50	30,10	1,31	1,04	2,69	3,16	95,14	3 359,38	18,90	83,20	20,60	1,00

FUENTE: (Servicios Mina U.O Arcata, 2015), monitoreo de aire en tajeo.

### • Caudales después del proyecto

Se realizaron mediciones de salida e ingreso de caudales en los tajeos, TJ2243, TJ2244, TJ2245, TJ2246, TJ2247, TJ2248 y TJ2250, los cuales arrojaron un promedio de aire de ingreso de 5 243 *cfm.*, y aire de salida de 5 464 *cfm.*, manteniéndose el balance de equilibrio en los valores normales, pero incrementándose el ingreso del caudal de aire limpio a los tajeos. Ver la siguiente tabla.

**Tabla 34:** Medición de velocidades en tajeos después del proyecto.

Labor	I/S	Velocidad promedio (m/s)	Vel. (m/min)	Sección (m.)			Área de sección (m <sup>2</sup> )	Caudal de aire		Temp. (°C)	Condición de aire		
				B1	B2	H		(m <sup>3</sup> /min)	cfm		R.H (%)	O2 (%)	CO (PPM)
TJ 2243	Ingreso	0,74	44,67	1,45	1,15	3,21	4,17	186,25	6 576,51	16,90	64,20	20,80	2,00
	Salida	0,80	48,00	1,58	1,64	3,10	4,99	239,57	8 459,15	16,80	64,20	20,80	4,00
TJ 2244	Ingreso	0,71	42,67	1,25	1,54	2,78	3,88	165,47	5 842,59	15,10	61,70	20,70	2,00
	Salida	0,64	38,67	1,35	1,33	2,80	3,75	145,08	5 122,68	15,10	61,70	20,70	3,00
TJ 2245	Ingreso	0,67	40,00	1,21	1,02	2,01	2,24	89,65	3 165,40	15,70	59,80	20,70	1,00
	Salida	0,63	38,00	1,14	1,28	1,98	2,40	91,04	3 214,64	15,70	59,80	20,70	2,00
TJ 2246	Ingreso	0,64	38,67	1,55	1,42	2,69	3,99	154,46	5 453,98	16,10	57,00	20,60	3,00
	Salida	0,68	40,67	1,67	1,45	2,71	4,23	171,92	6 070,58	16,10	57,00	20,60	3,00
TJ 2247	Ingreso	0,86	51,33	1,68	1,53	1,75	2,81	144,18	5 091,08	15,30	75,50	20,60	5,00
	Salida	1,12	67,33	1,25	1,11	1,92	2,27	152,55	5 386,55	15,30	71,50	20,60	4,00

Labor	I/S	Velocidad promedio (m/s)	Vel. (m/min)	Sección (m.)			Área de sección (m <sup>2</sup> )	Caudal de aire		Temp. (°C)	Condición de aire		
				B1	B2	H		(m <sup>3</sup> /min)	cfm		R.H (%)	O2 (%)	CO (PPM)
TJ 2248	Ingreso	0,94	56,67	1,25	1,49	2,14	2,93	166,14	5 866,24	16,40	57,60	20,60	4,00
	Salida	0,84	50,67	1,52	1,48	2,21	3,32	167,96	5 930,67	16,40	57,60	20,60	4,00
TJ 2250	Ingreso	0,71	42,67	1,36	1,12	2,52	3,12	133,32	4 707,70	15,70	68,30	20,70	3,00
	Salida	0,66	39,33	1,28	1,08	2,48	2,93	115,11	4 064,36	15,70	68,30	20,60	3,00

FUENTE: (Servicios Mina U.O Arcata, 2015), monitoreo de aire en tajeo.

- Comparando el caudal antes y después del proyecto se puede observar, que como ingreso de aire incrementa en 44 % más. y como salida incrementa en 52 %, generando mejores condiciones de ventilación en las labores de trabajo.

#### 4. Monitoreo de caudal de aire de retorno en *By Pass* 2275 SE. Nivel 4565

**Antes del proyecto** (puntos de monitoreo instalados en el *By Pass* 2275 SE.), de acuerdo a las mediciones del caudal en el *By Pass* 2275 SE., se obtuvo en el punto más lejano, tajeo 2243 un caudal de retorno de 16 000 *cfm.*, necesitándose 03 ventiladores en serie de 30 000 *cfm.* (véase anexos plano 18), plano de ventilación en el *By Pass* 2275 SE antes del proyecto).

**Después del proyecto** (puntos de monitoreo instalados en el *By Pass* 2275 SE.), de acuerdo a las mediciones del caudal en el *By Pass* 2275 SE. se obtuvo en el punto más lejano, tajeo 2243 un caudal de retorno de 19 700 *cfm.*, necesitándose 02 ventiladores de 10 000 *cfm.* y 01 de 30 000 *cfm.* en serie. (véase anexos plano 19), plano de ventilación en el *By Pass* 2275 SE después del proyecto).

Se ha disminuido la capacidad de ventiladores en el *By Pass* 2275 SE. de 03 ventiladores de 30 000 *cfm.*, a solo 02 ventiladores de 10 000 *cfm* y 01 de 30 000 *cfm.*, por la reducción de un ventilador se reduce el consumo de energía de un ventilador de 30 000 *cfm.*, cuyo costo mensual de funcionamiento es de 2 156 \$/mes a un ventilador de 10 000 *cfm.*, cuyo costo mensual es de 676 \$/mes.

5. Reducción de los costos de transporte de mineral y desmonte
- La implementación del proyecto tiene un costo de inversión de 614 810 \$, esto considera la compra de equipos, compra de materiales, instalación de línea *de cauville* y el mantenimiento de los mismos.
  - Para estimar la reducción de costo de transporte entre el sistema de extracción *trackless*, versus el proyecto implementación del sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, se considera, costo total de transporte del volumen generado de los avances más el costo total de transporte de la producción de mineral, (costo de transporte *trackless* 2,57 \$/t. en 750 m.) menos el costo de inversión, teniendo como resultado un ahorro de 205 671 \$.

**Tabla 35:** Costo de transporte total toneladas de avances.

Veta	Fase operativa	Año 1	Año 2	Año 3	m <sup>3</sup>	t.	P.U. (\$/t)	Total (\$/t)
Túnel 4	Infra. de operación	27 185	15 386	8 050	37 898	84 891	2,57	218 170
Túnel 4	Desarrollo	1 312	2 333	1 166	4 811	10 778	2,57	27 699
Túnel 4	Preparación	375	741	464	1 579	3 537	2,57	9 090
Túnel 4	<i>Raise borer</i>	311	881	-	1 192	2 671	2,57	6 864
Túnel 3	Infra. de operación	1 206	6 495	-	5 388	12 069	2,57	31 017
Túnel 3	Desarrollo	-	875	-	875	1 960	2,57	5 037
Túnel 3	Preparación	-	278	-	278	622	2,57	1 599
<b>Total general</b>		<b>30 389</b>	<b>26 989</b>	<b>9 680</b>	<b>52 021</b>	<b>116 528</b>	<b>2,57</b>	<b>299 477</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2017).

**Tabla 36:** Costo de transporte total toneladas de mineral de tajeos

Veta	Fase operativa	Año 1	Año 2	Año 3	m <sup>3</sup>	t.	P.U. (\$/t)	Total (\$/t)
Túnel 4	Producción	18 146	35 051	22 498	75 696	193 781	2,57	498 018
Túnel 3	Producción	-	-	3 494	3 494	8 944	2,57	22 986
<b>Total general</b>		<b>18 146</b>	<b>35 051</b>	<b>25 992</b>	<b>79 190</b>	<b>202 725</b>	<b>2,57</b>	<b>521 004</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2017).

**Tabla 37:** Costo de inversión implementación proyecto línea *de cauville*.

<b>Costo instalación, mantenimiento de línea <i>de cauville</i> compra de equipos</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Inversión (\$)</b>
Total materiales instalación (\$)	187 059
Total instalación (\$)	197 215
Total materiales mantenimiento (\$)	37 536
Mantenimiento rieles (\$)	14 138
Equipos de acarreo	159 762
Equipos de volteo carros minero	19 100
<b>Total general</b>	<b>614 810</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2017).

**6.** Reducción de costos en labores de excavación con menor sección.

**Tabla 38:** Costo de metros (rieles versus *trackless*)

<b>Veta</b>	<b>Fase operativa</b>	<b>Sistema rieles</b>		<b>Sistema <i>trackless</i></b>		<b>Dif. \$</b>
		<b>Total m.</b>	<b>Costo \$/m.</b>	<b>Total m.</b>	<b>Costo \$/m.</b>	
Túnel 4	Infraestructura de operación	4 101	7 939 733	4 101	8 721 321	-781 588
Túnel 4	Desarrollo	1 320	1 647 187	1 320	1 647 187	
Túnel 4	Preparación	460	664 608	460	664,608	
Túnel 4	<i>Raise borer</i>	230	371 156	230	371 156	
Túnel 3	Infraestructura de operación	619	1 171 703	619	1 313 810	-142 107
Túnel 3	Desarrollo	240	299 488	240	299 488	
Túnel 3	Preparación	80	116 981	80	116 981	
<b>Total general</b>		<b>7 050</b>	<b>12 210 856</b>	<b>7 050</b>	<b>13 134 551</b>	<b>- 923 695</b>

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).

- En la tabla se muestra la cantidad de metros realizados en todo el proyecto, en ambos casos se mantiene la cantidad de metros como total, la variación es básicamente en la labor principal, el *By Pass* que considera el cambio de sección de 4,50 x 4,00 m. sección volquete a 2,70 x 2,70 m. sección con locomotora, este cambio permite un ahorro de 923 695 \$ en metros de avance a menor sección.



## DISCUSIÓN

En el año 2007, se realiza un informe de, transporte sobre rieles en minería, dicho trabajo concluye que, en transporte sobre rieles, la instalación del sistema es costoso, el mantenimiento y operación es económico (CCorimaya, 2007).

Una buena instalación de la vía férrea, no traerá horas muertas, ni accidentes en el trabajo (CCorimaya, 2007).

En el año 2016 se realiza un análisis de transporte por locomotora eléctricas y a baterías, dicho análisis concluye que, el transporte con locomotoras a baterías tiene la particularidad de trabajar en mejores condiciones con gradientes no mayores a 0,6 %, pero al trabajar con una gradiente crítica de 1,7 % es necesario mayores costos de mantenimiento con menor número de viajes, haciendo que la vida útil de las locomotoras y de las baterías disminuyan considerablemente. (Rios, C. 2016).

Según el análisis realizado en el control de tiempos de las locomotoras el mayor problema que produce pérdidas de tiempos, es el descarrilamiento por el deterioro de los cambios de rieles. (Rios, C. 2016).



## CONCLUSIONES

- Se ha realizado la extracción de mineral y desmonte utilizando locomotora y carros mineros sobre rieles en veta Túnel 4 y Túnel 3, se determina que la locomotora de 6 toneladas con carros Gramby de 60 pies<sup>3</sup>, con trocha de 60 cm, se adecuan al requerimiento de extracción de 400 toneladas por día.
- Se ha diseñado y planificado el transporte por locomotora y carros mineros utilizando técnicas de cálculo para una producción de 400 toneladas por día de acuerdo a objetivo programado, lo cual se cumple con el proyecto ejecutado.
- La ejecución de los proyectos de extracción con locomotora reduce los niveles de contaminación, ventilación y se mejora las condiciones ambientales de trabajo en la zona, en comparación a un sistema *trackless*, en 48 %.
- Respecto al diseño del sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, se concluye que no necesitan un requerimiento mayor de aire ya que como se demuestra en el trabajo realizado se han disminuido la capacidad de ventiladores de 03 ventiladores de 30 000 *cfm.* a solo 02 ventiladores de 10 000 *cfm.* y 01 de 30 000 *cfm.*, con lo que a su vez se ha disminuido el consumo de energía de un ventilador de 30 000 *cfm.*, cuyo costo mensual de funcionamiento es de 2 156 \$/mes a un ventilador de 10 000 *cfm.*, cuyo costo mensual es de 676 \$/mes.
- El sistema de extracción de mineral y desmonte utilizando locomotora y carros mineros sobre rieles en veta Túnel 4 y Túnel 3, permite un ahorro en 205 671 \$.
- La ejecución del proyecto de extracción con locomotora, en comparación al anterior sistema de extracción *trackless*, permitirá tener un ahorro de 923 695 \$. por el cambio de sección.



## RECOMENDACIONES

- Implementar el sistema de extracción con locomotora y carros mineros sobre rieles, ya que permite la extracción de mineral y desmote de 400 toneladas por día.
- Realizar el diseño integral de todo el proyecto, ubicando la estación de baterías en una zona ventilada, de acuerdo al D.S. N° 024-2016/EM y MODIFICATORIA D.S. N° 023-2017/EM que rige actualmente.
- Realizar el mantenimiento de las vías y cunetas, para que no produzcan descarrilamientos y daños en los equipos.
- Realizar el mantenimiento de los ventiladores, tener un ventilador en *Stand By*, Implementar temporizadores, para que los ventiladores trabajen solo en horarios donde se requiera ventilación.
- Realizar un comparativo de precios de transporte, extracción con sistema *trackless* versus extracción con locomotora.



