

Transporte de mineral con camión de 80 toneladas en mina subterránea y perforación con longitudes de 28 pies en labores rectas en Compañía Minera Condestable

Camila Yepez¹, Enrique Ramirez², Javier Cáceres³, Antonio Fernandez⁴

¹ Gerencia de Estudios Mineros. Bisa Ingeniería de Proyectos. Av. Andrés Reyes 338, 5to piso, oficina 05-109, San Isidro, Lima, Perú (cyopez@bisa.com.pe)

² Dirección de Operaciones. Compañía Minera Condestable, Av. Manuel Olguín 501, Oficina 803, Santiago de Surco, Lima (enrique.ramirez@spm.pe)

³ Gerencia de Operaciones. Compañía Minera Condestable, Av. Manuel Olguín 501, Oficina 803, Santiago de Surco, Lima (javier.caceres@spm.pe)

⁴ Subgerencia de Operaciones. Compañía Minera Condestable, Av. Manuel Olguín 501, Oficina 803, Santiago de Surco, Lima (antonio.fernandez@spm.pe)

RESUMEN

El sector minero es una de las pocas industrias que depende de los precios de mercado para producir. Por lo cual, mantener ventaja competitiva y garantizar la eficacia del proceso para alcanzar las metas propuestas por la empresa minera representan un desafío constante. Esta investigación tecnológica tiene como objetivo maximizar la eficacia en los procesos de transporte y perforación manteniendo los costos más bajos en su proceso productivo. La investigación presentó dos desafíos durante la etapa de prueba que fueron la especialización del personal y modificación progresiva de los equipos para cada actividad específica. Para la optimización de la flota de camiones, se modificó los camiones de una tolva a camiones-carreta con lo cual se duplicó la carga de las unidades de transporte de 43 toneladas a 75 toneladas y se obtuvo como resultado la reducción del costo de transporte en un 31% con un costo final de 0.24\$/tn-Km mejorando el rendimiento de los equipos con una reducción del tiempo muerto en 73% respecto a los camiones de una tolva. En cuanto al área de perforación, se mejoró el rendimiento de los metros de avance para labores de desarrollo al emplear longitudes de perforación de 24, 26 y 28 pies con Jumbos de 2 brazos en secciones de frente de 4.0m x 4.0 m y 4.0m x 5.0m alcanzando avances promedio de 6, 6.2 y 7.6 metros, respectivamente, durante las pruebas.

Palabras clave: industria minera, transporte minero, camión-carreta, perforación y voladura, labores de desarrollo.

1. Introducción

El sector minero es una actividad que depende del precio del mercado para concretar su cadena de valor

de Porter¹, por lo cual, el desafío está en mejorar el proceso productivo y la rentabilidad de la empresa minera, ya que mantener ventaja competitiva² y garantizar la eficacia del proceso para alcanzar las metas propuestas por la empresa requieren de continuas investigaciones tecnológicas, las cuales serán implementadas dentro del proceso productivo. La presente investigación se basa en específico en las áreas de transporte y voladura debido a los retos que estas áreas representan en la actualidad. La literatura³ demuestra que contar con el número óptimo de equipos de transporte para reducir los tiempos de espera y mantener los costos más bajos del mercado representan un desafío, por otro lado, en referencia a los metros de avance en labores de desarrollo se busca lograr la máxima eficiencia en los metros de avance y disminuir la cantidad de explosivo a utilizar al mejorar las mallas de perforación, de tal forma que se mantengan los costos más bajos. Por lo expuesto, este trabajo brinda soluciones a dichas interrogantes. En el área de transporte, la investigación llevada a cabo desde febrero de 2021 a la actualidad muestra que se reducen los tiempos muertos en 3h/día respecto a la utilización de equipos con una tolva que es de 11h/día evitando la formación de colas y, por consiguiente, un incremento en las horas efectivas a 21 h/día. Cabe mencionar que esta simplificación operativa reduce los costos a US\$ 0.24/tn-Km. En el área de perforación, durante la investigación desarrollada de junio a octubre de 2021, se destaca que, en operación, la perforación con 28 pies, en secciones de 4.0 m x 4.0 m, presenta un avance de 8.1 m con una eficiencia de 98%. Finalmente, el objetivo del presente trabajo es mantener los costos bajos e incrementar la productividad en la operación de Compañía Minera Condestable al modificar equipos de transporte, para aumentar la capacidad de carga, e incrementar los metros de avance al utilizar longitudes de 24, 26 y 28 pies para secciones de 4.0 m x 4.0 m y

4.0 m x 5.0 m mejorando el tiempo de perforación durante la operación.

2. Equipo de transporte

En relación con el equipo de transporte, se muestran las mejoras en los resultados operativos debido a las modificaciones implementadas.

2.1. Parámetros Técnicos

En la Tabla 1, se muestra los parámetros del camión carreta utilizado en las pruebas de 2021 y de 2022.

Tabla 1

Parámetros Técnicos del Camión-Carreta

Parámetros Técnicos		Camión-Carreta	
		Febrero 2021 - Actual	Febrero 2022 - Actual
Carga camión tolva	Kg	39,600	36,977
Carga remolque tolva	Kg	37,800	37,364
Carga útil	Kg	77,400	74,341
Volumen camión tolva	m ³	22.00	18.10
Volumen remolque tolva	m ³	21.00	18.30
Ancho	m	2.60	2.60
Alto	m	3.17	3.00
Largo total	m	17.02	17.27

Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos del modelo

Scania 620 y CNSAC

2.2. Modificaciones en el equipo

El modelo SCANIA 620 HP de una tolva fue modificado al modelo actual de camión-carreta en setiembre de 2021 y puesto a prueba en la operación desde febrero de 2022 a la actualidad. Las mejoras implementadas fueron las siguientes:

- Recorte de la altura de la tolva en 170 mm, resultando una altura final de tolva de 3.00 m con lo cual se evita posibles rozamientos con la labor. Esta modificación disminuye el peso del mineral transportado en 6.25% obteniendo una capacidad de carga de 75 toneladas.

El modelo Scania 620 HP camión-carreta presenta los siguientes valores nominales:

Tabla 2

Valores Nominales del Camión-Carreta

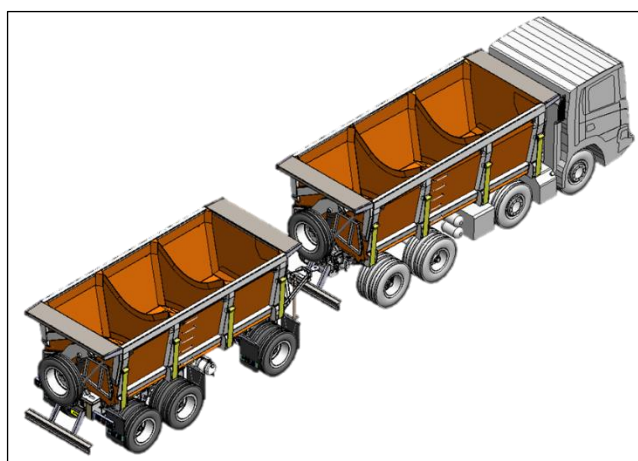
	Valores Nominales	
Distribución de cargas	Carga (Kg)	Volumen (m ³)
Carga	36,977	18.10
Remolque	37,364	18.30
Total	74,341	36.40

Fuente. Elaboración propia con datos obtenidos de las especificaciones técnicas del modelo SCANIA 620 HP

- La tolva del camión se desplaza horizontalmente 370 mm para mejorar la tracción del segundo eje (eje posterior) y evitar el patinaje en vía resbalosa. [Ver Anexo 1].
- Para mantener el equilibrio de las tolvas cargadas con mineral y evitar el ladeamiento y volcadura del camión-carreta, se ha dividido las tolvas en tres compartimentos:
 - Carreta llena: cargado con mineral los 3 compartimentos.
 - Carreta 2/3: Cargado con mineral los 2 compartimentos. Se iniciaron las pruebas con esta carga.

Figura 1

División de las tolvas del camión y remolque



Fuente. Elaboración propia

2.3. Construcción de infraestructura

En relación con el diseño de infraestructura, se muestran las mejoras en los resultados operativos debido a las modificaciones implementadas.

2.3.1. Construcción de chutes para carguío

Se desarrolló el diseño mecánico estructural y construcción de dos chutes tipo pantalón en el Nivel - 580 de la unidad minera Condestable debido a la doble tolva del camión-carreta. [Ver Anexo 2]

2.3.2. Adaptación de las vías

Para realizar las pruebas con el camión-carreta, se adaptaron las vías en superficie como en el interior de la mina.

2.3.2.1. Ruta utilizada para las pruebas en superficie mina

En esta sección, se muestran los parámetros técnicos mejorados y el recorrido del camión-carreta en superficie.

