

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga  
de mineral para aumentar la producción de mineral  
en la Unidad Minera Andaychagua**

Manuel Jesus Ramos Crisostomo  
Estela Salomon De la Peña

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Ing. Jesús Fernando Martínez Ildfonso

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme el conocimiento necesario para cumplir este objetivo profesional.

A mis padres, por su dedicación, enseñanzas y recomendaciones, para formarme profesionalmente.

A la universidad Continental, por brindarme una formación integral y de calidad.

A los docentes de la EAP de Ingeniería de Minas, por darme los conocimientos necesarios, para mi formación profesional.

## **DEDICATORIA**

Le dedicamos este trabajo a nuestros padres y familiares, por su apoyo desinteresado, para el logro de este objetivo.

A nuestro Asesor, que con su conocimiento y experiencia ha aportado a nuestra investigación.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
ASESOR .....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
RESUMEN .....	X
ABSTRACT .....	XII
INTRODUCCIÓN .....	XIV
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	16
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	16
1.1.1 Planteamiento del problema .....	16
1.1.2 Formulación del problema .....	18
1.2 Objetivos .....	18
1.2.1 Objetivo general.....	18
1.2.2 Objetivos específicos .....	18
1.3 Justificación e importancia .....	19
1.3.1 Justificación práctica.....	19
1.3.2 Justificación teórica .....	19
1.3.3 Justificación metodológica .....	19
1.4 Hipótesis .....	20
1.4.1 Hipótesis general .....	20
1.4.2 Hipótesis específicas .....	20
1.5 Identificación de las variables .....	20
1.5.1 Variable independiente .....	20
1.5.2 Variable dependiente .....	20
1.5.3 Matriz de operacionalización de variables .....	21
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Antecedentes del problema .....	22
2.1.1 Antecedentes nacionales.....	22

2.2 Generalidades unidad minera Andaychagua .....	26
2.2.1 Ubicación y accesibilidad.....	26
2.3 Geología .....	28
2.3.1 Geología regional .....	28
2.3.2 Geología estructural .....	29
2.3.3 Geología económica.....	29
2.4 Bases teóricas .....	30
2.4.1 Fundamentos teóricos de la optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción .....	30
2.4.2 Metodologías existentes .....	31
2.4.3 Factores de la selección del sistema de transporte de minerales.....	35
2.4.4 Diagnóstico y medición de tiempos de los equipos utilizados en el transporte de mineral en la unidad minera San Cristobal .....	38
2.4.5 Plan de mejora para la situación actual .....	42
2.4.6 Factor de acoplamiento .....	44
2.5 Conceptos básicos.....	46
CAPÍTULO III MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO .....	48
3.1 Método y alcances de la investigación.....	48
3.1.1 Método general o teórico de la investigación.....	48
3.1.2 Alcance de la investigación.....	48
3.2 Diseño de la investigación .....	49
3.3 Población y muestra .....	49
3.3.1 Población.....	49
3.3.2 Muestra.....	49
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	49
3.4.1 Técnicas de análisis de datos.....	49
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	49
3.4.3 Metodología de mejora continua.....	50
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1 Análisis de la mejora del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la unidad minera Andaychagua .....	53
4.1.1 Medición de los datos fundamentales para los equipos de carguío y transporte de mineral en la unidad minera Andaychagua.....	53