## REFERENCIAS

- CCorimaya, L. S. (2007). *Transporte sobre rieles en minería*.
- LLanque Maquera, O., Marín Paucara, E., Velasquez Ari, B., Laricano Flores, E., Celso Vilcapoma, C., & CCalla Vilca, R. (2008). *Servicios auxiliares mineros tomo i*.
- Mellado, V. B. (2014). *Diseño de fundaciones para carro traspaso de acero*.
- Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata. (2014 - 2017).
- Servicios Mina U.O Arcata. (2015).
- Atencio, F. (2013). *Transporte sobre rieles*.  
<https://es.scribd.com/doc/147385593/Transporte-Subt-Sobre-Rieles>
- Benel, F. (2017). *Carritos mineros y locomotoras*.  
<https://es.scribd.com/document/361473595/Carritos-Mineros-y-Locomotoras>
- Elman, A. (2014). *Diseño de rieles*.  
<https://es.scribd.com/doc/226097025/Diseno-de-Rieles>
- Freepik, (2019). *Durmientes de madera*  
[https://www.freepik.es/vector-premium/rieles-durmientes-madera-ilustracion-vectorial\\_4650121.htm](https://www.freepik.es/vector-premium/rieles-durmientes-madera-ilustracion-vectorial_4650121.htm)
- Gustavo, (2015). *Desgaste y deformación de rieles*.  
<https://es.scribd.com/doc/286991936/Desgaste-y-Deformacion-de-Rieles>
- Minaya, K. (2017). *Transporte subterráneo sobre rieles*.  
<https://es.scribd.com/document/357951682/Transporte-Subterráneo-Sobre-Rieles>
- Molta, M. (2012). *Fundamentos de ingeniería*.  
<https://es.slideshare.net/ivanovich88/t11-f>
- AHM, (2007). *Vías, ferrocarriles y tren eléctrico*.  
<http://viasferreas.blogspot.com/2007/09/clasificacin-de-las-vias-ferreas-i.html>



AHM, (2008). *Vias, ferrocarriles y tren electrico.*

<http://viasferreas.blogspot.com/2008/09/plataforma.html?m=0>

AHM, (2008). *Vias, ferrocarriles y tren electrico.*

<http://viasferreas.blogspot.com/2008/07/balasto-iii.html>

AHM, (2008). *Vias, ferrocarriles y tren electrico.*

<http://viasferreas.blogspot.com/2008/07/>

AHM, (2008). *Vias, ferrocarriles y tren electrico.*

<http://viasferreas.blogspot.com/2008/07/durmientes-de-madera.html>

AHM, (2008). *Vias, ferrocarriles y tren electrico.*

<http://viasferreas.blogspot.com/2008/07/durmientes-de-madera.html>

AHM, (2008). *Vias, ferrocarriles y tren electrico.*

<http://viasferreas.blogspot.com/2008/07/durmientes-de-madera-ii.html>

AHM, (2008). *Vias, ferrocarriles y tren electrico.*

<http://viasferreas.blogspot.com/2008/04/riel-iv.html>

Alvarez, C. (2017). *Transporte sobre rieles.*

<https://es.scribd.com/document/364265266/transporte-sobre-rieles-docx>

Serminsa, F. (2013). *Vagones.*

<https://www.serminsa.com/vagones>

Tapia, A.(2018). *Maquinaria Minera UNT.*

<https://es.slideshare.net/JheferHilario/maquinaria-minera-unt-jheferson-hilario>

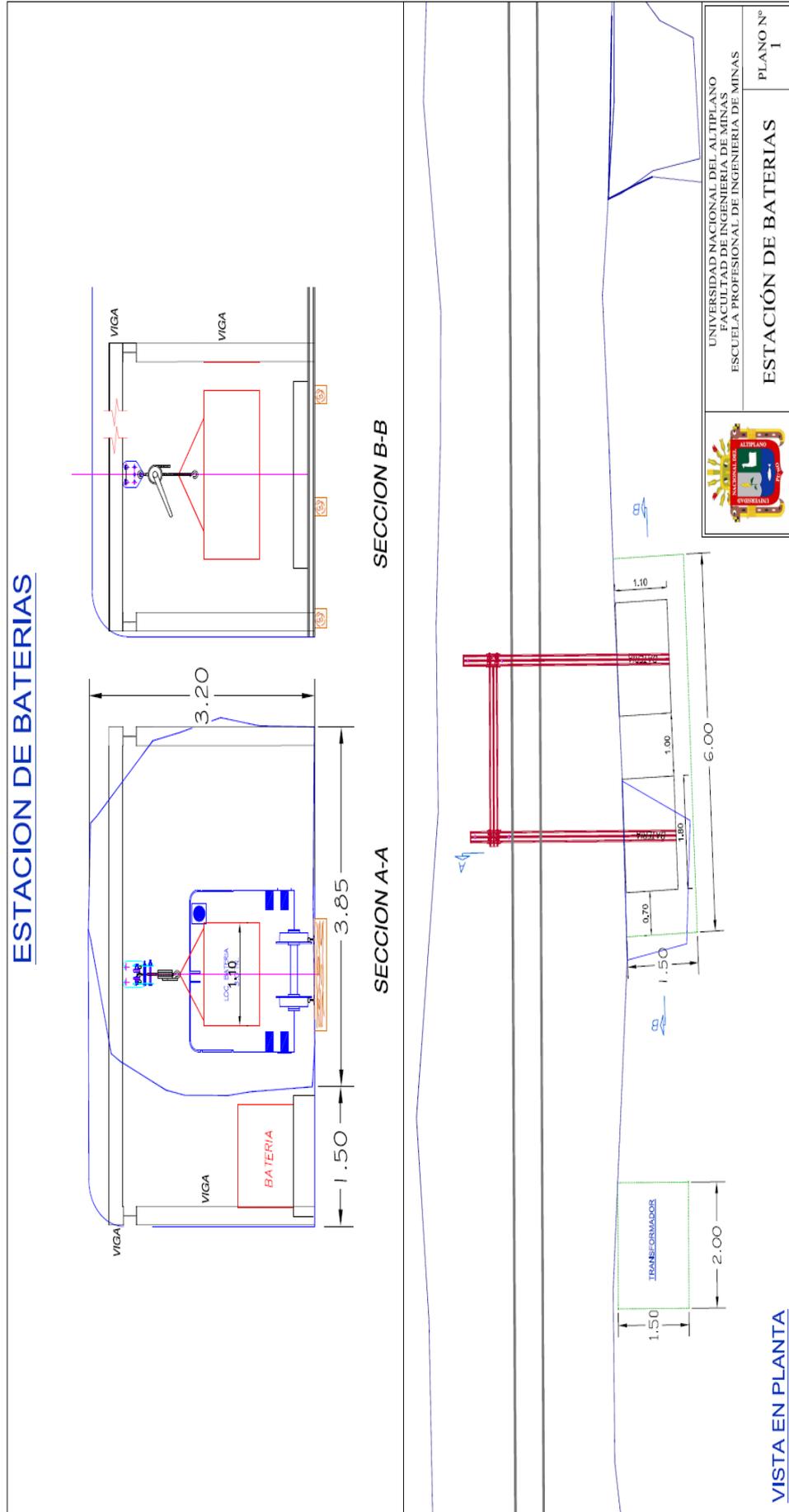
ACEROS CP S.A.C. (2015). *Tirafondos rieleros*