Tabla 3

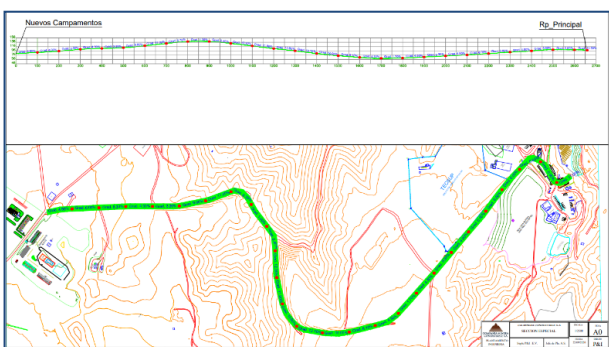
Parámetros Técnicos de la Gradiente en Superficie Mina

	Gradiente (%)
Valores de gradiente medidos topográficamente desde Trackless hacia el Comedor	12.3
	11.8
	10.9
	12.1
Promedio de gradiente	11.8

Fuente. Elaboración propia

Figura 2

Ruta en Superficie de Trackless al Comedor



Fuente. Elaboración propia

Figura 3

Ruta en superficie de Bocamina a Rampa 2000



Fuente. Elaboración propia

Figura 4

Ruta en superficie de Chancado a Rampa Fico



Fuente. Elaboración propia

2.3.2.2. Ruta utilizada para las pruebas en interior mina

En esta sección, se muestran los parámetros técnicos

mejorados y el recorrido del camión-carreta en interior mina.

Tabla 4

Parámetros Técnicos de la Ruta en Interior Mina

Fase	Nivel	Distancia Recorrida	Gradiente	Radio de Curvatura
2021*	-350	7.14 km	12%	26.00 m
2022**	-580	8.14 km	12%	30.00 m
2023	-700	10.00 km	10%	30.00 m

Fuente. Elaboración propia

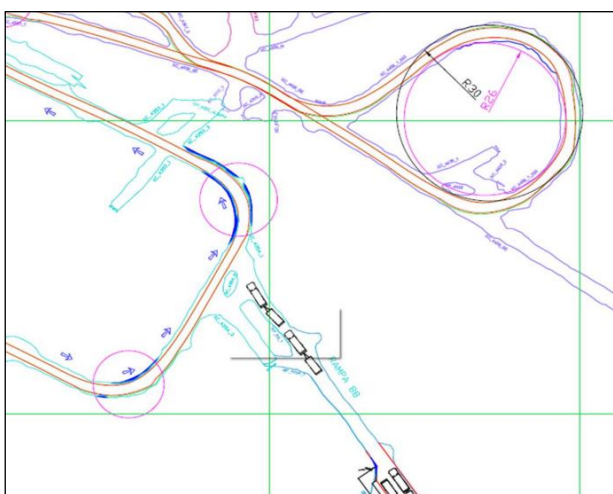
* Fase implementada a mediados de 2021 como laboreo general y concluida en 2022.

** Fase implementada a mediados de 2022 como laboreo general y se concluirá en 2023.

- Las distancias recorridas son desde el nivel indicado hasta el área de chancado en superficie mina.
- En interior mina las labores por donde transita el camión-carreta son de sección 5.5 m x 4.5 m y en vías curvas el ancho de vía es de 7 metros con radios de giro de 26.0 m para radio interno y, 30.0 m para radio externo. Los radios de curvatura se incrementan a 30.0 m para mayor holgura al camión-carreta.

Figura 5

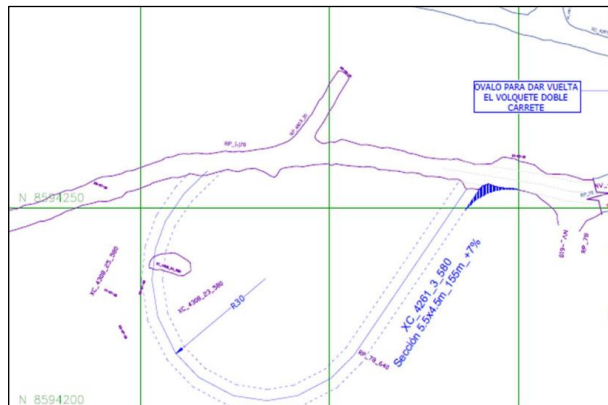
Radio de curvatura de 26.0 m en el Nivel -350



Fuente. Elaboración propia con datos de ZIOOM

Figura 6

Radio de curvatura de 30.0 m en el Nivel -580



Fuente. Elaboración propia con datos de ZIOOM

Para mayor detalle sobre las vías, ver Anexo 3.

2.4. Pruebas realizadas

El primer modelo de camión-carreta se diseñó en setiembre del 2020 y fue puesto a prueba según se visualiza en la siguiente tabla:

Tabla 5

Periodos de Pruebas realizados por el Camión Carreta

Zonas de Prueba	Desde – Hasta
Superficie mina	Setiembre de 2020 hasta febrero de 2021
Interior mina	Febrero de 2021 hasta la actualidad

Fuente. Elaboración propia

Tabla 6

Indicadores de Rendimiento en Pruebas Realizadas

Indicadores	Camión-Carreta
Potencia	HP 620
Tracción	8x4
Consumo de combustible	Gal/h 9.30
Velocidad de subida c/carga	Km/h 8.94
Velocidad de bajada s/carga	Km/h 19.00
Velocidad horizontal c/carga	Km/h 16.53
Velocidad horizontal s/carga	Km/h 22.29

Fuente. Elaboración propia

La ruta por la rampa 2000 que conecta el chute con la chancadora, es exclusiva para el camión-carreta, lo cual minimiza el tiempo de viaje e incrementa el rendimiento como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 7

Indicadores Según los Periodos Señalados

Indicadores		Pruebas Realizadas	
		Febrero 2021	Febrero 2022
Duración de viaje*	H	1.16	1.09
Rendimiento promedio	TM/h	62.00	65.87
Eficiencia nominal capacidad de carga	%	90.62	96.58
Toneladas/viaje**	TM/viaje	72.50	71.80

Fuente. Elaboración propia

Tabla 8

Indicadores de Costos en Pruebas Realizadas

Descripción		Camión-Carreta	
		Febrero 2021	Febrero 2022
Costo de implementación remolque tolva*	U\$\$/tolva	125,900	125,900
Costo de mantenimiento (1,022 horas)	U\$\$/h	3.69**	12.33***
Costo de transporte	U\$\$/Tn-Km	0.24	0.24
Costo de llantas	U\$\$/TM	0.034	0.011
Costo de neumáticos	U\$\$/h	1.022	0.71

Fuente. Elaboración propia

Nota:

**Costo de mantenimiento a 1,022 horas

***Costo de mantenimiento a 2,149 horas

*Los costos de implementación de la tolva del remolque se subdividen como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9

Costos divididos de la Implementación del Remolque

Descripción de los Costos de Implementación Remolque Tolva	Costos
Costo de primera tolva	US\$ 46,000
Costo carreta remolque (llantas y aros – 2da tolva)	US\$ 79,900
Costo total* (No incluye IGV)	US\$ 125,900

Fuente. Elaboración propia

*Nota: *No incluye el costo del tracto US\$ 177,000*

3. Equipo de perforación

Se mostrarán los resultados de las pruebas y las características de las mallas con las que se ha trabajado y los resultados alcanzados tanto en etapa de prueba como en operación.

3.1. Pruebas realizadas

Para la realización de estas pruebas, se adquirió un jumbo de 28 pies con 2 brazos utilizando combinaciones de barras para lograr la longitud deseada de los taladros a 24, 26 y 28 pies.

Luego de haber realizado las pruebas en los frentes con longitudes de 20 pies, usando un jumbo de un brazo, se observó que se tenía un mayor tiempo en la perforación, por lo tanto, se generaba un incremento en el ciclo de avance de los frentes, ya que el tiempo de perforación era de 4.2 horas. Por tal motivo, para estas pruebas, se decide implementar un jumbo frontonero de dos brazos con vigas de 28 pies, con el objetivo de reducir el tiempo de perforación.

En estas pruebas, se realizó la perforación con barras de 24 y 28 pies.

3.3.1 Perforación con barras de 24 pies

Para la realización de estas pruebas, se perfora 24 pies usando los siguientes aceros:

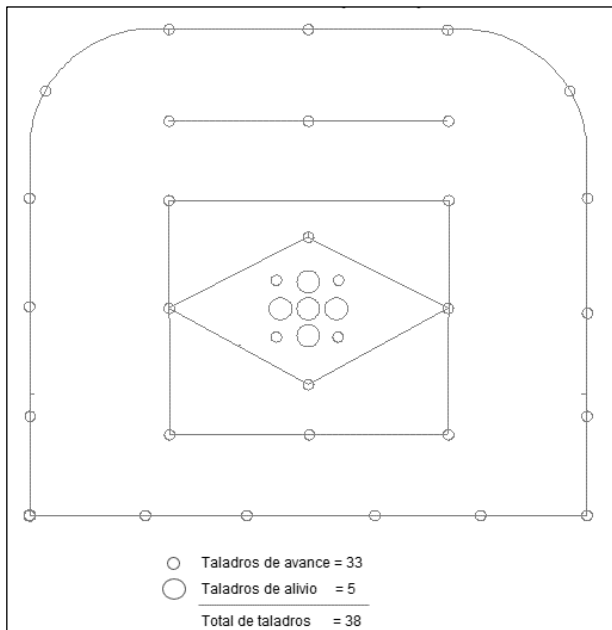
- Barra TC- 35 de 12 pies (2 barras por cada brazo).
- Shank TC-35 (1 shank por cada brazo).
- Brocas TC-35 de 54 mm utilizando 10 unidades (5 por cada brazo).