4.1.2	Diseño del sistema de carguío, transporte y descarga de mineral para la unidad minera Andaychagua .....	55
4.1.3	Descripción de los equipos utilizados en el carguío y transporte, en la unidad minera Andaychagua .....	57
4.1.4	Descripción de la ruta de transporte de la unidad minera Andaychagua ....	57
4.1.5	Parámetros técnicos de los equipos de carguío y transporte utilizados en la unidad minera Andaychagua .....	59
4.2	Optimizar el ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral de las labores subterráneas a superficie para minimizar los tiempos perdidos en transporte en la unidad minera Andaychagua.....	61
4.2.1	Análisis de la situación actual .....	61
4.2.2	Análisis de estudios para la optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral .....	63
4.3	Mejorar la planificación y control de los tramos de transporte de mineral de las labores subterráneas a superficie para incrementar la producción en unidad minera Andaychagua .....	66
	CONCLUSIONES.....	73
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
	ANEXOS .....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables .....	21
Tabla 2. Accesibilidad de unidad minera Carahuacra .....	27
Tabla 3. Parámetros de la roca y geométricos .....	36
Tabla 4. Resultados del estudio de la roca y geometría del yacimiento .....	36
Tabla 5. Metodología de la recopilación de la información in situ del carguío y transporte de mineral unidad minera Andaychagua.....	54
Tabla 6. Diseño del sistema de carguío, transporte y descarga de mineral para la unidad minera Andaychagua .....	55
Tabla 7. Maquinaria y/o equipo de carguío y transporte .....	57
Tabla 8. Parámetros técnicos de los equipos de carguío y transporte utilizados en la unidad minera Andaychagua .....	61
Tabla 9. Distancias y tiempos de ida: carguío, transporte y descarga (vetas - parrilla Roberto Letts) .....	62
Tabla 10. Distancias y tiempos de vuelta (parrilla Roberto Letts a Vetas) .....	62
Tabla 11. Resumen de distancias y tiempos de carguío, transporte y descarga (vetas – parrilla Roberto Letts).....	63
Tabla 12. Resumen de la teoría de colas en la situación actual y el óptimo .....	65
Tabla 13. Parámetros técnicos para cálculo del factor de acoplamiento.....	66
Tabla 14. Resumen del ciclo carguío y transporte de la flota óptima .....	69
Tabla 15. Parámetros para el cálculo del valor unitario (\$/t-km) .....	70
Tabla 16. Estructura del precio unitario por tonelada y kilómetro en función al equipo de carguío y transporte .....	71
Tabla 17. Optimización del ciclo de carguío y transporte en función a costos en la unidad minera Andaychagua .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación unidad minera Andaychagua.....	27
Figura 2. Dimensiones típicas de un scooptram.....	32
Figura 3. Componentes principales del accionamiento de un scooptram .....	33
Figura 4. Máxima producción y mínimo costo no coincidentes .....	45
Figura 5. Eficiencia vs factor de acoplamiento (15).....	45
Figura 6. Metodología de mejora continua para el transporte de mineral con volquete en interior mina para incrementar la producción unidad minera Andaychagua .....	50
Figura 7. Diseño de carguío con los equipos scooptram y volquetes en rampas.....	56
Figura 8. Lugar del carguío en la veta Salvadora, unidad minera Andaychagua.....	58
Figura 9. Ubicación del carguío en la veta Adriana, unidad minera Andaychagua.....	59
Figura 10. Equipo de carguío scooptram de Ferreyros CAT .....	60
Figura 11. Equipo de transporte volquete Volvo.....	60
Figura 12. Mejora de tiempos de transporte por guardia.....	64
Figura 13. Ruta 1 - veta Salvadora hacia la parrilla Roberto Letts .....	67
Figura 14. Ruta 2 - veta Adriana hacia la parrilla Roberto Letts .....	67
Figura 15. Factor de acoplamiento in situ del carguío y transporte de los equipos scooptram y el volquete.....	68
Figura 16. Parrilla Roberto Letts del nivel 1000.....	69

## RESUMEN

En la actualidad, la unidad Minera Andaychagua de Volcan Compañía Minera S.A. presenta deficiencias en el transporte del mineral desde el interior de la mina, influyendo directamente en la utilidad, lo que crea una baja productividad. A raíz de lo mencionado anteriormente, este trabajo de investigación surge en base a la inadecuada distribución de los volquetes en los puntos de carguío en las labores de profundización que afecta el cumplimiento de producción de la zona de profundización de la U.M. Andaychagua, de Volcan Compañía Minera S.A.A.; debido a esto, hay numerosas ocasiones ineficaces que ocurren tanto en el carguío como en el transporte del mineral, lo que origina numerosas ocasiones ineficaces que ocurren tanto en el apilamiento como en el arrastre del mineral.