<http://www.aceroscpsac.com/producto/tirafondos-rieleros/>



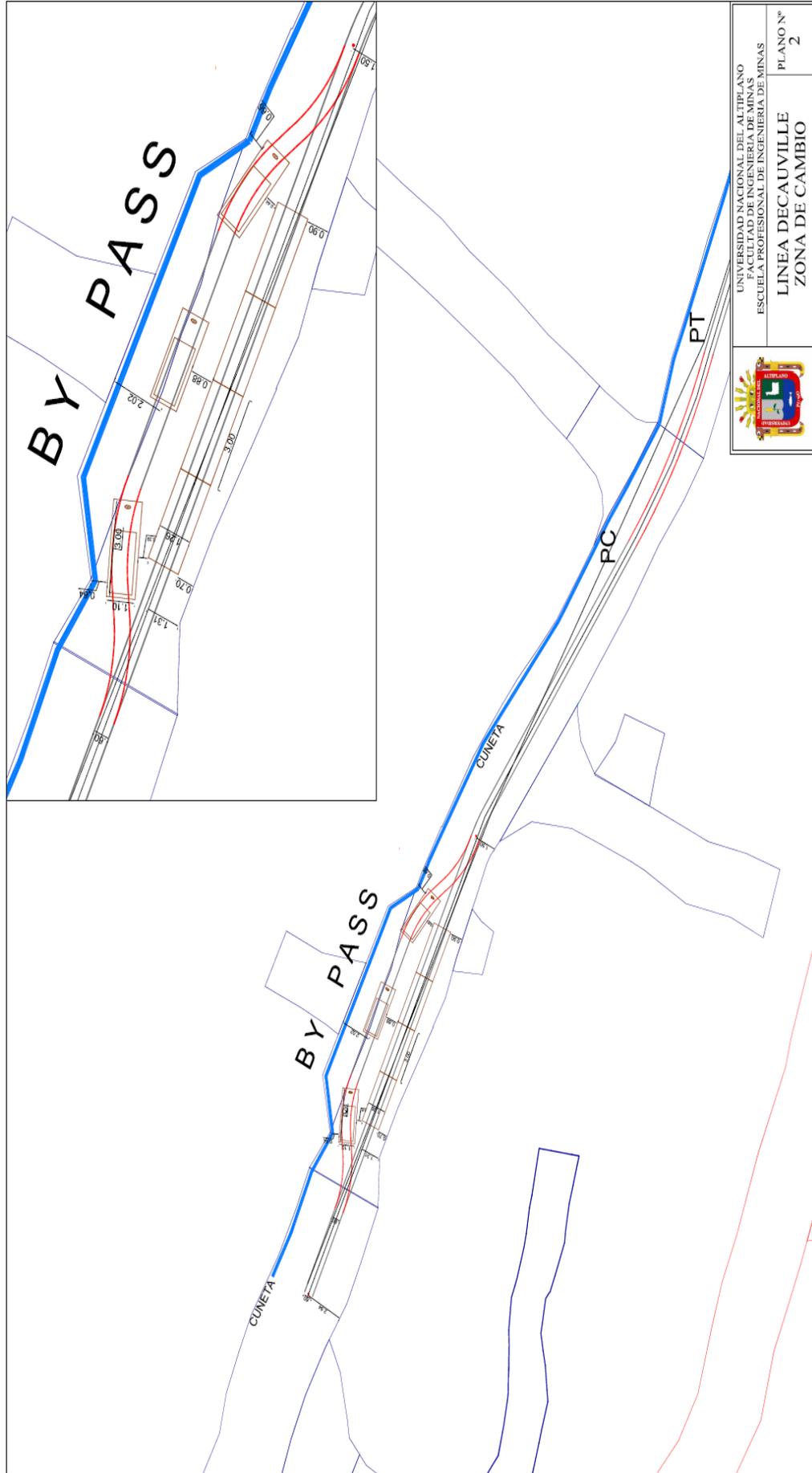
# ANEXOS

**Plano 1.** Estación de baterías



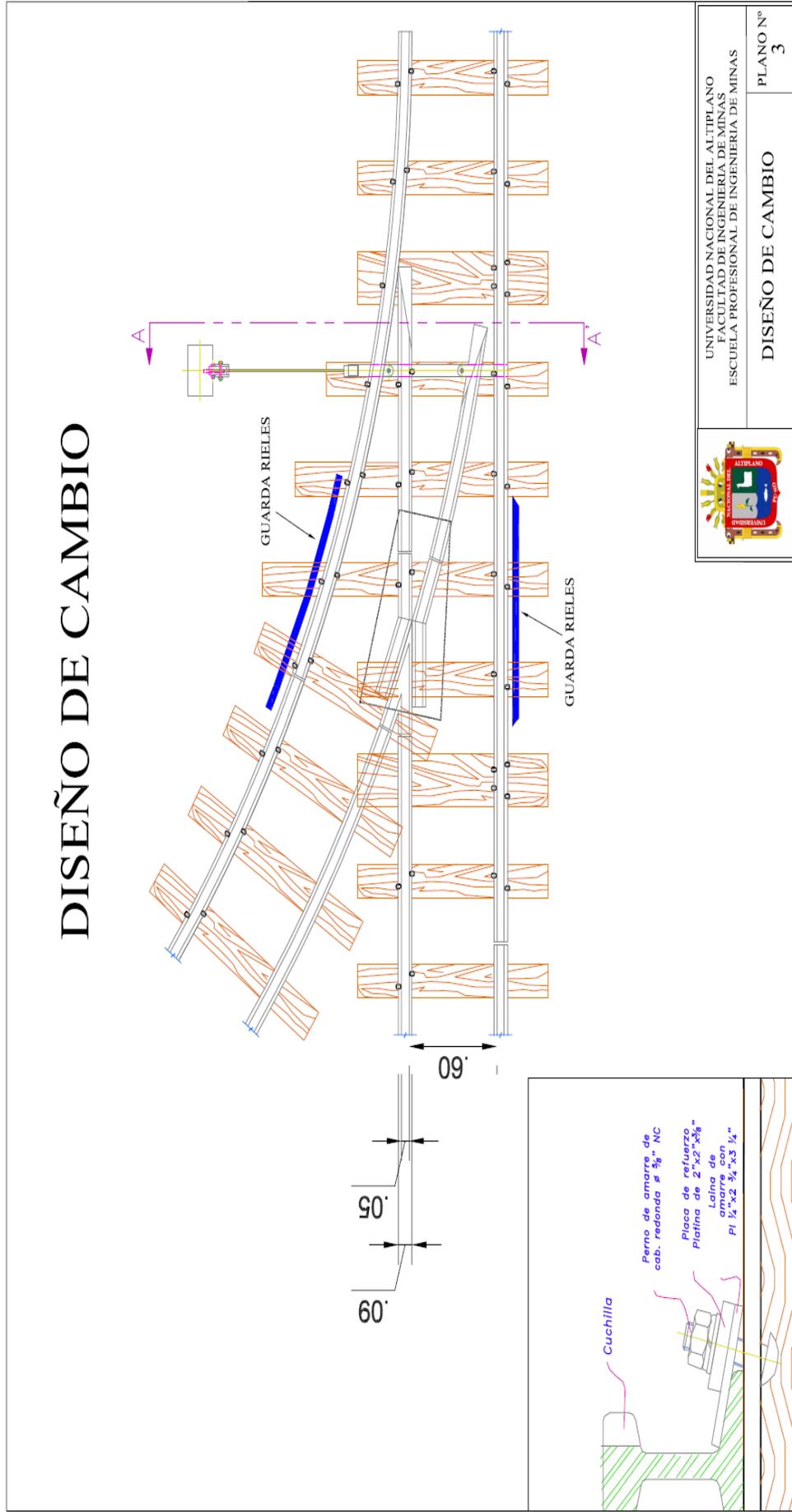
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).

Plano 2. Línea de cauville zona de cambio



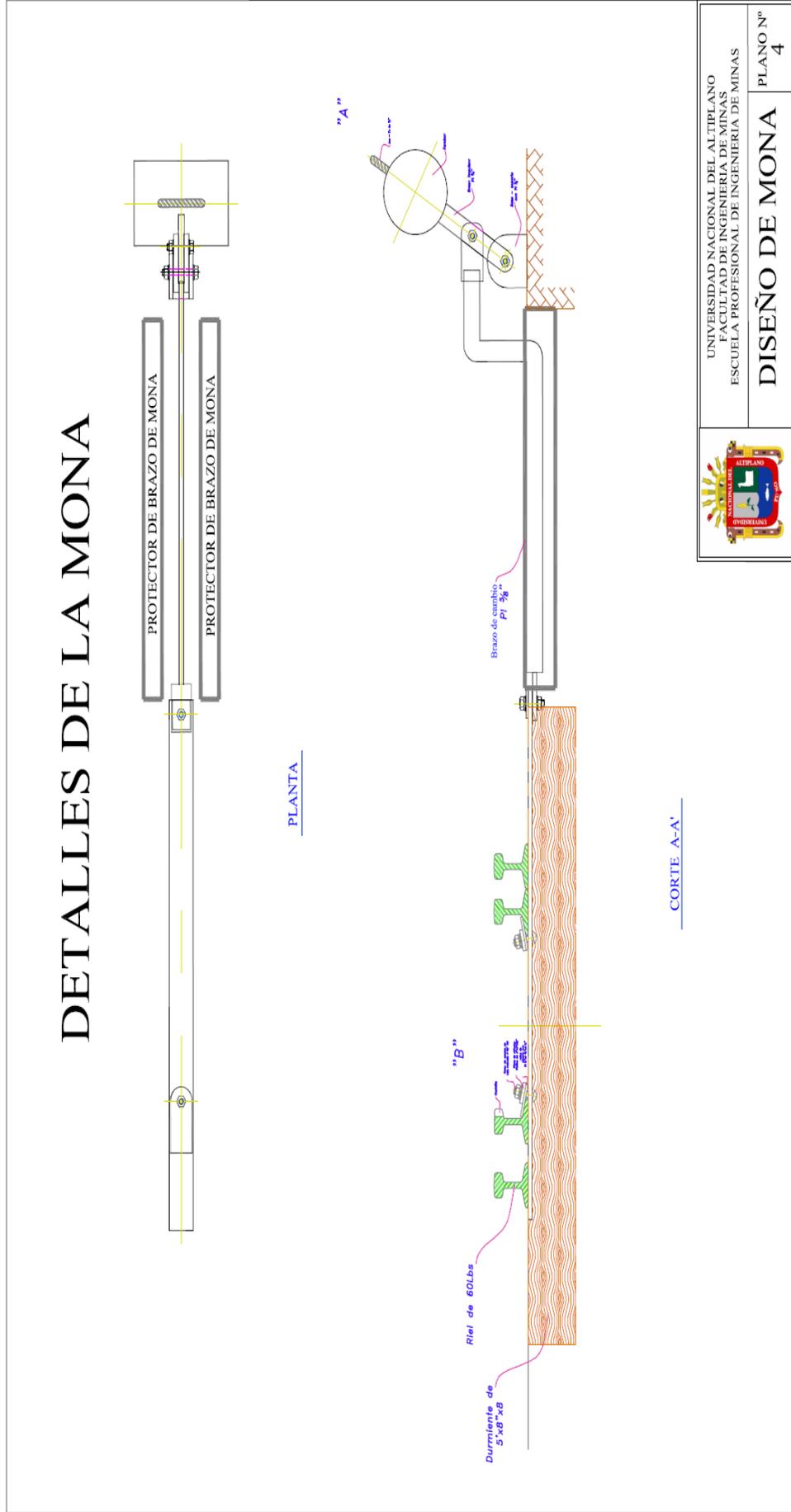
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).

Plano 3. Diseño de cambio



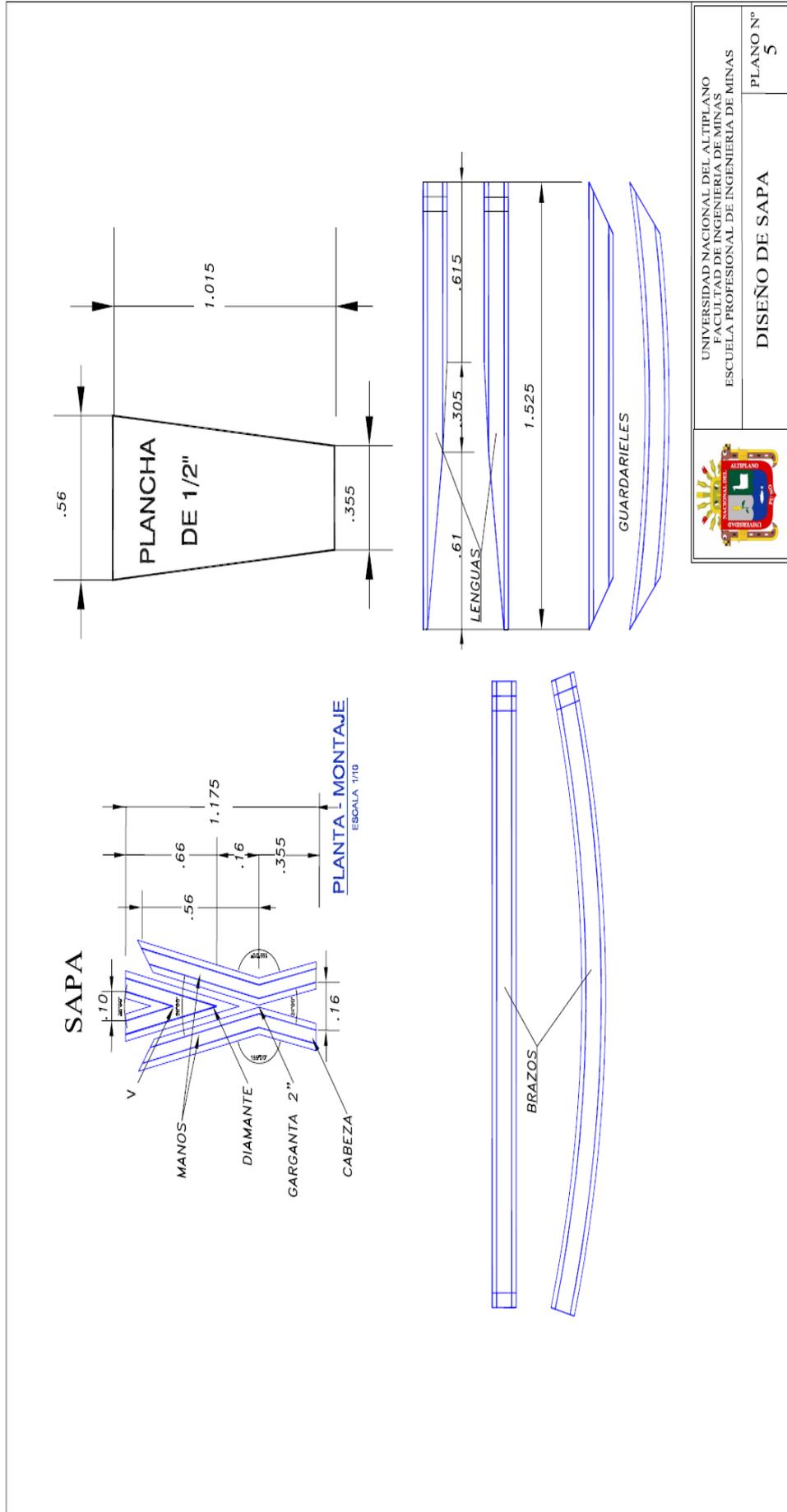
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).

Plano 4. Diseño de mona



FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).

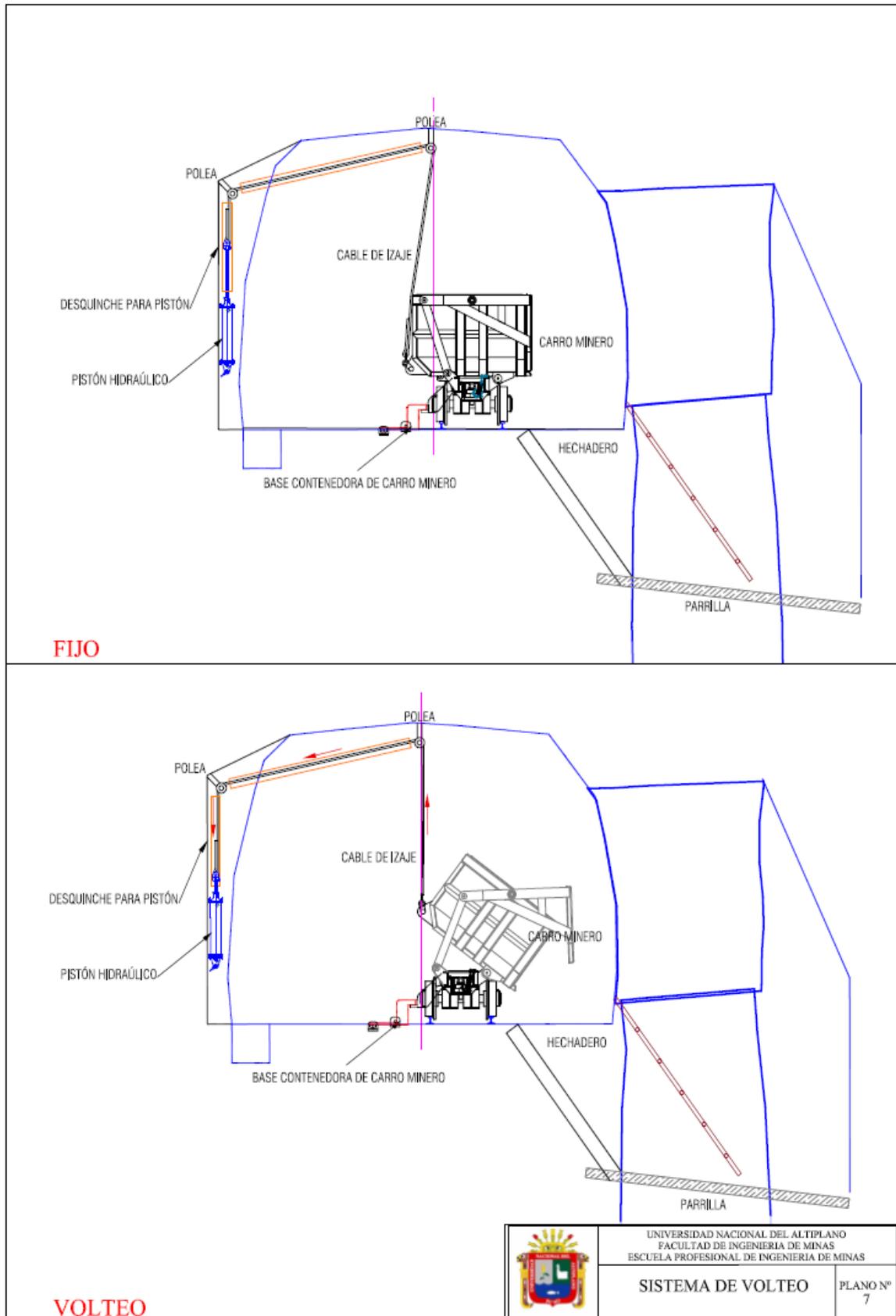
Plano 5. Diseño de sapa



FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).