- Broca rimadora TC-35 de 102 mm de diámetro (1 por cada brazo).

Se incrementa los taladros de alivio utilizando cinco en el arranque debido al incremento de longitud de perforación. El tiempo obtenido es de 3.40 horas por frente de 24 pies.

Figura 7

Malla de Perforación en Secciones de 4.00x4.00 m para Frente de 24 pies



Fuente. Elaboración propia

Para conocer a detalle los parámetros de perforación de 24 pies en sección 4.0 m x 4.0 m, ver Anexo 4.

3.3.3. Perforación con barras de 28 pies

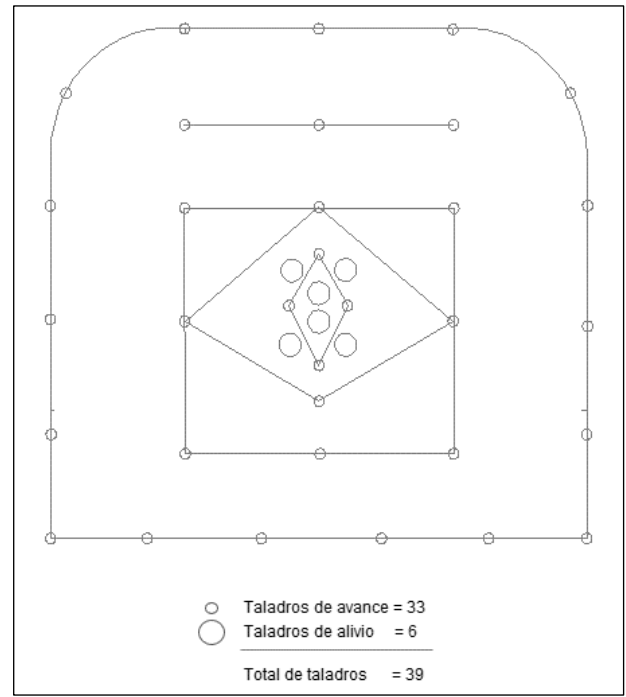
En la siguiente fase de pruebas, se perfora 28 pies usando los siguientes aceros:

- Barra TC- 35 de 14 pies (2 barras por cada brazo).
- Shank TC-35 (1 shank por cada brazo).
- Brocas TC-35 de 54 mm utilizando 10 unidades (5 por cada brazo).
- Broca rimadora TC-35 102 mm (1 por cada brazo).

Se incrementa los taladros de alivio utilizando seis, debido al incremento de longitud de perforación. El tiempo obtenido es de 3.40 horas por frente de 28 pies.

Figura 8

Malla de Perforación en Secciones de 4.00x4.00 m para Frente de 28 pies



Fuente. Elaboración propia

Actualmente, se están realizando nuevas pruebas con un nuevo tipo de arranque “rompe boca” rimado y cargado.

Para conocer a detalle los parámetros de perforación de 28 pies en sección 4.0 m x 4.0 m, ver Anexo 5.

4. Resultados

En esta sección, se analizarán los resultados obtenidos en esta sección.

4.1. Equipo de transporte

Los promedios mostrados en la Tabla 10 fueron calculados a partir de los valores obtenidos luego de haberse culminado con la curva de aprendizaje de los conductores del camión-carreta, en una etapa de mayor estabilidad. Durante la fase de operación, de manera similar, se ha alcanzado una eficiencia de 97% y un rendimiento de 66 tn/h.

Tabla 10

Indicadores del camión-carreta

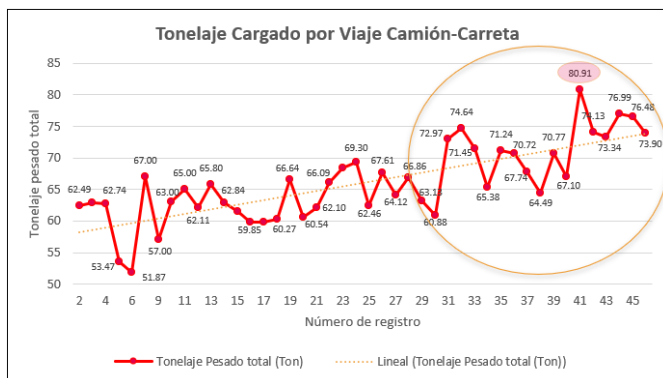
Indicadores		Promedio
Promedio horas de viaje	h	1.09
Kilómetro recorrido	Km	13.53
Promedio tonelaje	tn	72.00
Rendimiento	tn/h	66.25
Eficiencia	%	96.00

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 9, se muestra la gráfica con la tendencia incremental en el tonelaje cargado por viaje originada por la curva de aprendizaje y las mejoras implementadas en las vías y en el camión-carreta.

Figura 9

Evolución del Tonelaje de 26 de abril al 12 de junio de 2021



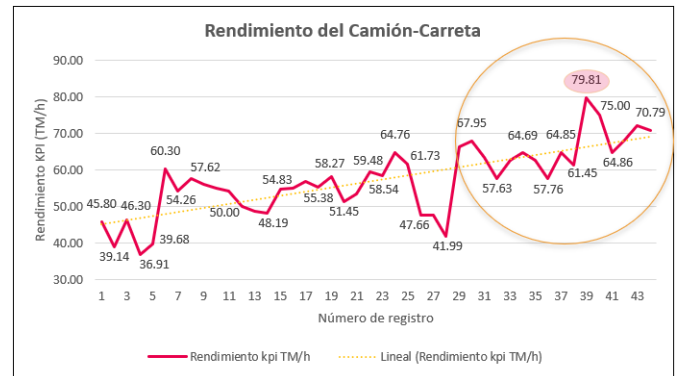
Fuente. Elaboración propia

El tonelaje cargado presenta un crecimiento progresivo en la carga desde 52 hasta 77 toneladas realizándose las pruebas en 3 fases:

- Fase 1: pruebas en superficie con orientación de un conductor especializado de RMB Sateci siendo el tonelaje promedio cargado de 61.24 toneladas.
- Fase 2: con rampa ampliada obteniéndose un tonelaje promedio cargado de 64.16 toneladas.
- Fase 3: posterior a la curva de aprendizaje con tendencia de aumento en el rendimiento obteniéndose un tonelaje promedio cargado de 72.02 toneladas.

Figura 10

Evolución del Rendimiento de 26 de abril al 12 de junio de 2021



Fuente. Elaboración propia

El rendimiento presenta un aumento progresivo desde 37 tn/h hasta 75 tn/h.

En la prueba participaron tres conductores que tuvieron diferentes rendimientos presentándose las siguientes condiciones:

- Tonelaje variable debido a la fragmentación variable del mineral.
- Presencia de polvo que dificultó la visibilidad del conductor.
- Habilidad, seguridad y pericia variable de los tres colaboradores en el chute en la distribución del llenado de mineral en las dos tolvas del camión.

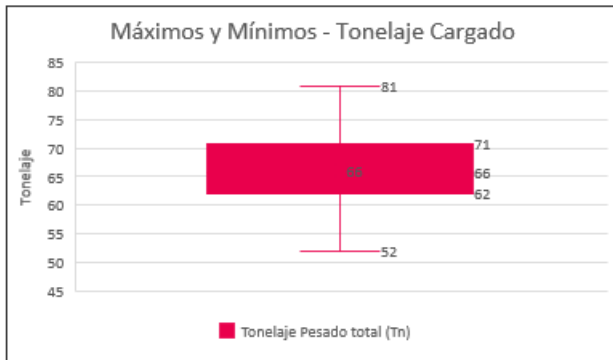
Se mejoró por tramos la vía exclusiva construyéndose losas de concreto con mallas de fierro corrugado y uso de agregados con polímero.

Los 46 datos obtenidos fueron registrados del 26 de abril al 12 de junio de 2021. A partir de estos, se identificó los valores máximos y mínimos para tonelaje y el rendimiento que se muestran en la Figura 11 y en la Figura 12.

El tonelaje promedio general, desde el inicio de la curva de aprendizaje de los conductores del camión-carreta, es de 66 toneladas; y el tonelaje promedio, luego de superar la curva de aprendizaje por los conductores del camión-carreta, incrementa a 72 toneladas. Ver Figura 11.

Figura 11

Máximos y Mínimos del Tonelaje Cargado

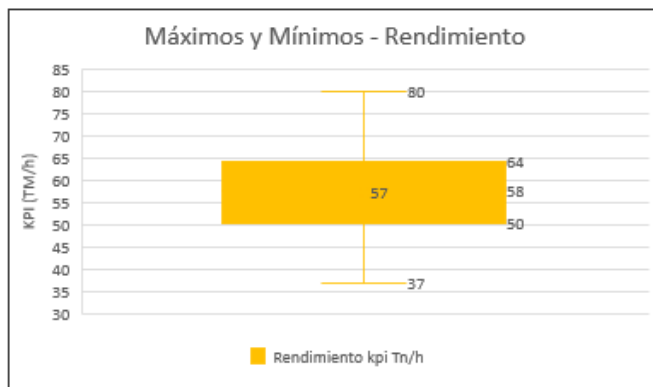


Fuente. Elaboración propia

El rendimiento promedio general, desde el inicio de aprendizaje de los conductores del camión-carreta, es de 57 tn/h; y el rendimiento promedio, luego de superar la curva de aprendizaje por los conductores del camión-carreta, incrementa a 66.25 tn/h. Ver Figura 12.