En el estudio situacional del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral, con el diagrama de Pareto se muestra tres actividades que se sitúan antes del 80 %. La actividad crítica, que es el refrigerio, es un tiempo determinado e imposible de reducirlo porque es parte del sistema de labor; sin embargo, las actividades como la cola de los volquetes y las reparaciones mecánicas son tiempos improductivos que optimizar y mejorar respectivamente. En el análisis de la teoría de colas se tiene dos situaciones: el actual y la óptima. Se concluye que, en la situación actual, el número de espera de volquetes es de 1, el tiempo de carguío es de 8.41 minutos y el tiempo de espera en la fila es de 3.91 minutos, lo cual genera pérdidas productivas y económicas. Por otro lado, en la situación óptima, el número de espera de volquetes es de 0, el tiempo de carguío es de 4.81 minutos y el tiempo de espera en la fila es de 0.36 minutos, lo cual es óptima sin ningún equipo parado en espera respectivamente y el tiempo de espera de 0.36 minutos refleja la concordancia de mejora en el carguío, transporte y descarga de mineral.

El costo total por la operación minera del carguío y transporte por kilómetro es de 1.20 \$/t-km. Esto nos dice que para la unidad minera Andaychagua en la ruta 1 de la veta Salvadora a la parrilla Roberto Letts y la ruta 2 de la veta Adriana a la parrilla Roberto Letts, nos da ese mismo costo respectivamente.

La optimización del costo de carguío y transporte de la veta Salvadora en 6 \$/t, esto reflejado en el tonelaje programado por veta se tendría una optimización de 4,324 \$/t–día, para los 3 volquetes y 1 *scooptram*. La optimización del costo de carguío y transporte de la veta Adriana en 5.76 \$/t. Esto reflejado en el tonelaje programado por veta tendría una optimización de 4,151 \$/t–día para los 3 volquetes y 1 *scooptram*.

**Palabras Clave:** optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral.

## ABSTRACT

At present, the Andaychagua Mining Unit of Volcan Compañía Minera SA, has deficiencies in the transport of the mineral from inside the mine, directly influencing the utility, which creates low productivity, as a result of the aforementioned work of The investigation arises based on the inadequate distribution of the dump trucks at the loading points in the deepening work that affects the fulfillment of production in the deepening zone of the MU Andaychagua, of Volcan Compañía Minera S.A.A., due to this there are numerous ineffective occasions that occur both in the loading and in the transportation of the mineral, due to this there are numerous ineffective occasions that occur both in the stacking and in the dragging of the mineral.

In the situational study of the mineral loading, transport and unloading cycle, the Pareto diagram shows three activities that are located before 80%, the critical activity that is the snack, is a determined time and impossible to reduce it because it is However, activities such as the tail of the dump trucks and mechanical repairs are part of the labor system, are unproductive times in which to optimize and improve respectively. In the analysis of the queuing theory, there are two situations, the current one and the optimal one, it is concluded that, in the current situation, the number of dump trucks waiting is 1, the loading time is 8.41 minutes and the waiting time in the line is 3.91 minutes, which generates productive and economic losses. Optimal situation, the number of dump trucks waiting is 0, the loading time is 4.81 minutes and the waiting time in line is 0.36 minutes, which is optimal without any equipment stopped waiting respectively and the waiting time of 0.36 minutes reflects the concordance of improvement in the loading, transport and unloading of ore.

The total cost for the mining operation of the cargo and transportation per kilometer is 1.20 US \$ / ton-km, this tells us that for the minera Andaychagua unit on route 1 of the Salvadora vein on the Roberto Letts grill and route 2 of the Adriana vein grilled by Roberto Letts, gives us the same cost respectively.