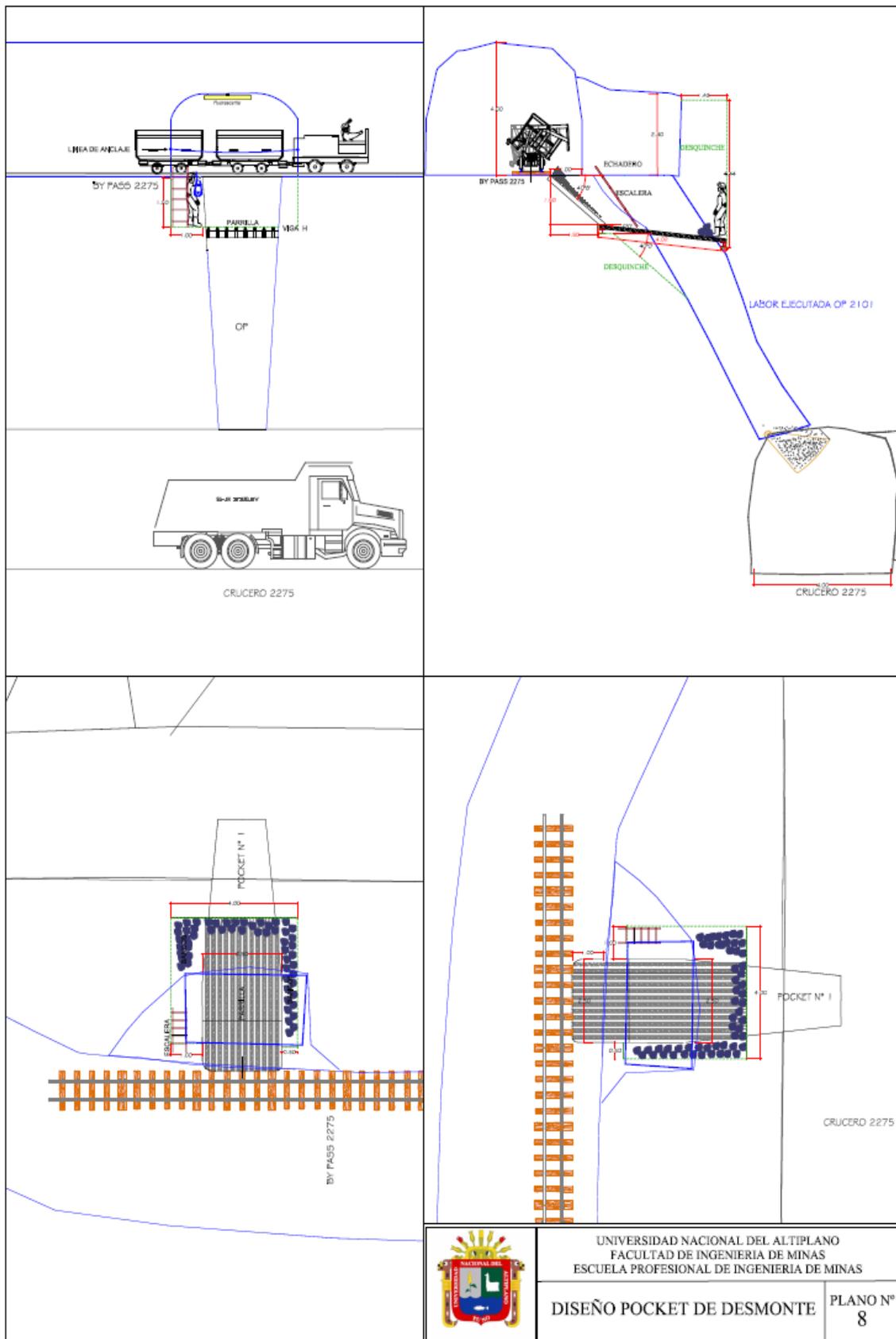


### Plano 7. Sistema de volteo de carros mineros Gramby



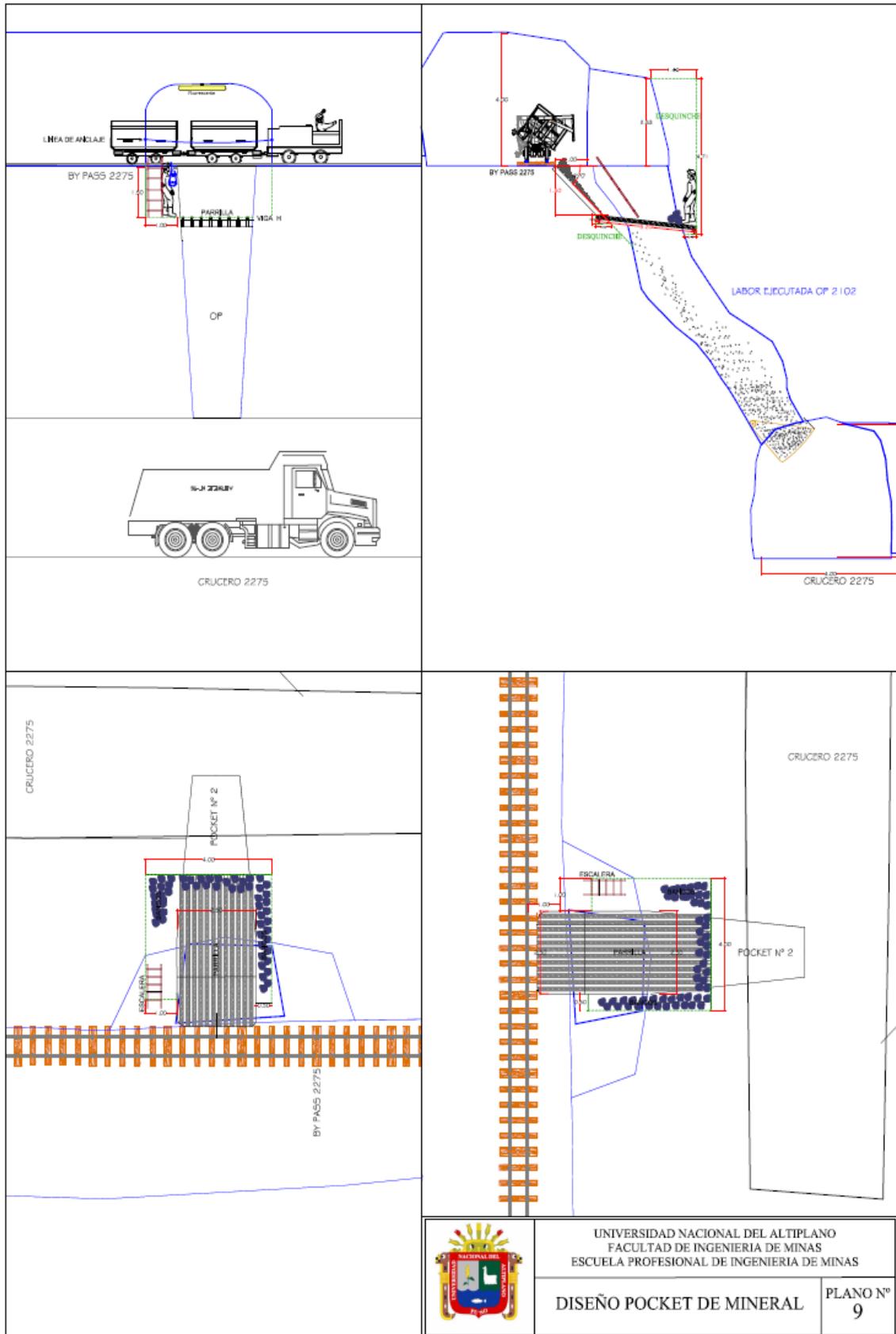
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).

### Plano 8. Diseño *pocket* de desmonte



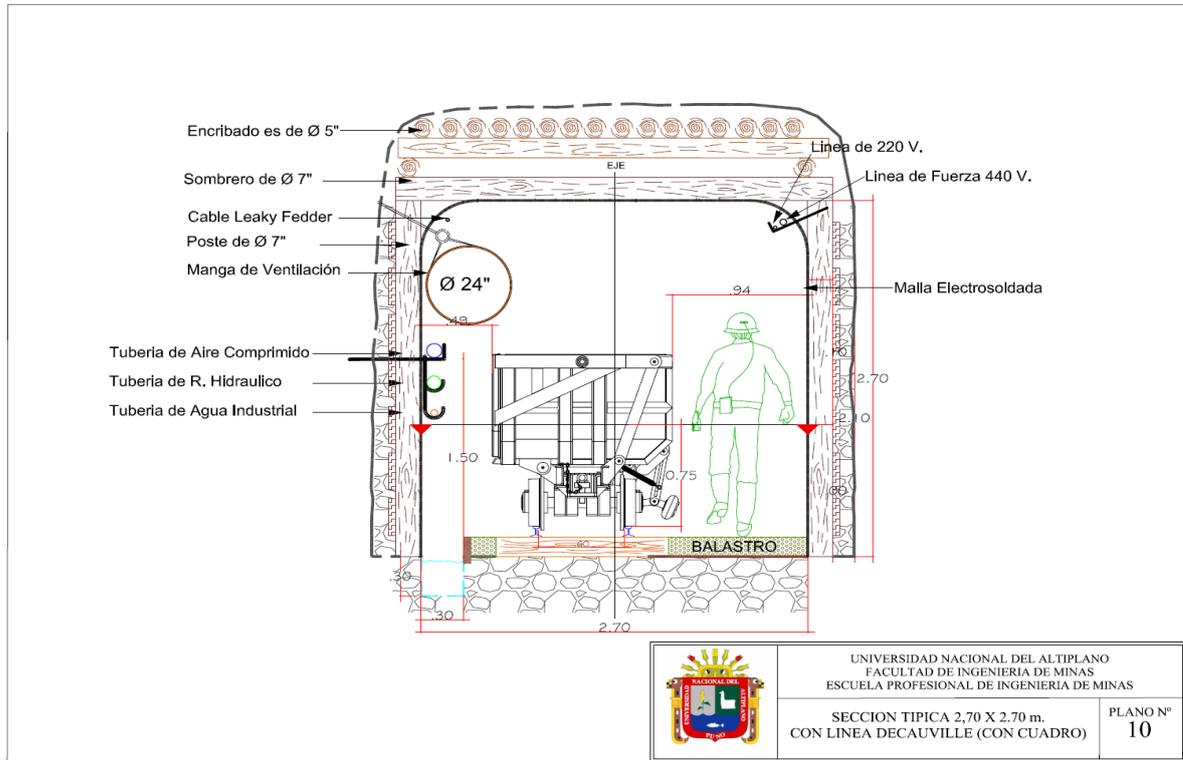
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014)

### Plano 9. Diseño *pocket* de mineral

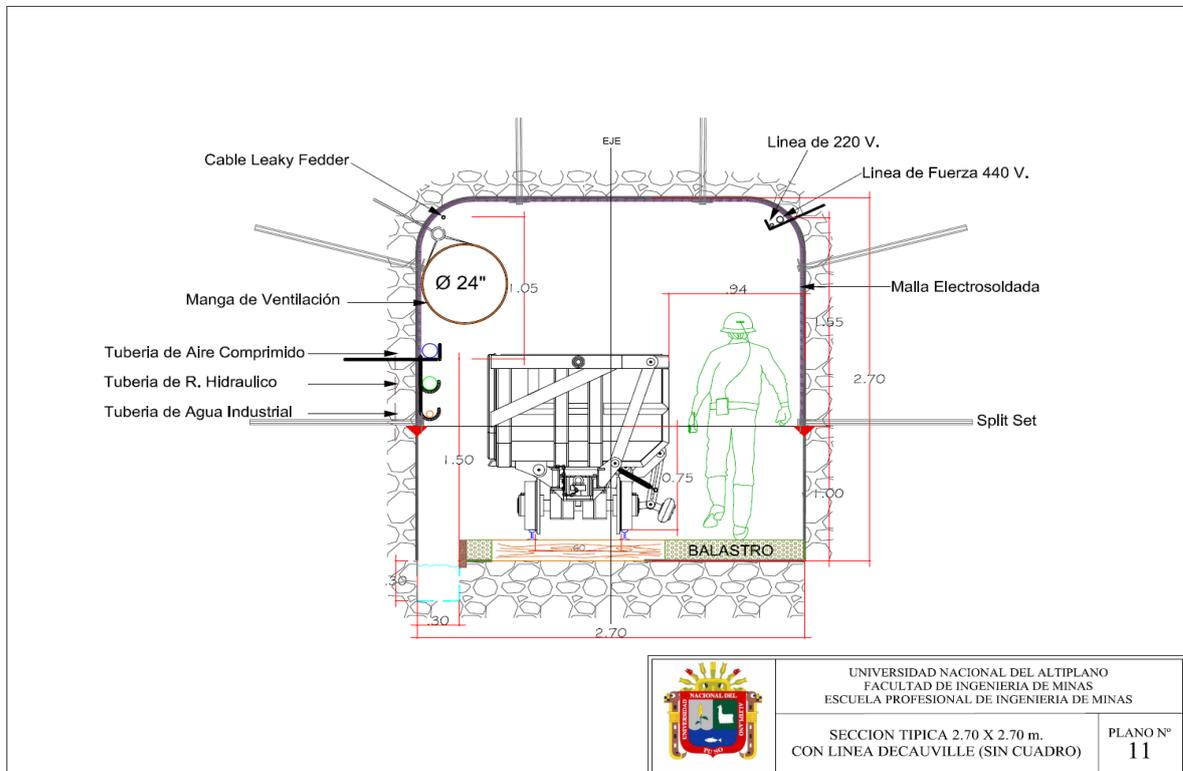


FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).