Figura 12

Máximos y Mínimos del Rendimiento



Fuente. Elaboración propia

4.2. Equipo de perforación

Para lograr las longitudes de perforación de 24 y 28 pies, se utiliza el jumbo de 2 brazos de 28 pies. Durante la etapa de pruebas, el rendimiento de perforación por 28 pies presenta un menor desempeño respecto a las longitudes de 24 pies debido a la etapa de aprendizaje, familiarización y confianza del operador de Jumbo. Sin embargo, una vez superada la fase de aprendizaje, la

perforación de 28 pies presenta mejores resultados en el tiempo de perforación y una eficiencia del 98%.

En la Tabla 11, se muestra los resultados de las pruebas realizadas en junio de 2021 comparando la perforación con 24 y 28 pies. Los resultados fueron mejores con 24 pies.

Tabla 11

Indicadores para Perforaciones de 24 y 28 pies

Indicadores		24 pies Jun 2021	28 pies Jun 2021
Eficiencia de disparo	%	91.00	88.00
Rendimiento de perforación	mp/h	63.00	75.00
Longitud efectiva real	m/frente	6.10	6.10
Factor de carga	Kg/m	57.70	63.70
Limpieza de frente	Tn/h	116.30	164.80

Fuente. Elaboración propia

4.2.1. Perforación de 28 pies

A continuación, se muestra para la perforación con 28 pies que se obtiene mejores resultados en el turno día.

Tabla 12

Indicadores para Perforación de 28 pies

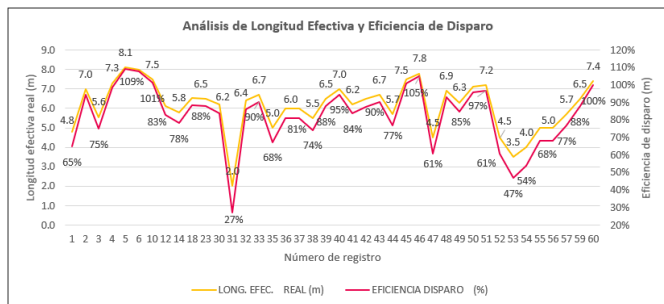
Del 02 de junio al 16 de octubre de 2021		Turno Día	Turno Noche
Cantidad de datos analizados		22	11
Objetivo de avance: 7.4 m			
Eficiencia de disparo	%	87.37	76.72
Longitud efectiva real	m av	6.50	5.70
Longitud de taladro perforado	m	7.40	7.40
Tiempo de perforación	h	4.20	4.20
Rendimiento de perforación	mp/h	76.10	73.80
Factor de carga	Kg/m av	61.30	66.60

Fuente. Elaboración propia

La eficiencia de disparo se ha calculado con la siguiente fórmula: (longitud real)/(longitud perforada)x100%. Se trabaja en secciones de 4.0m x 4.0m (cruceos y rampas-cruceos) y 5.0m x 4.0m (rampas).

Figura 13

Análisis de Longitud Efectiva y Eficiencia de Disparo para Perforación de 28 pies

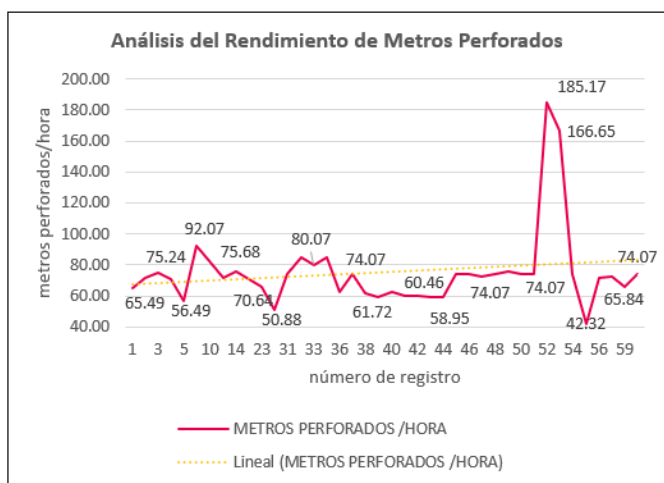


Fuente. Elaboración propia

La longitud efectiva y la eficiencia de disparo presentan un comportamiento análogo en la gráfica. Así, en promedio la longitud efectiva es de 6.5 m y la eficiencia de disparo promedio es de 88%.

Figura 14

Análisis del rendimiento de Metros Perforados para Perforación de 28 pies

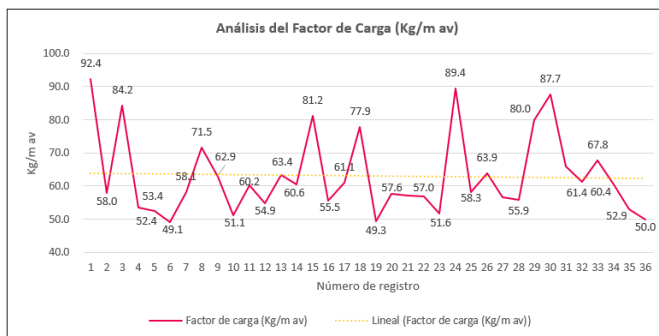


Fuente. Elaboración propia

Según la data analizada y graficada en la Figura 14, el rendimiento promedio de perforación con 28 pies es de 69.80 mp/h.

Figura 15

Análisis de Factor de Carga para Perforación de 28 pies



Fuente. Elaboración propia

En la Figura 15, el factor de carga promedio obtenido es de 59.80 kg/m avance. La tendencia del factor de carga se mantiene entre 59 y 64 kg/m avance considerando que la longitud perforada es de 7.4 m y la cantidad de taladros por frente varía de 40 a 41 en la etapa de aprendizaje.

Posterior a la etapa de aprendizaje y pruebas, durante la operación utilizando la perforación con 28 pies, en los niveles -700 y -730, con secciones de 4.0 m x 4.0 m de roca buena (RMR 51-60), se obtiene un avance de 8.1 m, lo que se traduce en una eficiencia de 98%.

4.2.2. Perforación de 24 pies

A continuación, se muestran los indicadores que se obtienen de las pruebas para la perforación de 24 pies.

Tabla 13

Indicadores para Perforación de 24 pies

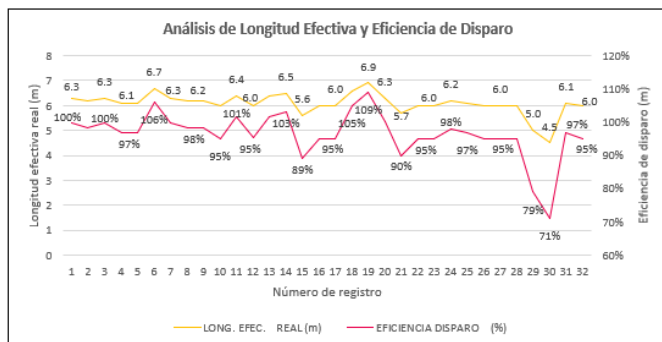
Del 26 de junio al 16 de octubre de 2021	Turno Día	Turno Noche
Cantidad de datos analizados	17	18
Objetivo de avance: 6.3 m		
Eficiencia de disparo	%	83 99
Longitud efectiva real	m av	5.9 6.2
Longitud de taladro perforado	m	6.3 6.3
Tiempo de perforación	h	4.2 4.3
Rendimiento de perforación	mp/h	64.2 62.6
Factor de carga	Kg/m av	57.8 57.6

Fuente. Elaboración propia

La eficiencia de disparo se ha calculado con la siguiente fórmula: (longitud real)/(longitud perforada)x100%. Se trabaja en secciones de 4.0m x 4.0m (cruceos y rampas-cruceos) y 5.0m x 4.0m (rampas).

Figura 16

Análisis de Longitud Efectiva y Eficiencia de Disparo para Perforación de 24 pies

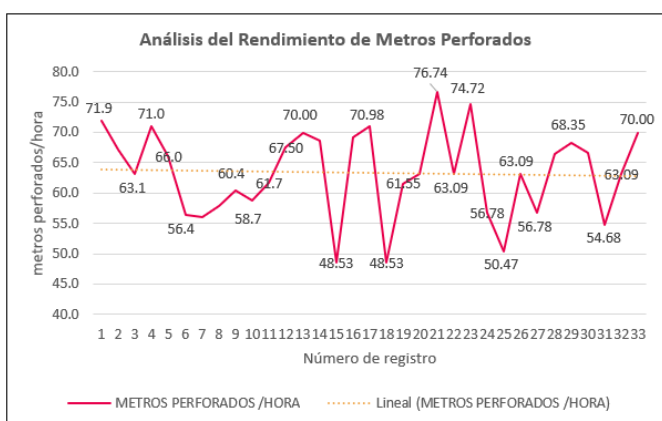


Fuente. Elaboración propia

A partir de la Figura 16, la longitud promedio efectiva es 6 m y la eficiencia de disparo promedio es 93%.