The optimization of the loading and transportation cost of the Salvadora Vein in 6 US \$ / ton, this reflected in the programmed tonnage per vein would have an

optimization of 4,324 US \$ / ton-day, for the 3 dump trucks and 1 scooptram. Optimization of the loading and transportation cost of the Adriana Vein by 5.76 US \$ / ton. This reflected in the programmed tonnage per vein would have an optimization of US \$ 4,151 / ton-day. for the 3 dump trucks and 1 scooptram

**Keywords:** optimization of the mineral loading, transport and unloading cycle.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la unidad minera Andaychagua de Volcan Compañía Minera S.A. presenta deficiencias en el transporte del mineral desde el interior de la mina, influyendo directamente en la utilidad, lo que crea una baja productividad. A raíz de lo mencionado anteriormente, este trabajo de investigación surge en base a la inadecuada distribución de los volquetes en los puntos de carguío en las labores de profundización que afecta el cumplimiento de producción de la zona de profundización de la U.M. Andaychagua, de Volcan Compañía Minera S.A.A., debido a esto hay numerosas ocasiones ineficaces que ocurren tanto en el carguío como en el transporte del mineral, lo que origina numerosas ocasiones ineficaces que ocurren tanto en el apilamiento como en el arrastre del mineral.

La metodología para la recopilación de la información *in situ* del carguío y transporte de mineral en la unidad minera Andaychagua tuvo buenos resultados en el procesamiento de los datos de los equipos a fin de mejorar el ciclo de carguío y transporte de mineral. Según el análisis, en el diseño del sistema de carguío, transporte y descarga de mineral, lo más óptimo es realizar las rutas de veta Salvadora (Nv. 1325) tajo cámara 5 (frente), con destino a la parrilla Roberto Letts (Nv. 1000) y de Veta Adriana (Nv. 1325), tajo 600, con destino a la parrilla Roberto Letts (Nv. 1000).

El costo total por la operación minera del carguío y transporte por kilómetro es de 1.20 \$/t-km, esto nos dice que para la unidad minera Andaychagua en la ruta 1 de la veta Salvadora a la parrilla Roberto Letts y la ruta 2 de la veta Adriana a la parrilla Roberto Letts, nos da ese mismo costo respectivamente. Reducción del número de volquetes tras la evaluación por la teoría de colas como en el factor de acoplamiento siendo factible 3 volquetes y 1 *scooptram* para cada ruta en ambas vetas.

La optimización del costo de carguío y transporte de la Veta Salvadora en 6 \$/t, esto reflejado en el tonelaje programado por veta se tendría una optimización de 4,324 \$/t-día, para los 3 volquetes y 1 *scooptram*.

La optimización del costo de carguío y transporte de la Veta Adriana en 5.76 \$/t está reflejada en el tonelaje programado por veta se tendría una optimización de 4,151 \$/t-día. para los 3 volquetes y 1 scooptram.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

Universalmente, las organizaciones mineras tratan de trabajar en la productividad y la viabilidad de las actividades unitarias en la mina para crear beneficios trabajando en estas tareas. Los prerrequisitos de creación absoluta pueden ser influenciados por varios componentes externos a la empresa. Estos pueden incorporar proyecciones de acuerdos, contratos, medida de almacenes accesibles y otras tareas de la organización. En vista de este fundamento, se debe caracterizar la suma agregada de mineral a entregar. Las necesidades de creación se establecen, en su mayoría, para plazos de un año.

La producción total anual debe entonces convertirse en tasas de producción diaria u horaria para cada operación. La tasa de producción de determinadas actividades unitarias se verá influido por factores como el porcentaje de recuperación, la ley del mineral y la proporción de sobrecarga.

Los equipos de carguío y transporte cargan en un punto y después giran en torno a su centro para descargar en otro punto. La distancia más extensa sobre lo que un equipo se puede cargar material se caracteriza como su alcance. La geometría del depósito a excavar es el factor primario para determinar la eficacia requerida por el equipo.

Las distancias de transporte aluden a las distancias y pendientes por las que debe transitar un equipo versátil. En el caso de una mina subterránea, el diseño espacial de los desenterradores decidirá la distancia total a recorrer, existe también factores que influyen, estos son elementos como la ventilación y la accesibilidad de la fuerza (diésel o eléctrica).

La duración del proceso para una actividad unitaria puede separarse en dos partes principales. El primer componente lo constituyen todas aquellas operaciones que tienen una duración relativamente constante de una aplicación a la próxima: virar, cambiar de posición, descargar y cargar. La valoración del tiempo necesario para realizar cada una de estas capacidades puede obtenerse normalmente de la documentación del fabricante del equipo. La parte variable del ciclo está asociada con el tiempo de viaje para equipos móviles y con el tiempo de giro.