**Plano 11.** Sección típica 2,70 x 2,70 m. con línea *de cauville* (con cuadro)

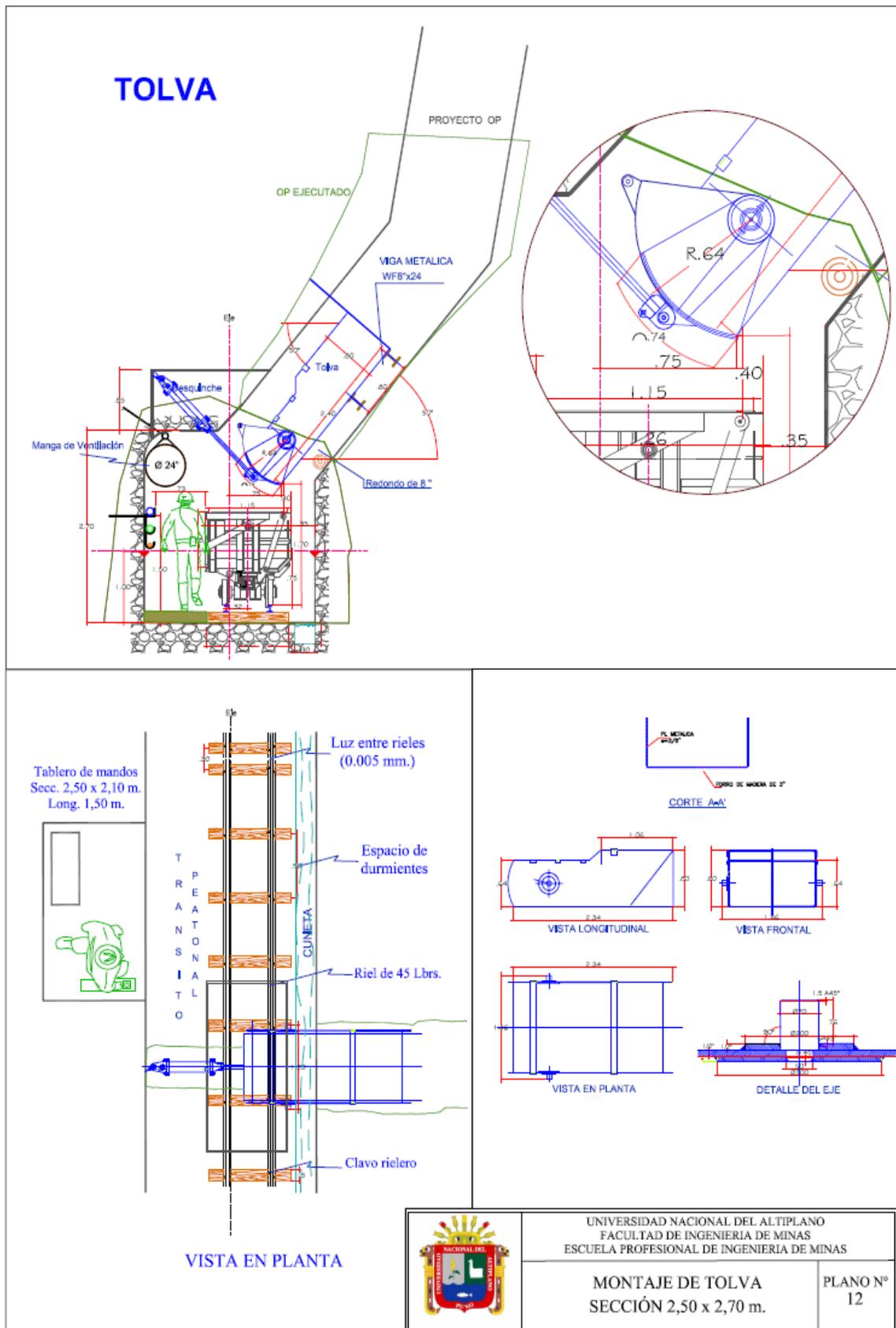


**Plano 10.** Sección típica 2,70 x 2,70 m. con línea *de cauville* (sin cuadro)



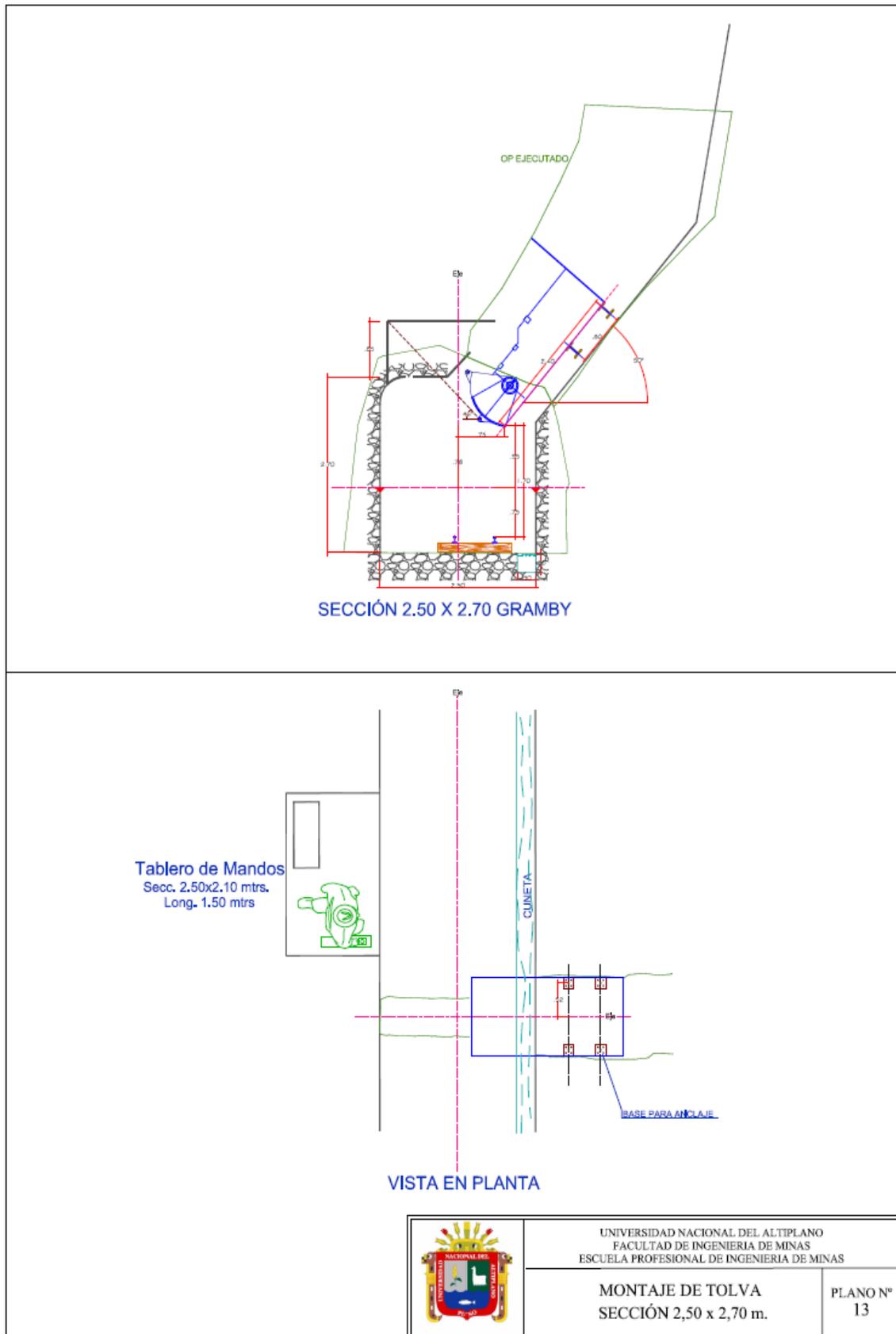
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).

## Plano 12. Diseño de tolva



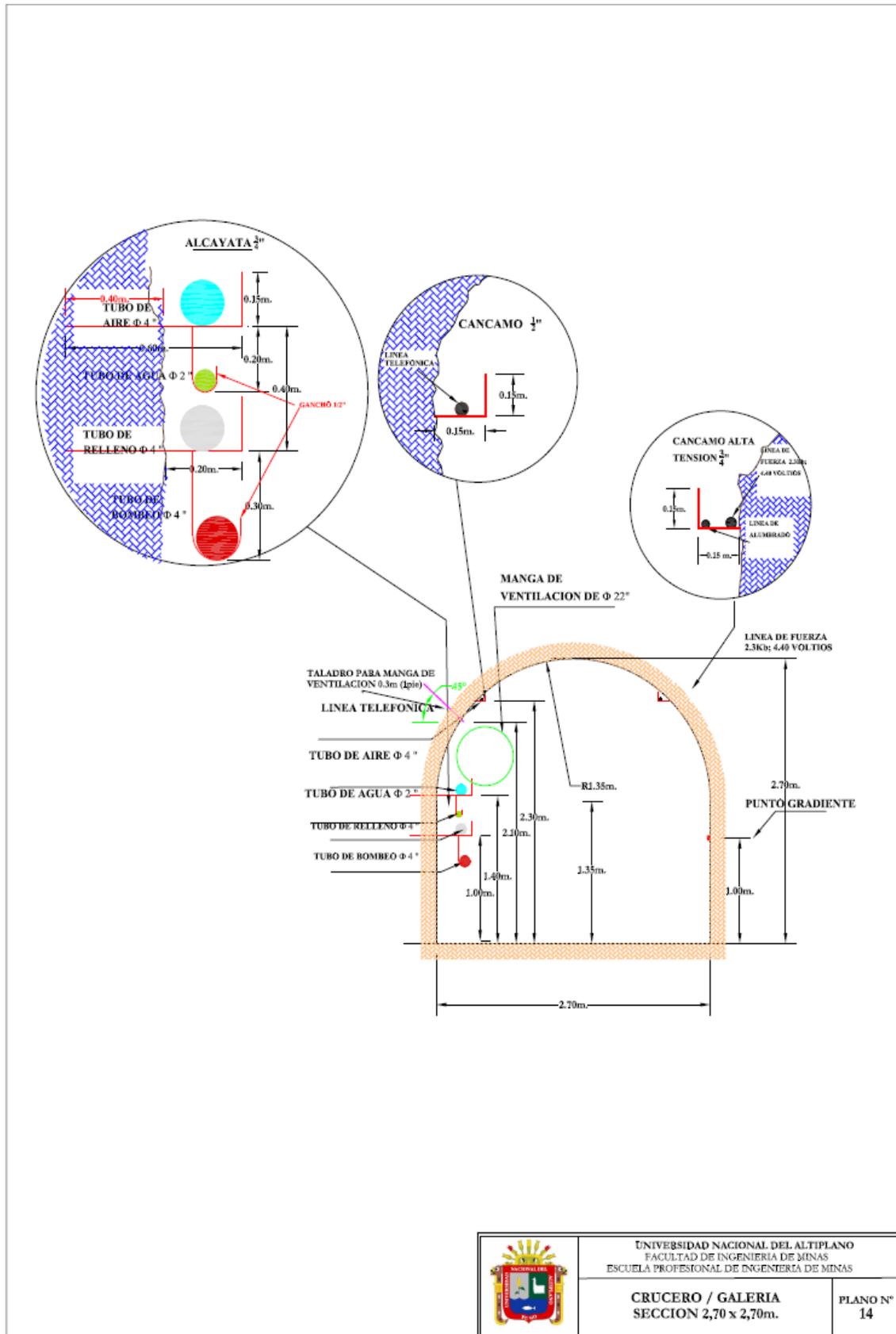
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014)