Figura 17

Análisis del rendimiento de Metros Perforados para Perforación de 24 pies

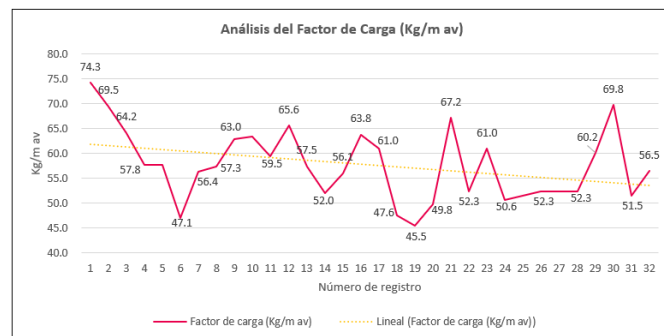


Fuente. Elaboración propia

Según la data analizada y graficada en la Figura 17, el rendimiento promedio de perforación con 24 pies es 63.30 mp/h.

Figura 18

Análisis de Factor de Carga para Perforación de 24 pies



Fuente. Elaboración propia

El factor de carga decrece debido a la menor cantidad de explosivo utilizado porque se reduce la malla de perforación de 43 a 40 taladros por frente.

Posteriormente, luego de la etapa de aprendizaje y pruebas, se pasa a la etapa de operación con perforación de 24 pies, en secciones de 4.0 m x 4.0 m de roca buena (RMR 51-60), obteniéndose una eficiencia de disparo de 93%.

5. Discusión

5.1. Equipo de transporte

La realización de la presente investigación en el área de transporte es producto de un trabajo en sinergia entre Compañía Minera Condestable; CNSAC, empresa especializada en transporte de camiones; SATECI, en la construcción de tolva y carreta; Scania, en la provisión del volquete V8 R620 y BISA Ingeniería de Proyectos en el análisis de datos y evaluación de resultados.

Durante el proceso, se observó aspectos importantes que fueron discutidos por los especialistas del equipo:

- Reducción de tiempos muertos (3 h/día) en 73% respecto a la utilización de equipos con una tolva (11 h/día).
- Evita la formación de colas e incrementa las horas efectivas a 21 h/día.
- Menor número de camiones en la flota.
- Reducción de costos a US\$ 0.24/tn-Km.
- Simplificación operativa.
- Retrasa gastos en construcción de nuevas estructuras (piques).

5.2. Equipo de perforación

La realización de la presente investigación en el área de perforación es producto de un trabajo en sinergia entre Compañía Minera Condestable y BISA Ingeniería de Proyectos.

Durante el proceso, se observó aspectos importantes que fueron discutidos por los especialistas del equipo:

- Reducción de tiempos muertos en 7% de 16.8 a 15.6 horas.
- Innovación de las longitudes de perforación con 24 y 28 pies para frentes rectos en labores de desarrollo y preparación.
- Mayor utilización del scoop que genera un incremento de horas efectivas en 40%, respecto al estándar nacional de 3 a 4.2 horas de trabajo efectivo por turno de 10 horas, en Compañía Minera Condestable.
- Especialización del personal en las actividades del ciclo de avance de perforación y voladura.

6. Conclusiones

En esta sección, se presentan las conclusiones que se extraen del análisis y discusión de los datos presentados en la investigación.

6.1. Equipo de transporte

- Las pruebas se realizaron en tres etapas:
 - Etapa de enseñanza al personal (conductores y colaboradores del chute), siendo la carga promedio transportada de 61 toneladas.
 - Etapa de aprendizaje del personal (conductores y colaboradores del chute), siendo la carga promedio transportada de 64 toneladas.
 - Etapa de especialización del personal (conductores y colaboradores del chute), se observa un crecimiento progresivo en la carga transportada por viaje siendo, en promedio, de 72.5 toneladas.

Finalmente, durante la fase de operación, se logra el objetivo de transportar carga con una eficiencia de 97% y un rendimiento de 66 tn/h.

- El costo de transporte del camión-carreta es 0.24 \$/tn-Km lo cual se encuentra 34% debajo del costo de camiones de una tolva (0.35 \$/tn-Km, Julio 2021) con la misma capacidad (75 toneladas).

- El costo de implementación del camión-carreta es de US\$ 302,900 (incluye costo de tracto, tolva y remolque) que es menor al costo de adquisición de un camión de una tolva, de la misma capacidad. Lo beneficioso del camión-carreta es que se adapta a la dimensión de las labores subterráneas por las que transita actualmente (sección de 5.0m x 4.0m).

6.1. Equipo de perforación

- Durante la etapa de operación, posterior a la curva de aprendizaje de los operadores, se obtiene una mejora en los resultados del tiempo de perforación para las longitudes de 24 y 28 pies, respecto a la perforación de 20 pies (investigación previa):
 - La longitud de 24 pies en secciones de 4.0 m x 4.0 m, donde se perforan 33 taladros de arranque y 5 taladros de alivio, en una roca buena con un RMR de 51 a 60, el tiempo de perforación es de 3.4 horas y una eficiencia de 93%.
 - La longitud de 28 pies en secciones de 4.0 m x 4.0 m, donde se perforan 33 taladros arranque y 6 taladros de alivio, en una roca buena con un RMR de 51 a 60, el tiempo de perforación es de 3.4 horas y una eficiencia de voladura del 98%.

Se concluye que la perforación de 28 pies presenta un mejor tiempo de perforación respecto al número de taladros perforados y mayor eficiencia, con un 98%.

- Las perforaciones para longitudes de 24 y 28 pies se realizaron con el jumbo frontonero de dos brazos de 28 pies, así el costo de perforación se encuentra en 1.21 \$/mp para las dos longitudes de perforación debido al uso del mismo acero.
- El costo de mantenimiento para el jumbo de 28 pies de dos brazos es de 0.65 \$/mp.

Agradecimientos

A las empresas y sus colaboradores que participaron de esta investigación y creyeron posible romper los esquemas de lo establecido poniendo a disposición sus recursos en el proceso de mejora de los equipos.

A los operadores quienes tuvieron la perseverancia y actitud de retarse a sí mismos logrando especializarse y buscando la mejora continua en cada viaje y en cada disparo.

Referencias

¹*La importancia de la cadena de valor de Porter en la minería.* (s/f). Edu.pe. Recuperado el 15 de junio de 2022, de <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/la-importancia-de-la-cadena-de-valor-de-porter-en-la-mineria>

Perfil profesional

Camila Yépez es Ingeniera de Minas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, con maestría en Gestión de Proyectos de ESAN y la Universidad Ramón Lull de España. Tiene 24 años de experiencia en el sector minero; actualmente, es Gerente de Estudios Mineros en BISA Ingeniería de Proyectos, con experiencia en ventilación y servicios auxiliares de operaciones mineras, productividad, diseño, costos y planeamiento de mina, ha participado en la reorganización de procesos en diversas unidades productivas.

Autor: Camila Yépez Silva Santisteban

Cargo: Gerente de Estudios Mineros

Empresa: BISA Ingeniería de Proyectos S.A.

Correo corporativo: cyepuz@bisa.com.pe

Correo personal: cayepuzs@gmail.com

Teléfono fijo: 511 6266200

Celular: 51 992768177

Dirección: Av. Andrés Reyes 338, 5to piso, oficina 05-109, San Isidro, Lima

Perfil profesional

Enrique Ramirez es graduado como Ingeniero de Minas en MONTANA COLLEGE OF MINERAL, tiene más de 38 años de experiencia en operaciones de minería subterránea; ocupó altos cargos en GLENCORE INTERNACIONAL, VOLCAN COMPAÑÍA MINERA, PAN AMERICAN SILVER; actualmente es Director de Operaciones en SOUTHERN PEAKS MINING. Fue director de la Sociedad Nacional de Minería y del Instituto de Seguridad Minera.

Coautor: José Enrique Ramirez Ostolaza

Cargo: Director de Operaciones en Southern Peaks Mining

Empresa: Compañía Minera Condestable S.A.

Correo corporativo: enrique.ramirez@spm.pe

Correo personal: jeramirezo@hotmail.com

Teléfono fijo: 511 2005000

Celular: 51 975050414

Dirección: Av. Manuel Olguín 501, Oficina 803, Santiago de Surco, Lima

Perfil profesional

Javier Cáceres es Ingeniero de Minas con más de 25 años de experiencia en el sector minero. Ha laborado en diversas empresas de Perú y del extranjero.

Coautor: Javier Caceres Corzo

Cargo: Gerente de Operaciones

Empresa: Compañía Minera Condestable S.A.

Correo corporativo: javier.caceres@spm.pe

Teléfono fijo: 511 2005000

Celular: 51 989112847

Dirección: Av. Manuel Olguín 501, Oficina 803, Santiago de Surco, Lima

Perfil profesional

Antonio Fernandez es Ingeniero con más de 25 años de experiencia en el sector minero. Ha laborado en diversas empresas del sector minero.

Coautor: Antonio Oscar Fernandez Marín

Cargo: Subgerente de Operaciones

Empresa: Compañía Minera Condestable S.A.