El tipo de maquinaria de transporte puede no ser adecuado y, tras calcular el límite necesario, puede ser importante utilizar un tipo de maquinaria diferente. Al elegir un tipo de equipo alternativo, hay que reevaluar la duración del proceso, así como los límites y los factores de competencia. La estimación de los límites debe refinarse de nuevo para decidir si el equipamiento propuesto puede satisfacerla. Es posible que sea necesario hacer algunos énfasis antes de llegar a un acuerdo aceptable. Sea como fuere, puede haber más de una respuesta para el problema de carguío y transporte. Teniendo en cuenta que la tasa de producción es directamente proporcional a la capacidad e inversamente proporcional al tiempo de ciclo de la maquinaria seleccionada, hay que hacer algunos énfasis para caracterizar varias unidades de carguío y transporte, así hacer comparaciones de costos.

En la actividad minera, nos centramos en el avance constante de toda la actividad, esto implica que la cadena productiva estará orientada en la maximización de beneficios y la minimización de gastos, es por lo que el mejoramiento del transporte es una de las partes fundamentales para optimizar la producción, así como la viabilidad técnico económica del proyecto minero.

Nuestra investigación se orientará en la evaluación del transporte mediante volquetes en la interior mina y así incrementar la producción de la mina Andaychagua de Volcan Compañía Minera S.A.A.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cómo será la optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la unidad minera Andaychagua?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo será la optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral de las labores subterráneas a superficie, para minimizar los tiempos perdidos en transporte en la unidad minera Andaychagua?
- ¿Cómo será la mejora de la planificación y control de los tramos de transporte de mineral de las labores subterráneas a superficie para incrementar la producción en unidad minera Andaychagua?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Optimizar el ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la unidad minera Andaychagua.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Optimizar el ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral de las labores subterráneas a superficie para minimizar los tiempos perdidos en transporte en la unidad minera Andaychagua.
- Mejorar la planificación y control de los tramos de transporte de mineral de las labores subterráneas a superficie para incrementar la producción en unidad minera Andaychagua.

### **1.3 Justificación e importancia**

#### **1.3.1 Justificación práctica**

En la actualidad, la unidad minera Andaychagua de Volcan Compañía Minera S. A. presenta deficiencias en el transporte del mineral desde el interior de la mina, influyendo directamente en la utilidad, lo que crea una baja productividad, a raíz de lo mencionado anteriormente este trabajo de investigación surge en base a la inadecuada distribución de los volquetes en los puntos de carguío en las labores de profundización que afecta el cumplimiento de producción de la zona de profundización de la U.M. Andaychagua, de Volcan Compañía Minera S.A.A., debido a esto hay numerosas ocasiones ineficaces que ocurren tanto en el carguío como en el transporte del mineral, lo cual origina numerosas ocasiones ineficaces que ocurren tanto en el apilamiento como en el arrastre del mineral.

#### **1.3.2 Justificación teórica**

En este trabajo de investigación se realizará un desarrollo constante de las ocasiones en el ciclo de carguío y de transporte de mineral para tener un marco ideal que garantice el cumplimiento de la producción.

De esto se desprende la importancia de la competencia en el transporte de materiales y que depende de ella para cumplir con los objetivos operacionales, por lo tanto, se buscará un sistema de alternativas que optimice la utilidad de los volquetes buscando la solución a los problemas de los tiempos productivos e improductivos y dar alternativas para cumplir con la creación reservado todos los días y mes a mes, estos aspectos justifican y dan la debida importancia a la realización de la investigación.

#### **1.3.3 Justificación metodológica**

La presente investigación constituirá un aporte metodológico a la optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la unidad minera Andaychagua.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1 Hipótesis general**

La optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral es factible y viable para aumentar la producción de mineral en la unidad minera Andaychagua.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- La optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral de las labores subterráneas a superficie es factible para minimizar los tiempos perdidos del transporte en la unidad minera Andaychagua.
- La mejora de la planificación y control de los tramos de transporte de mineral de las labores subterráneas a superficie es factible para incrementar la producción en la unidad minera Andaychagua.