### Plano 13. Montaje de tolva sección 2,50 x 2,70 m.



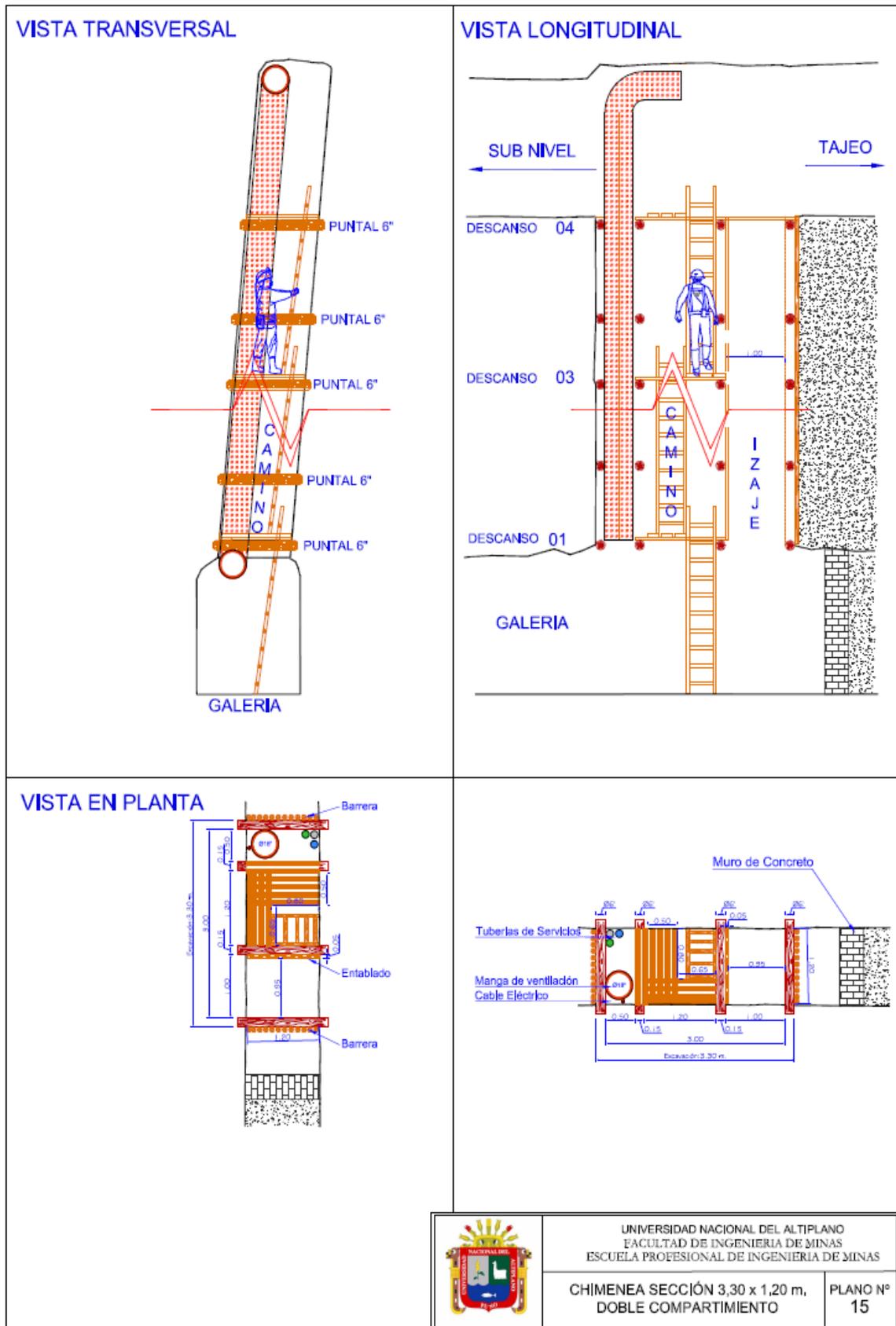
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).

**Plano 14.** Crucero / galería, sección 2,70 x 2,70 m.



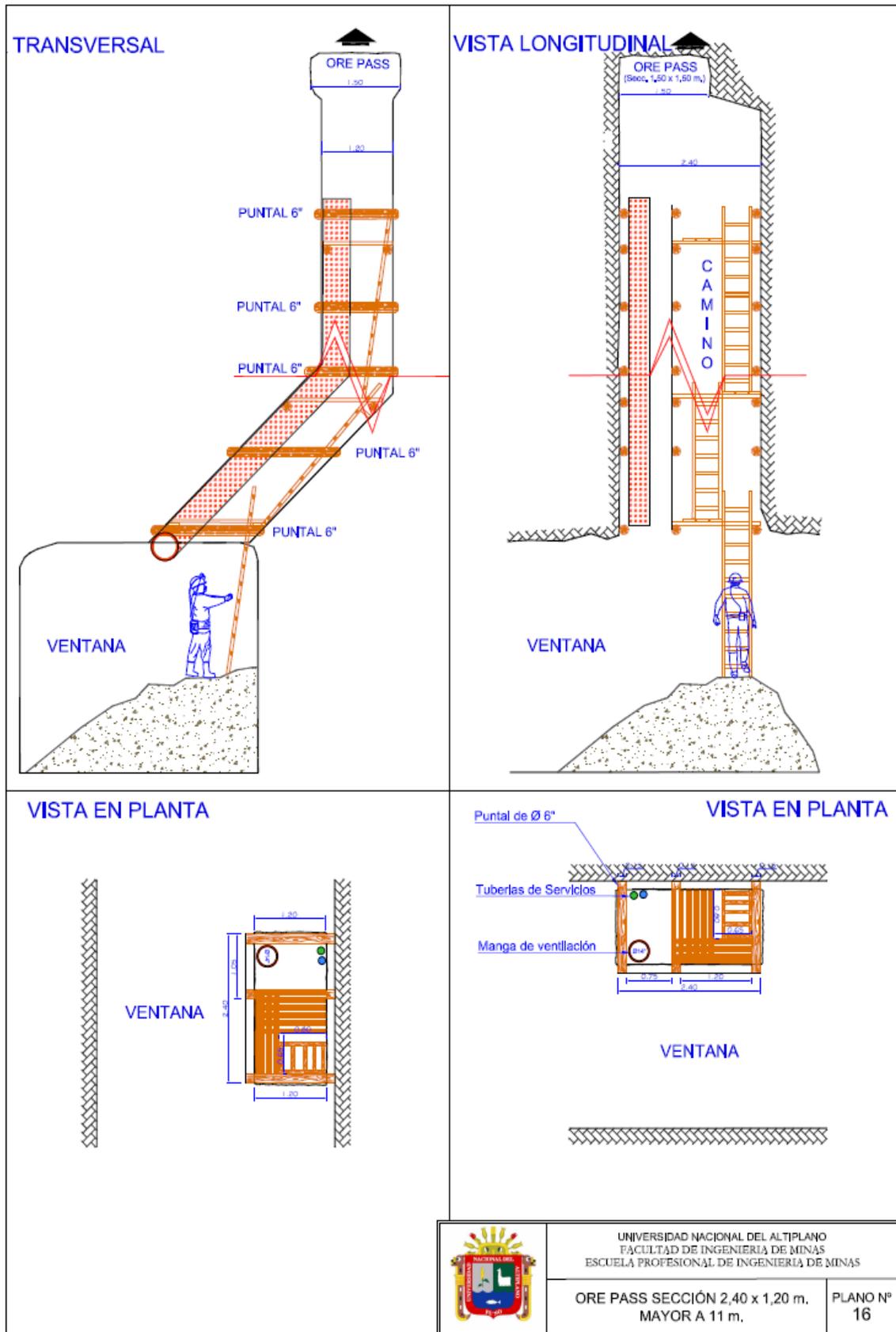
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).

**Plano 15.** Chimenea sección 3,30 x 1,20 m. doble compartimiento



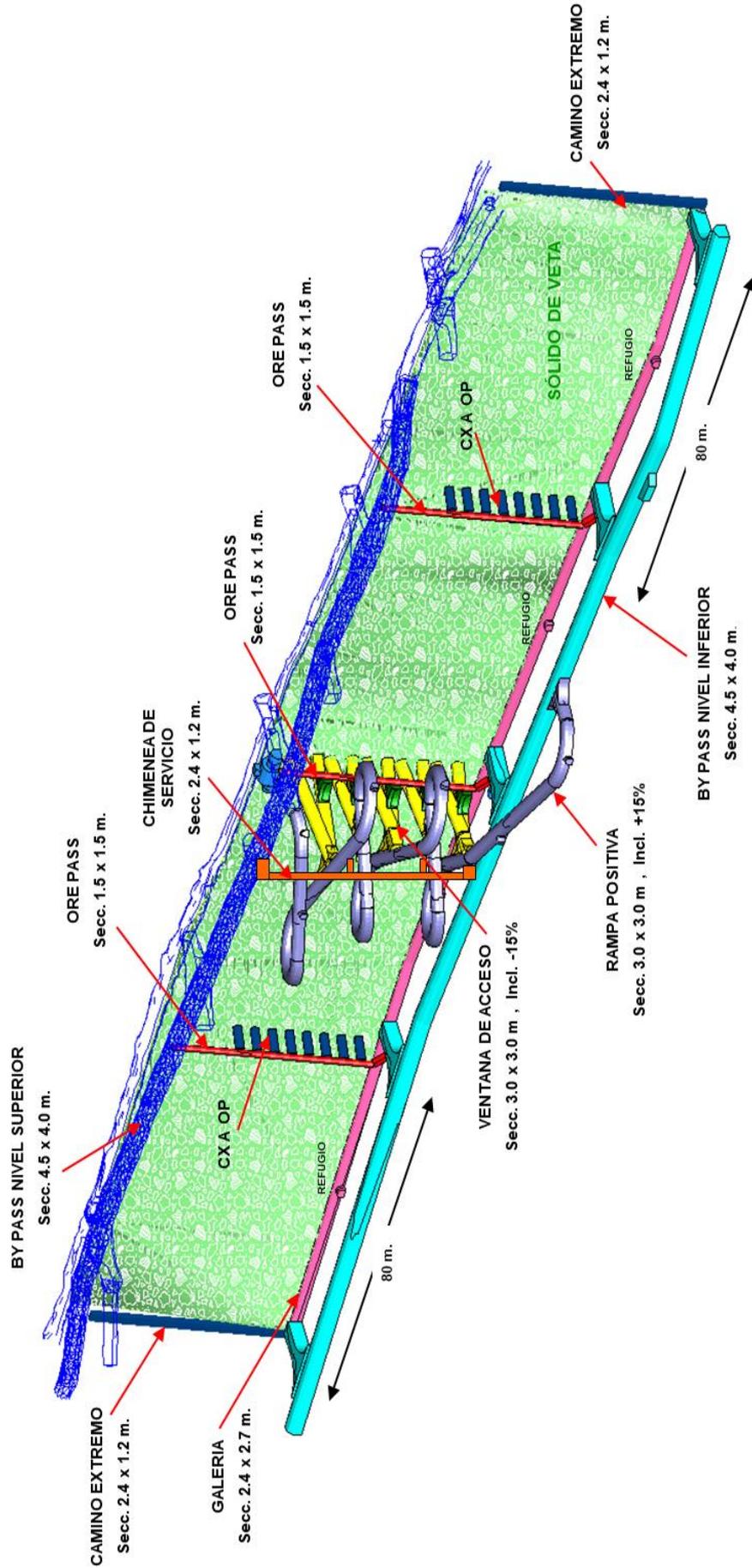
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).