Correo corporativo: antonio.fernandez@spm.pe

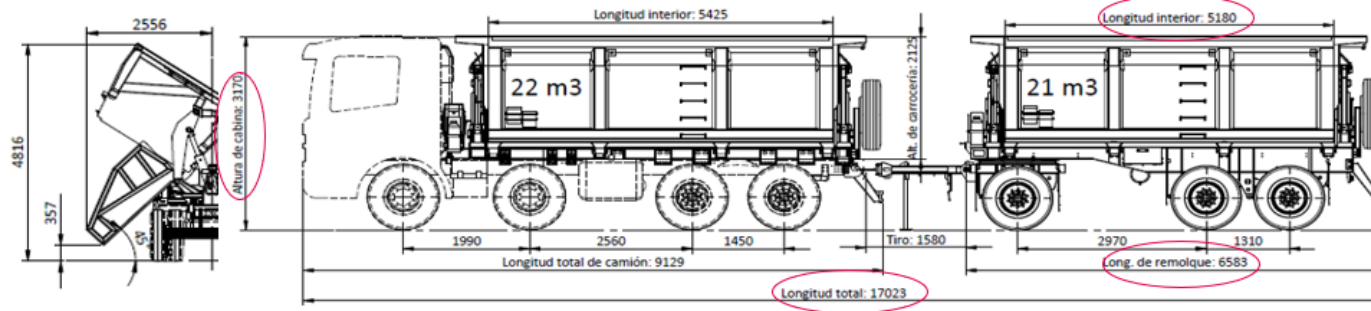
Teléfono fijo: 511 2005000

Celular: 51 962343602

Dirección: Av. Manuel Olguín 501, Oficina 803, Santiago de Surco, Lima

Anexo 1

Primer modelo adaptado a camión Carreta



Segundo modelo (modelo actual) adaptado a camión Carreta

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS CAMIÓN	E.D. (KG)	E.P. (KG)	TOTAL (KG)
PESO SIN CARGA	10660	12040	22700
PESO CARGA	9633	27344	36977
TOTAL	20293	39384	59677
CAPACIDAD TÉCNICA	20000	36000	56000
SOBRECARGA TÉCNICA	293	3384	3677
PORCENTAJE (%)	1.5	9.4	6.6

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS REMOLQUE	E.D. (KG)	E.P. (KG)	TOTAL (KG)
PESO SIN CARGA	5460	8640	14100
PESO CARGA	9289	28075	37364
TOTAL	14749	36715	51464
CAPACIDAD TÉCNICA	16000	32000	48000
SOBRECARGA TÉCNICA	-1251	4715	3464
PORCENTAJE (%)	-7.8	14.7	7.2

MANIOBRABILIDAD CON CARGA(%)	
	34.0

RESUMEN DE CARGAS CAMION		
VOLUMEN	18.1	m3
CARGA	36977	kg

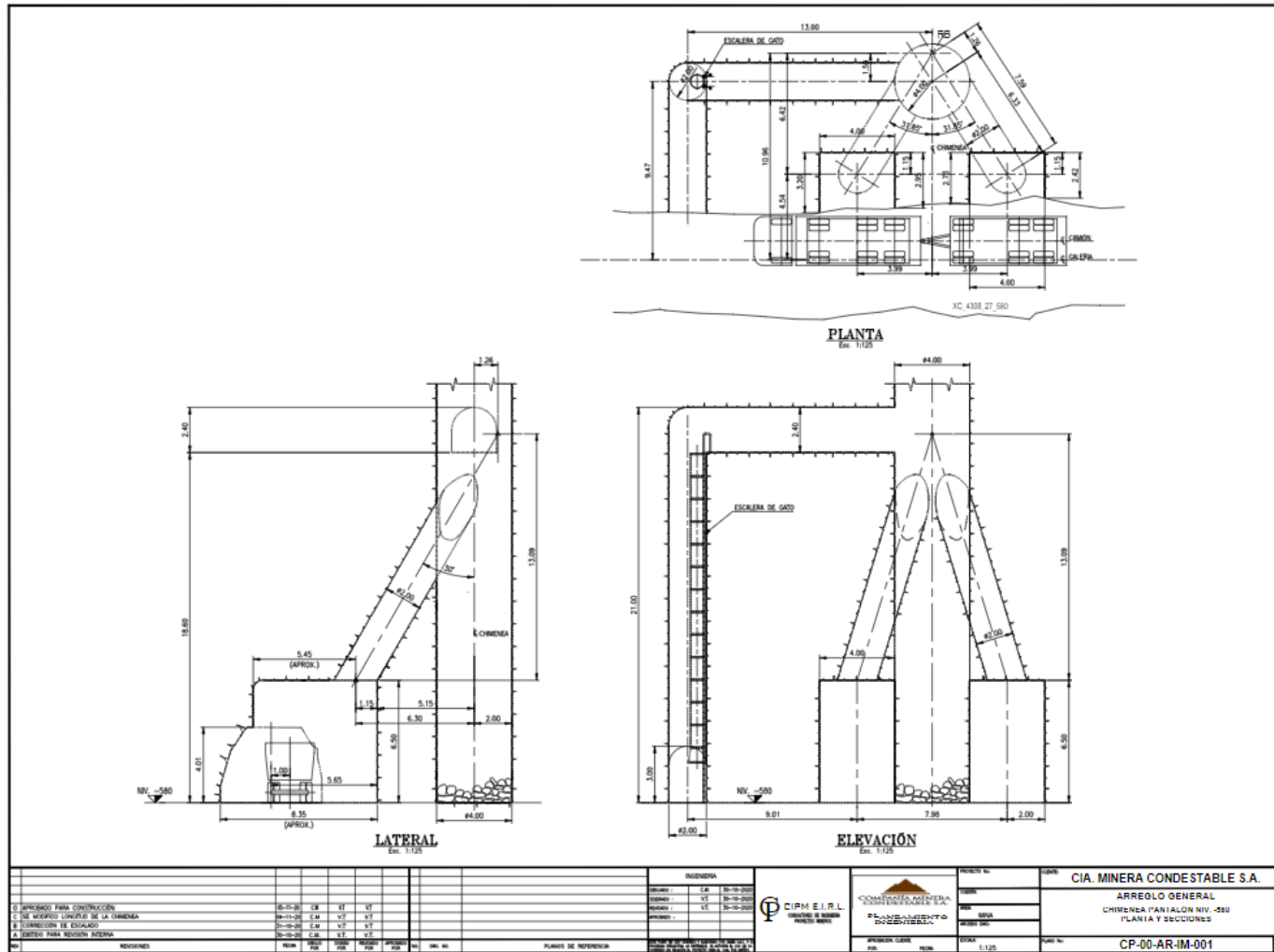
RESUMEN DE CARGAS REMOLQUE		
VOLUMEN	18.3	m3
CARGA	37364	kg
TOTAL	74341	kg

Notas: **La tolva del camión se desplaza 370 mm hacia atrás
*Alturas se recortan 200 mm
Los volúmenes se consideran al ras del marco superior

PROYECTO CONDESTABLE: ALTURAS = 3000 mm				REV.02
A4	MATERIAL:	CELULA DE ORIGEN		PESO Ogd :
		CELULA DE DESTINO		
	TRAZADO, CORTE, DOBLEZ			
	ELABORADO	G.García	08/07/2021	
	REVISADO	G.García	08/07/2021	
	APROBADO	G.García	08/07/2021	

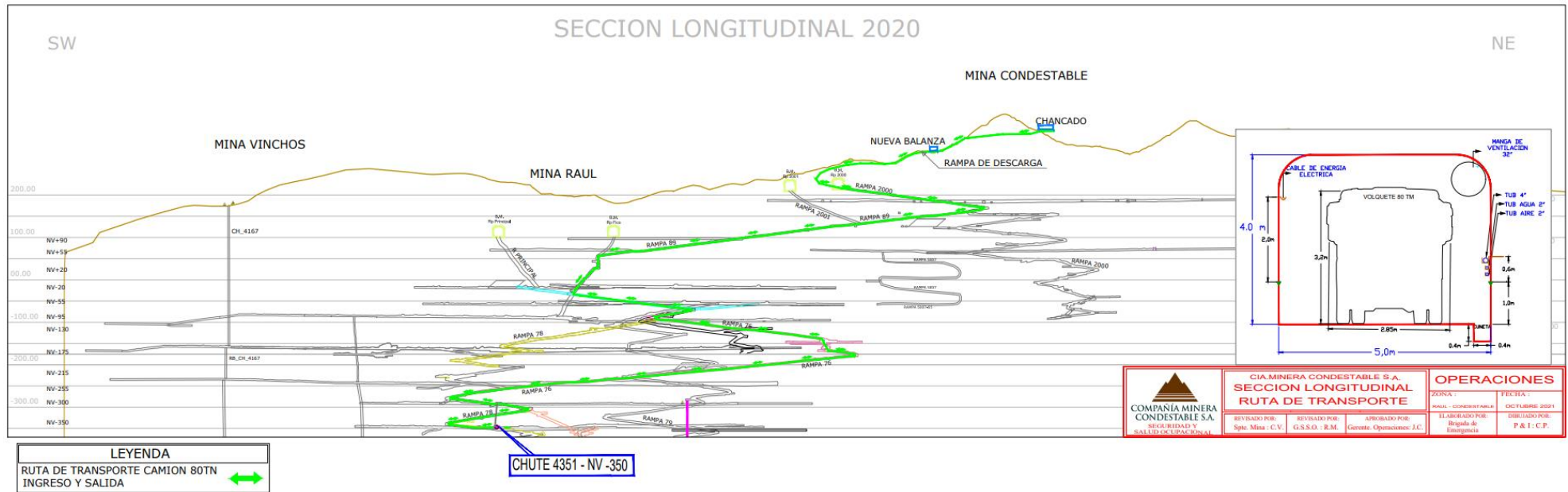
Anexo 2

Arreglo general chimenea pantalón en el nivel -580. Vista planta y secciones.