## **1.5 Identificación de las variables**

### **1.5.1 Variable independiente**

Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral.

### **1.5.2 Variable dependiente**

Producción de mineral

### 1.5.3 Matriz de operacionalización de variables

Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral, en la unidad minera Andaychagua.

**Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables**

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
V.I.:			
Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral.	Es la mejora del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral por medio de controles de los equipos, rutas de transporte y seguimiento a los operadores de los equipos, reforzando la capacitación para la eficiencia y eficacia de los mismos.	Evaluación del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometría del yacimiento</li> <li>• Distribución de leyes</li> <li>• Resistencia de la matriz rocosa.</li> <li>• Costos directos</li> </ul>
V.D.:			
Producción de mineral	Es la obtención de mineral, después del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral.	Evaluación de la producción de mineral.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometría de las labores</li> <li>• Calidad de mineral</li> <li>• Cantidad de mineral</li> <li>• Ratios de explotación</li> <li>• Años de explotación</li> </ul>

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del problema**

##### **2.1.1 Antecedentes nacionales**

- a) Tesis titulada “*Estudio del sistema de acarreo de interior mina para optimizar tiempos, disminuir costos e incrementar la producción en E.E. NCA Servicios Mina Morococha*”. El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para mejorar el tiempo de operatividad de la flota de volquetes de interior mina, optimizar la disponibilidad mecánica y el control de índices de productividad. Además, la metodología tiene las siguientes características: (1)
- Se ha realizado la evaluación y el estudio de la optimización de la flota de acarreo en mina subterránea, demostrándose que mediante el uso de KPI’s se logra incrementar su eficiencia y su utilidad, midiendo ratios operativos y rendimientos por hora de los equipos de mina. (1)
  
  - El proyecto de transporte que se ha llevado a cabo con la empresa NCA Servicios, en el sistema de acarreo de materiales, demostró ser viable con volquetes volvo FMX 8 x 4, y podría ser viable con cualquier marca de volquetes siempre y cuando se trabajen con camiones con las mismas características de tracción 8 x 4 en relación al volumen transportado. (1)

- Las comparaciones entre los dos trimestres evaluados, nos dan resultados claros que son eficientes y muestran claras diferencias y tendencias a la mejora, y por ende al ahorro en costos operativos. (1)
  - El tiempo de carguío que se tiene en promedio alto superior a los 10 minutos a causa de un constante campaneó de las tolvas y el traslado de material hacia el punto de carguío desde labores alejadas del mismo por parte de los Scoops de compañía; y no de 6 minutos de tiempo de carguío que está en nuestros precios unitarios. (1)
- b) Tesis titulada “*Control y mejora de la productividad del acarreo y transporte de mineral desde las labores de profundización hacia la superficie en la unidad de producción San Cristobal – Volcan Compañía Minera S. A. A.*”. El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para controlar la productividad del acarreo y transporte de mineral desde las labores de profundización hacia superficie en la unidad minera San Cristóbal – Empresa Minera Volcan S. A. A. durante el año 2018. Además, la metodología tiene las siguientes características: (2)
- Para poder realizar una evaluación del acarreo y transporte de mineral desde las labores de profundización hacia la superficie, tenemos que tener conocimiento de la planificación que se lleva a cabo en la mina en cuanto a las reservas de los minerales accesibles parcialmente accesibles, factor de dilución, las leyes de los minerales, la capacidad de producción, la capacidad de tratamiento, programa de avances lineales, labores de preparación requeridas, producción de la mina. (2)
  - La compañía minera cuenta con 15 equipos de carguío según el planeamiento del año 2018 y distribuidos en todas las zonas de la mina San Cristóbal; en la zona de profundización (zona baja) cuenta con 7 equipos de carguío tanto de compañía Volcan y de la empresa contratista AESA. (2)
  - Para la distancia que recorre el equipo de carguío desde el tajo o sub nivel hasta la cámara de carguío se tiene un rendimiento promedio de 120.80 Tm/ Hr

cargando 5 volquetes promedio por hora; y para la otra distancia que recorre el equipo de carguío desde la cámara de acumulación hasta la cámara de carguío (según estándar es de 15 metros) se tiene un rendimiento promedio 219.06 t/ h cargando un promedio de 9 volquetes promedio por hora. (2)

c) Tesis titulada "*Mejoramiento del transporte de mineral con volquete en interior mina para incrementar la productividad en U.M. Andaychagua de Volcan Compañía Minera S.A.A.*". El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para mejorar el transporte de mineral en interior mina e incrementar la productividad en la unidad minera Andaychagua de Volcan Compañía Minera S. A. A. Además, la metodología tiene las siguientes características: (3)