**Plano 16.** Ore pass sección 2,40 x 1,20 m. mayor a 11 m.



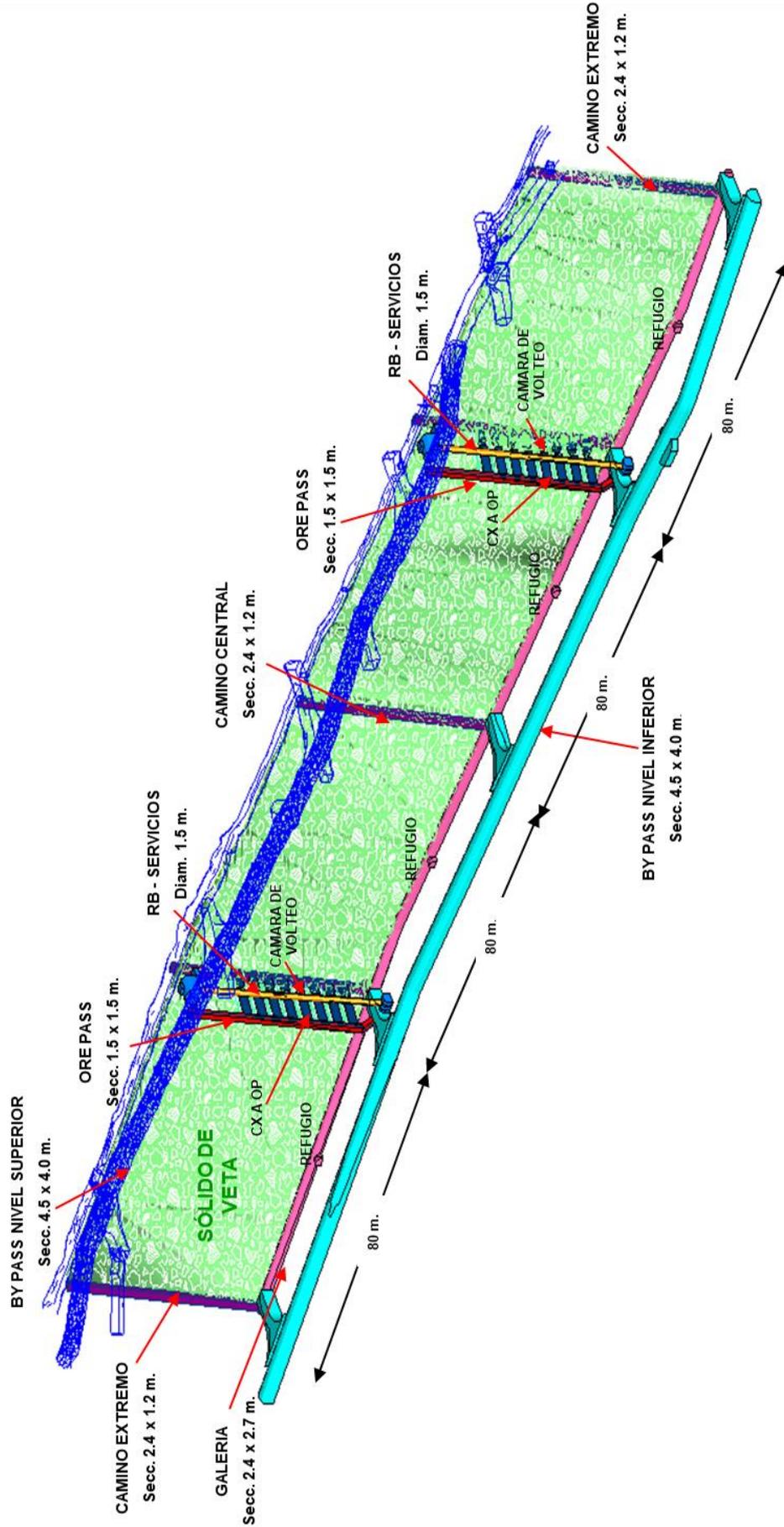
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).





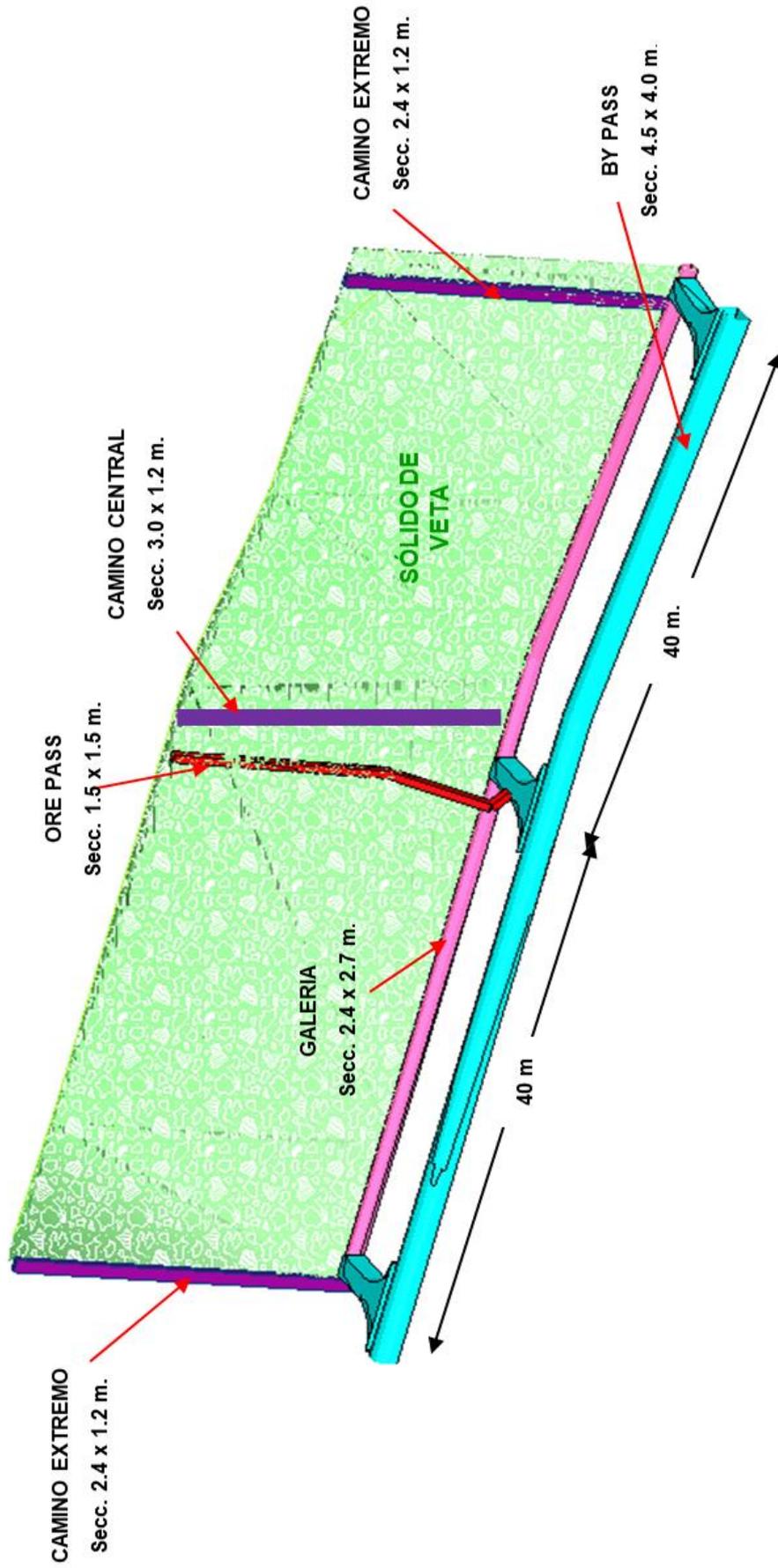
**Figura 45:** Método de minado (corte y relleno ascendente mecanizado)

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).

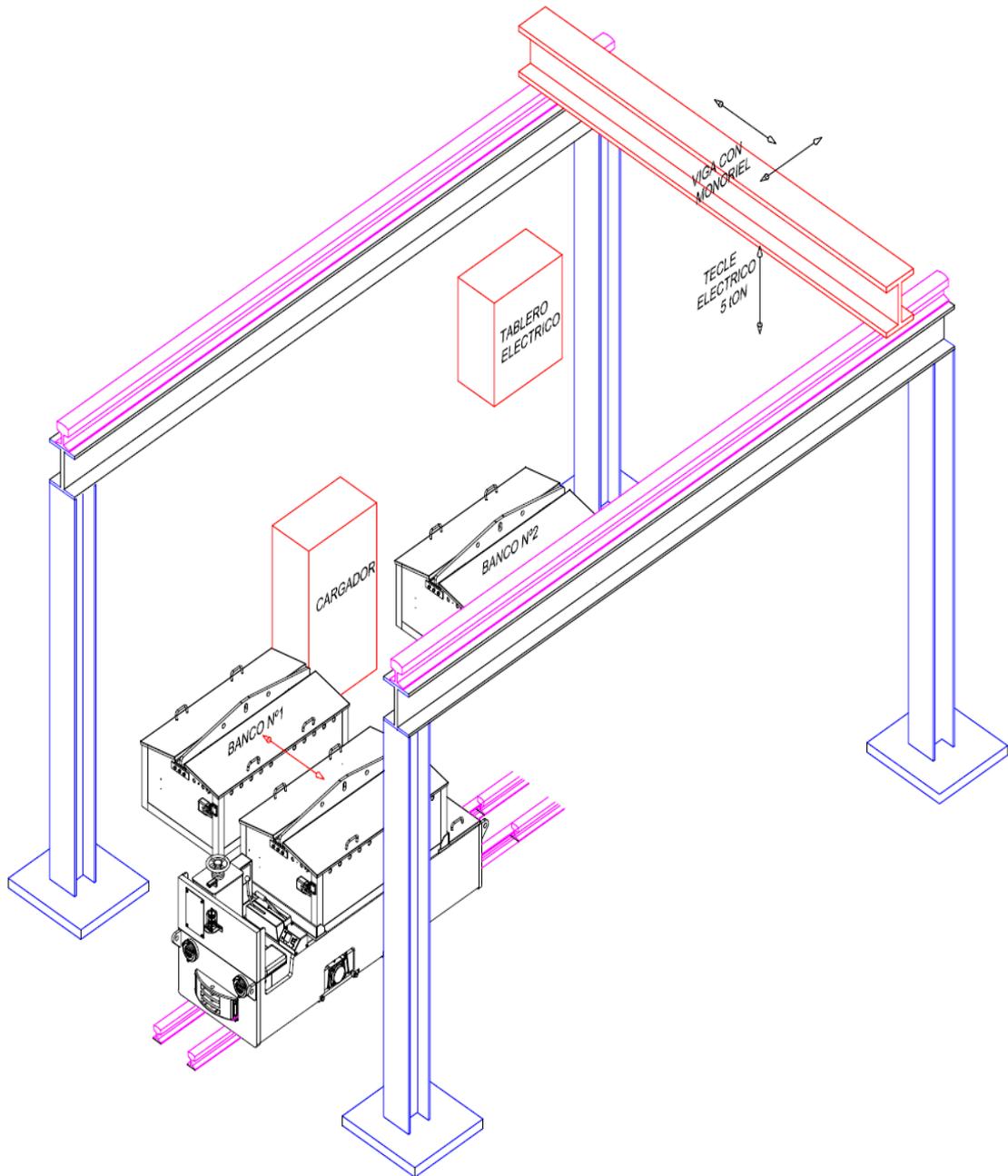


**Figura 46:** Método de minado (corte y relleno ascendente mecanizado – equipo de limpieza cautivo)

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).



**Figura 47:** Método de minado (corte y relleno ascendente convencional - limpieza con winche de arrastre de 20 HP)  
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniería U.O Arcata, 2014).



**Figura 48:** Puente grúa

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).



### CUESTIONARIO SOBRE LOCOMOTORAS

#### I INFORMACION DEL MATERIAL A EXTRAER

1.1 TIPO DE MATERIAL A EXTRAER:	Mineral / Desmorte
1.2 DENSIDAD:	2,50 t/m <sup>3</sup>
1.3 DENSIDAD DE MINERAL ROTO:	1,80 t/m <sup>3</sup>
1.4 DENSIDAD DE MINERAL INSITU:	2,50 t/m <sup>3</sup>
1.5 % DE ESPONJAMIENTO:	40%
1.6 TONELAJE A EXTRAER POR DIA:	400

#### II INFORMACION SOBRE LA VIA

2.1 UBICACIÓN DEL TUNEL:	Unidad Arcata
2.2 SECCION DEL TUNEL:	2,70 m x 2,70 m
2.3 TROCHA DE LA VIA:	Falta calcular
2.4 PESO DEL RIEL:	Falta calcular
2.5 ESTADO DE LA VIA:	Nueva (recien se va a implementar)
2.6 LONGITUD DE ACARREO:	1 500 m

2.7 INDIQUE SI LA VIA NORMALMENTE ESTA MOJADA O SECA:	Seca (Condiciones normales a 4,700 msnm)	
2.8 GRADIENTE MAXIMO A FAVOR DE LA CARGA:	LONGITUD DE GRADIENTE:	0,5% (5/1 000)
2.9 GRADIENTE MAXIMO EN CONTRA DE LA CARGA:	LONGITUD DE GRADIENTE:	No existe
2.10 RADIO MINIMO DE CURVATURA:		
2.11 SE EXTRAE EL MATERIAL A FAVOR DE LA GRADIENTE?	SI	
2.12 DATOS ADICIONALES:		

#### III INFORMACION SOBRE LOS CARROS MINEROS (VAGONETAS)

3.1 TIPO DE VAGONETAS:	No hay x Seleccionar
3.2 CAPACIDAD DE VAGONETA (m <sup>3</sup> o ft <sup>3</sup> ):	No hay x Seleccionar
3.3 PESO DE VAGONETA VACIA:	No hay x Seleccionar
3.4 PESO DE LA VAGONETA CARGADA:	No hay x Seleccionar
3.5 NUMERO DE CARROS DEL CONVOY (TREN):	No hay x Seleccionar
3.6 DIMENSIONES DEL CARRO (LARGO, ANCHO, DISTANCIA ENTRE EJES,ETC):	No hay x Seleccionar
3.7 TIPO DE COJINETE EN VAGONETA:	No hay x Seleccionar