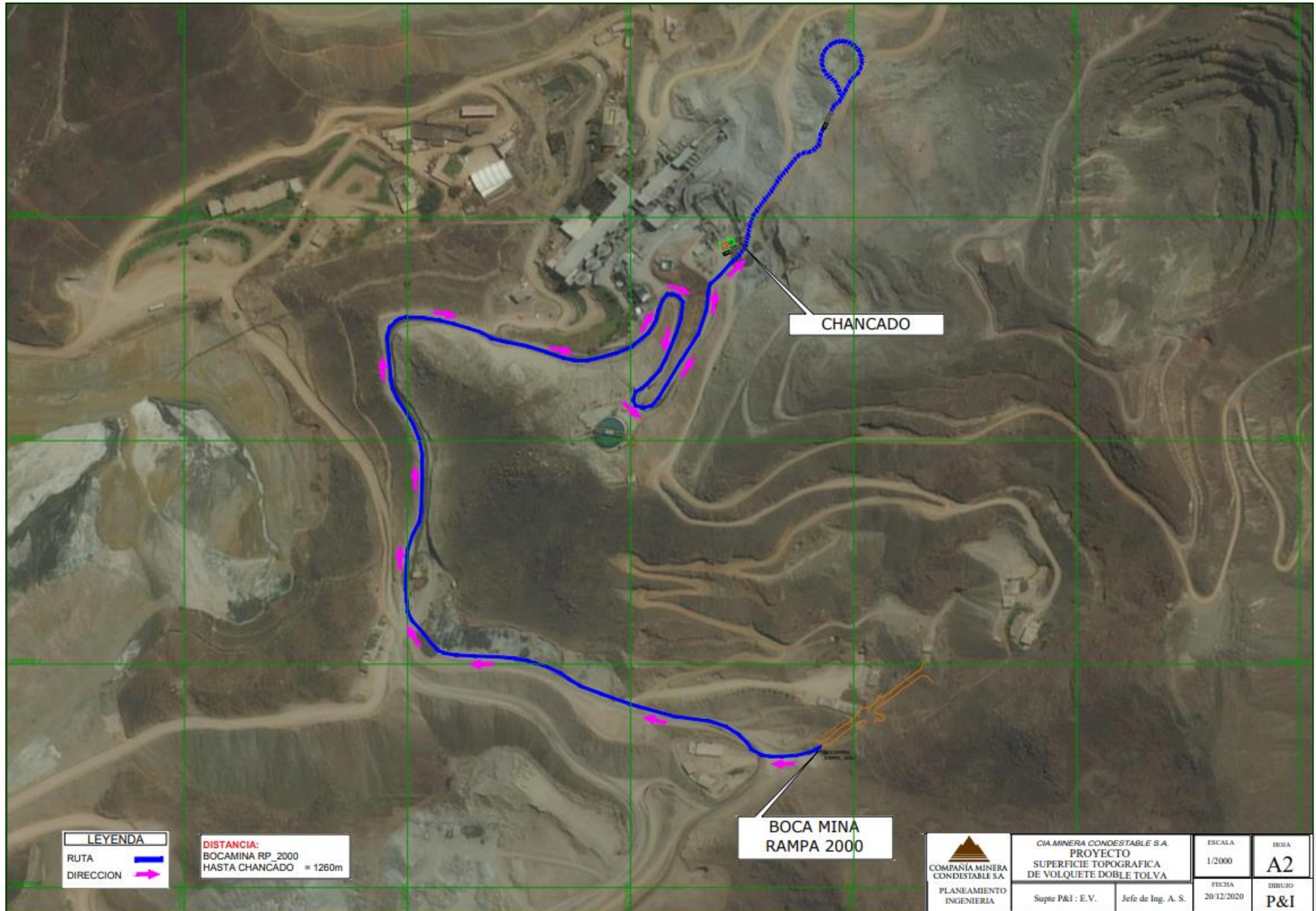


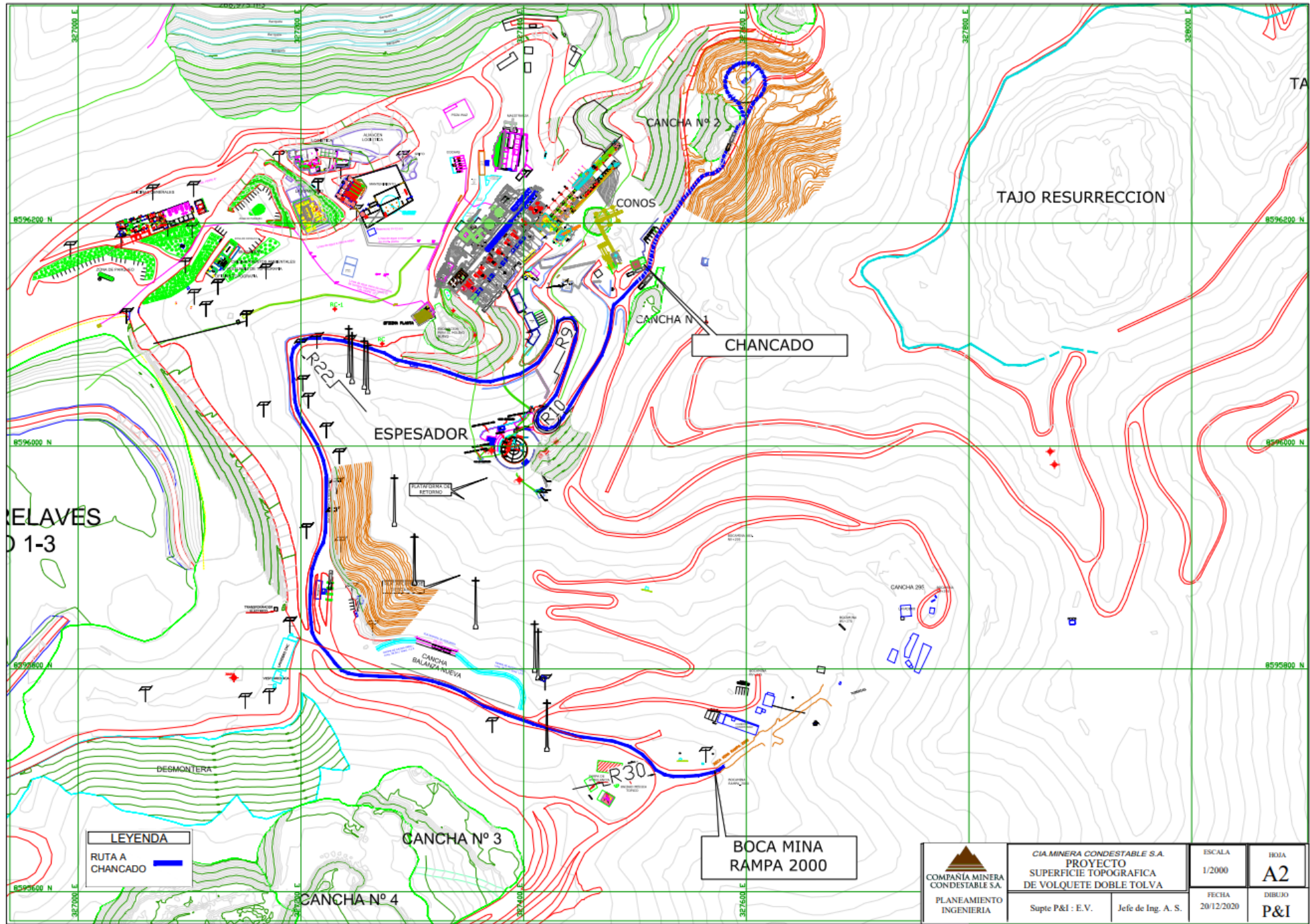
Anexo 3

Ruta utilizada en interior mina. Desde nivel -350 hasta la zona de chancado en superficie.




Ruta utilizada en superficie. De bocamina a zona de chancado.