3.8 TIEMPO QUE DEMORA EN CARGAR CADA CARRO MINERO:	Por definir
3.9 TIEMPO QUE DEMORA EN DESCARGAR CADA CARRO MINERO:	Por definir
3.10 TIPO DE GANCHO DE UNION (ACOPLAMIENTO):	Por definir
3.11 ALGUN DATO ADICIONAL:	

#### IV SERVICIO DE LOCOMOTORA

4.1 PESO TOTAL DE MATERIAL A EXTRAER POR DIA:	400 toneladas
4.2 NUMERO DE VIAJES POR DIA:	Por definir
4.3 NUMERO DE TURNOS POR DIA:	2 turnos de 10,5 horas nominal
4.4 DISTANCIA RECORRIDA POR TREN:	1 500 m
4.5 VELOCIDAD DE TRABAJO:	8 km/hora
4.6 HORAS EFECTIVAS DE USO LA LOCOMOTORA POR TURNO:	8 horas

#### V INFORMACION SOBRE LOCOMOTORA

5.1 TIPO DE LOCOMOTORA PREFERIDA:	<b>BATERIA</b>			
	(A) BATERIA	(B) TROLE	(C) COMBINADA	(D) DIESEL
5.2 PESO DE LOCOMOTORA PREFERIDA:	Por definir			
5.3 SE REQUIERE EQUIPO TRANSFORMADOR/RECTIFICADOR (LOCOMOTORAS DE TROLE)	No			
5.4 METODO PARA EXTRAER CONTENEDOR DE BATERIA (CAJA MADRE) - ELEVAR O RODAR	Rodar			

#### VI SUMINISTRO DE ENERGIA

6.1 VOLTAJE CABLE DE TROLE C.C. EXISTENTE:	No tenemos
6.2 SUMINISTRO C.A. DISPONIBLE PARA EQUIPO TRANSFORMADOR/RECTIFICADOR:	C.A
6.3 SUMINISTRO DISPONIBLE PARA EQUIPO DE CARGA DE BATERIA:	440 v / 60 Hz

#### VII SOBRE LA OPERACIÓN

7.1 SI EN EL NIVEL YA TIENEN ALGUNA LOCOMOTORA TRABAJANDO:	NO
7.2 LA LOCOMOTORA QUE TRABAJA EN ESE NIVEL QUE TONELAJE TIENE:	No aplica
7.3 CUANTOS CARROS JALA POR VIAJE:	No aplica
7.4 DISTANCIA ENTRE EJES DE LA LOCOMOTORA:	

**Figura 49:** Cuestionario sobre locomotora

FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).

### CUESTIONARIO SOBRE VAGONETAS MINERAS (CARROS MINEROS)

#### I INFORMACION SOBRE LOS CARROS MINEROS (VAGONETAS)

1.1 TIPO DE VAGONETAS (MODELO):	Por definir
1.2 CAPACIDAD DE VAGONETA (m3 o ft3):	Por definir
1.3 PESO DE VAGONETA VACIA:	Por definir
1.4 DISTANCIA ENTRE EJES:	Por definir
1.5 NUMERO DE CARROS SOLICITADOS:	Por definir
1.6 DIMENSIONES DEL CARRO (LARGO, ANCHO, DISTANCIA ENTRE EJES,ETC):	Por definir
1.7 TIPO DE COJINETE EN VAGONETA:	Por definir
1.8 DIAMETRO DE RUEDA (EN LA RODADURA)	Por definir
1.9 SECCION DEL TUNEL (ANCHO X ALTURA):	Por definir
1.10 TIPO DE GANCHO DE UNION (ACOPLAMIENTO):	Por definir
1.11 TROCHA DE LA VIA	Por definir
1.12 RADIO DE CURVATURA DE LA VÍA:	Por definir
1.13 TIPO DE VOLTEO (5TA. RUEDA, RETRACTIL, ETC):	Retractil
1.14 LIBRAJE DE RIELES	Por definir

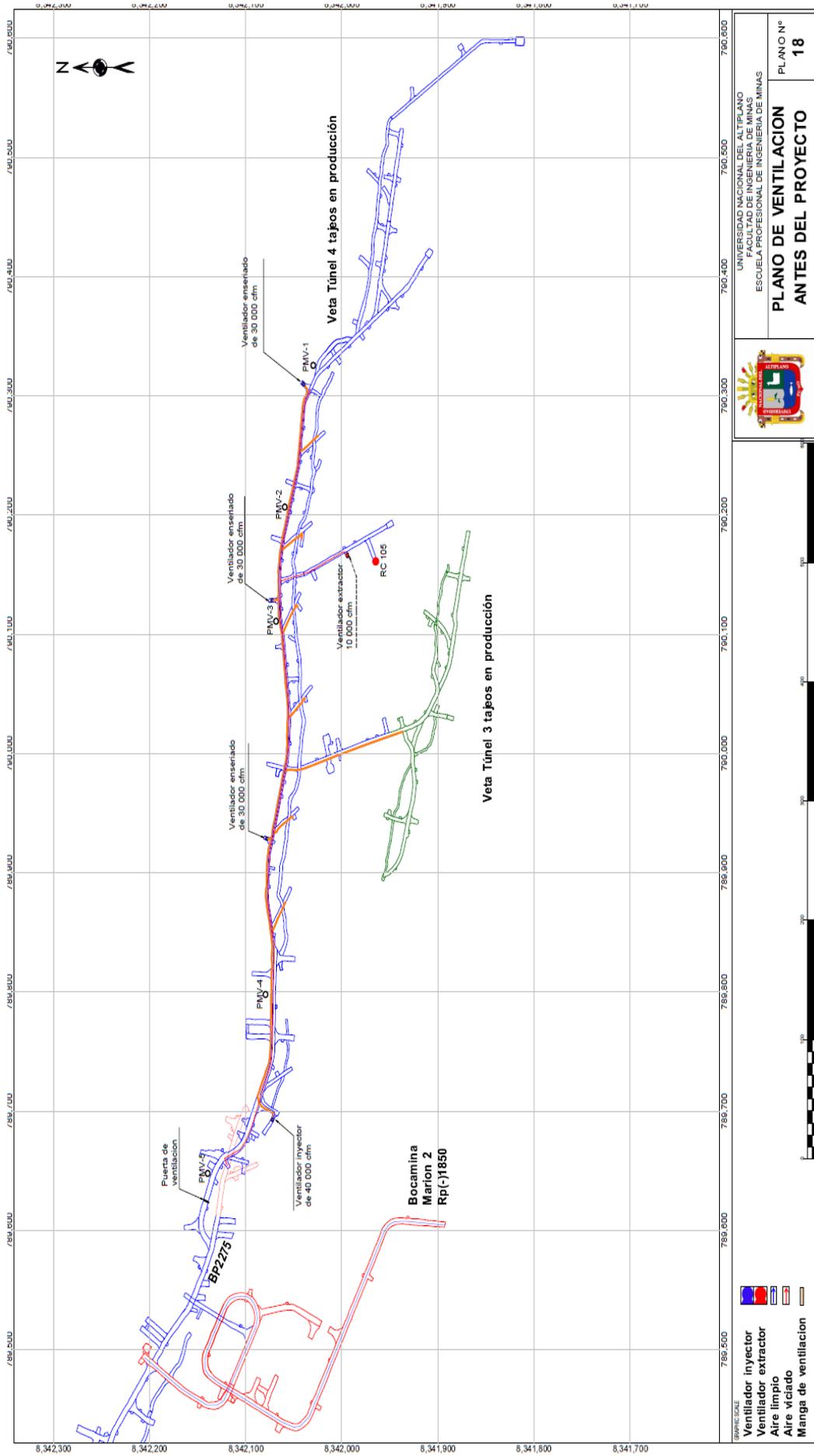
#### II INFORMACIÓN SOBRE EL MINERAL:

2.1 TIPO DE MATERIAL QUE SE EXTRAER:	Mineral y Desmonte
2.2 PESO DE MATERIAL POR C/CARRO. (DENSIDAD DEL MATERIAL A EXTRAER)	1,80 T/m3
2.3 SUMINISTRO DISPONIBLE PARA EQUIPO DE CARGA DE BATERIA:	440 v/ 60 Hz

**Figura 50:** Cuestionario sobre carros mineros

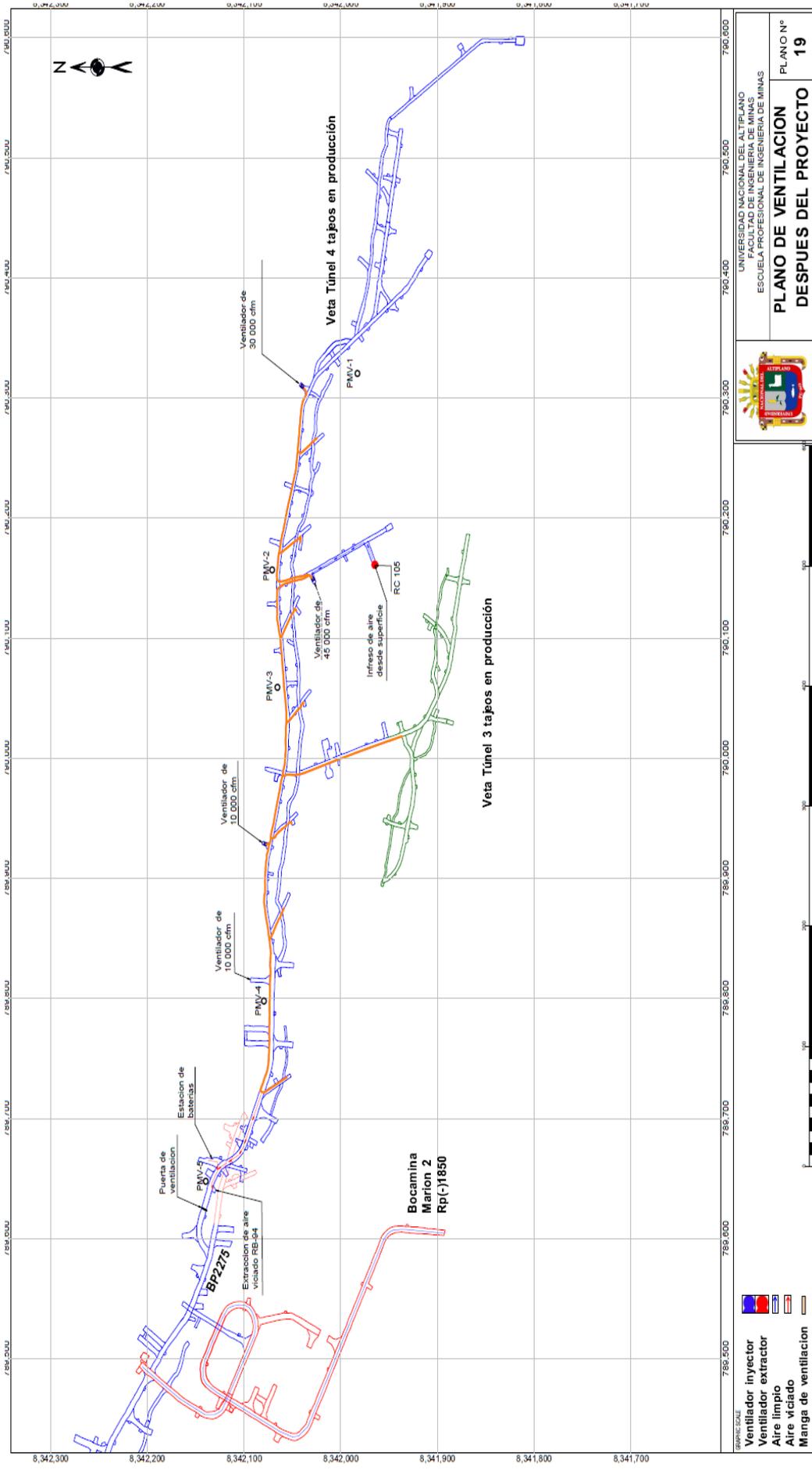
FUENTE: (Planeamiento e Ingeniera U.O Arcata, 2014).

Plano 18. Plano de ventilación antes del proyecto



FUENTE: (Servicios Mina U.O Arcata, 2015).

Plano 19. Plano de ventilación después del proyecto



FUENTE: (Servicios Mina U.O Arcata, 2015).

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS  
**PLANO DE VENTILACION**  
**DESPUES DEL PROYECTO**  
PLANO N°  
**19**

Ventilador inyector
   
Ventilador extractor
   
Aire limpio
   
Aire viciado
   
Manga de ventilacion





Carros mineros Gramby 60 Pies<sup>3</sup>



Plataforma para traslado de materiales



Tolva echadero de mineral



Guarda de Cobra



Pistón volteo de carros Mineros



*By Pass* Túnel 4



Sala de mandos hidráulico



Sala de mandos hidráulico



Locomotora Túnel 4 – Túnel 3



Ubicación de *pockets* desmonte y mineral