LEYENDA
 RUTA A CHANCADO

**BOCA MINA
 RAMPA 2000**

 COMPAÑIA MINERA CONDESTABLE S.A. PLANEAMIENTO INGENIERIA	CIA MINERA CONDESTABLE S.A. PROYECTO SUPERFICIE TOPOGRAFICA DE VOLQUETE DOBLE TOLVA		ESCALA 1/2000	HOJA A2
	Supte P&I : E. V.	Jefe de Ing. A. S.	FECHA 20/12/2020	DIBUJO P&I

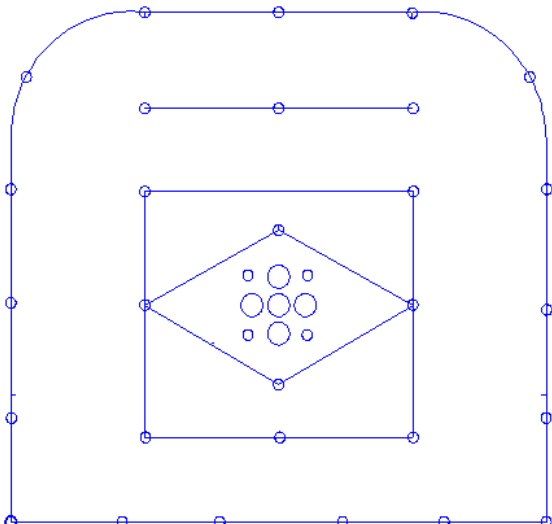
Anexo 4



PARÁMETROS Y EFICIENCIAS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA (SECCIÓN 4.0m x 4.0m) 54 mm TC-35

P&V

FRENTE 4.0 X 4.0 (24 PIES)



a) PARÁMETROS TÉCNICOS:

Sección:	4	m	x	4.0	m
Clasificación geomecánica	Buena	RMR: 51 - 60			
Factor de esponjamiento:	30%				
Diámetro del taladro	pulg.	2.13	2.13	2.13	
Densidad del Anfo confinado	gr/cm ³	0.86			
Cantidad de carga por metro	kg/m	1.97			
Densidad desmonte:		2.7	t/m ³		
Volumen desmonte:		131.0	m ³		
Tonelaje desmonte:		353.8	ton		
Densidad mineral:		2.9	t/m ³		
Volumen mineral:		131.0	m ³		
Tonelaje mineral:		380.0	t		

b) PERFORACIÓN:

Logitud 2 barras de 12 pies (24pies)	7.31	m			
Longitud de perforación efectiva:	7.0	m / disparo			
Total N° de taladros	38				
N° de taladros cargados	33				
N° de taladros de alivio	5				
Diámetro de taladro de alivio	4.0	pulg			

e) EFICIENCIAS:

Avance por disparo esperado	6.5	m			
Eficiencia en voladura:	93%				

PERFORACION Y VOLADURA	

--	--

--	--

c) VOLADURA:

ITEM	N° TALADROS	DISTRIBUCION DE CARGA								
		Taco	Long.	EXPLOSIVO X TALADRO		EXPLOSIVO X UBICACIÓN		PESO DEL EXPLOSIVO		
		m	m	EMULEX 80 1 1/2	Superfam Dos	EMULEX 80 1 1/2	ANFO	ANFO (kg)	EMULEX 80 1 1/2	TOTAL EXPLOSIVO (kg.)
Arranque	4.0	0.6	6.4	1.0	12.1	4.0	48.4	48.4	0.9	49.4
1ra. Ayuda	4.0	1.1	5.9	1.0	11.2	4.0	44.6	44.6	0.9	45.6
2da. Ayuda	2.0	1.2	5.8	1.0	11.0	2.0	21.9	21.9	0.5	22.4
Ayuda corona	3.0	1.6	5.4	1.0	10.2	3.0	30.6	30.6	0.7	31.3
Corona	5.0	3.0	4.0	1.0	7.6	5.0	37.8	37.8	1.2	39.0
Hastiales	6.0	3.0	4.0	1.0	7.6	6.0	45.4	45.4	1.4	46.8
Ayuda arrastre	3.0	1.2	5.8	1.0	11.0	3.0	32.9	32.9	0.7	33.6
Arrastre	6.0	1.4	5.6	1.0	10.6	6.0	63.6	63.6	1.4	65.0
TOTAL	33				81	33	325	325	8	333

Fanel ° Amarillo LP de 8.0 m	30	und
Fanel ° Rojo MS de 8.0 m	8	und
Cordón Detonante 3P	50	m
Carmex	2	und
Mecha rápida:	1	m
Emulnor 1 1/2 X 7	38	und
Emulnor 1 X 7	0	und
Superfam Dos	325	kg

f) SUGERENCIAS:

1. Entubar los taladros de arrastre si hay presencia de agua.
2. En las coronas y cuadradores aplicar el método traising
3. Realizar el ARRANQUE en un área no mayor de 1.5 m x 1.5 m.

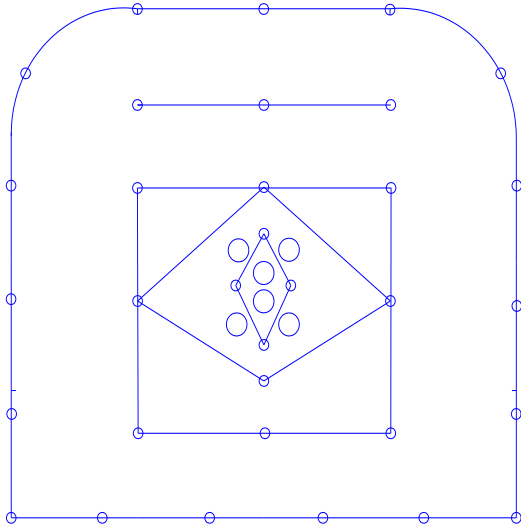
Anexo 5



PARÁMETROS Y EFICIENCIAS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA (SECCIÓN 4.0m x 4.0m) 54 mm TC-35

P&V

FRENTE 4.0 X 4.0 (28 PIES)



a) PARÁMETROS TÉCNICOS:

Sección:	4.0	m	x	4.0	m
Clasificación geomecánica	Buena	RMR: 51 - 60			
Factor de esponjamiento:	30%				
Diámetro del taladro	pulg.	2.13			
Densidad del Anfo confinado	gr/cm ³	0.85			
Cantidad de carga por metro	kg/m	1.95			
Densidad desmonte:	2.7	t / m ³			
Volumen desmonte:	154.4	m ³			
Tonelaje desmonte:	417.0	ton			
Densidad mineral:	2.9	t / m ³			
Volumen mineral:	154.4	m ³			
Tonelaje mineral:	447.9	t			

b) PERFORACIÓN:

Logitud 2 barras de 14 pies (28pies)	8.53	m
Longitud de perforación efectiva:	8.3	m / disparo
Total N° de taladros	39	
N° de taladros cargados	33	
N° de taladros de alivio	6	
Diámetro de taladro de alivio	4.0	pulg

e) EFICIENCIAS:

Avance por disparo esperado	7.6	m
Eficiencia en voladura:	92%	

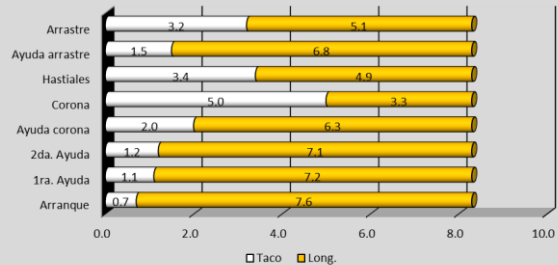
FACTOR DE VOLADURA	DESMONTE	MINERAL	UND
	ANFO	ANFO	
Factor de potencia	0.9	0.8	kg/t
	2.3	2.3	kg / m ³
Factor de carga	47.1	47.1	kg / m

c) VOLADURA:

DISTRIBUCION DE CARGA

ITEM	N° TALADROS	Taco m	Long. m	EXPLOSIVO X TALADRO		EXPLOSIVO X UBICACIÓN		PESO DEL EXPLOSIVO		
				EMULEX 80 1 1/2	Superfam Dos	EMULEX 80 1 1/2	ANFO	ANFO (kg)	EMULEX 80 1 1/2	TOTAL EXPLOSIVO (kg.)
Arrastre	4.0	0.7	7.6	1.0	14.1	4.0	56.5	56.5	0.9	57.4
1ra. Ayuda	4.0	1.1	7.2	1.0	13.4	4.0	53.5	53.5	0.9	54.4
2da. Ayuda	2.0	1.2	7.1	1.0	13.2	2.0	26.4	26.4	0.5	26.8
Ayuda corona	3.0	2.0	6.3	1.0	11.7	3.0	35.1	35.1	0.7	35.8
Corona	5.0	5.0	3.3	1.0	6.1	5.0	30.4	30.4	1.2	31.5
Hastiales	6.0	3.4	4.9	1.0	9.1	6.0	54.4	54.4	1.4	55.8
Ayuda arrastre	3.0	1.5	6.8	1.0	12.6	3.0	37.9	37.9	0.7	38.6
Arrastre	6.0	3.2	5.1	1.0	9.4	6.0	56.7	56.7	1.4	58.0
TOTAL	33				90	33	351	351	8	358

DISTRIBUCIÓN DE CARGA DEL ANFO



Fanel *Amarillo LP de 8.0 m	30	und
Fanel * Rojo MS de 8.0 m	8	und
Cordón Detonante 3P	50	m
Carmex	2	und
Mecha rápida:	1	m
Emulnor 1 1/2 X 7	38	und
Emulnor 1 X 7	0	und
Superfam Dos	351	kg

f) SUGERENCIAS:

1. Entubar los taladros de arrastre si hay presencia de agua.
2. En las coronas y hastiales aplicar el método traising
3. Realizar el ARRANQUE en un área no mayor de 1.5 m x 1.5 m.