- Se logra mejorar el ciclo de carguío – transporte – descarga minimizando (disminuyendo) los tiempos perdidos en transporte, siendo en ruta 1 (veta Vanesa) 13,5 minutos, en ruta 2 (veta Salvadora) 11,9 minutos y en ruta 3 (veta Adriana) 12,7,4 minutos, por conceptos de esperas y el factor de acoplamiento, estimando así la correcta flota de volquetes, permitiendo así, saber el ideal tamaño de flota requerido para cumplir la definida demanda al mínimo costo. (3)
- Al disminuir o anular los sobredimensionamientos de los equipos de transporte y carguío, se anulan los tiempos improductivos por espera de volquetes en cola, del mismo modo se disminuye los costos de ellos. (3)
- El margen de ganancia por transporte llega a incrementarse en 2,90 % (de 9,01 % a 11,91%) logrando así mayores ganancias y mayor rendimiento por guardia, lo cual incrementa la productividad; beneficiando la Unidad Minera Andaychagua de Volcan Compañía Minera S.A.A. (3)

d) Tesis titulada "*Cálculo de la productividad máxima por hora de los volquetes en el transporte minero subterráneo en la unidad minera Arcata 2016*". El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para la optimización de las operaciones de perforación y voladura, mediante un nuevo

diseño de malla de perforación. Además, la metodología tiene las siguientes características:(4)

- Con la determinación de los ciclos totales de acarreo y transporte minero subterráneo con volquetes, se pudo calcular la productividad horaria real en la unidad operativa de Arcata, siendo esta 10.156 t/h como promedio y equivalente al 77.9 % de la productividad máxima siendo esta 13.038 t/h como promedio. (4)
  - Los factores que influyen en el cálculo de la productividad son el tiempo, la eficiencia relacionada al equipo y al personal, además del material a transportar. Con la determinación de la productividad horaria real, se pudo establecer las tarifas unitarias por cada zona de trabajo, las cuales permitan generar un incremento en la facturación de 34.63 % que representa la suma de \$126314.81 hasta fin de año. (4)
  - El cálculo de la productividad horaria real indica que esta constituye el 77.90 % de la producción óptima posible, debido a lo dilatado del tiempo de carguío en los *ore pass*. (4)
- e) Tesis titulada " *Propuesta de minimización de tiempos improductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en CIA. Minera Coimolache S.A.*". El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para la implementación en la minimización de los tiempos improductivos que hay en el proceso de carguío y acarreo en Cia. Minera Coimolache. Además, la metodología tiene las siguientes características: (5)
- La minimización de tiempos improductivos logra la disminución de horas de demora en carguío y acarreo, siendo la reducción a un tiempo menor o igual a 3 min. (5)
  - Aumentamos la producción y beneficios en equipos de carguío y acarreo. En cada volquete un aumento de 98.5 t/día lo que equivaldría a 14.33 \$/día, en la Exc. CAT 390 DL el aumento es de 32.1 t/día equivalente a 11.95 \$/día y en la Exc. CAT 374 DL un aumento de 163 t/día equivalente a 130.46 \$/día. (5)

- El porcentaje de utilización aumentó en 3% (374 DL) y 10% (390 DL) en carguío y 3 % en acarreo. (5)
- Contar con controladores de tiempos y producción durante el carguío y acarreo, los que comuniquen a los jefes de guardia, áreas de operaciones y planeamiento mina para informar de la producción horaria, demoras y cualquier incidente en las operaciones. (5)
- Promover la capacitación técnica y capacitación del personal de carguío y acarreo, que permita tener un mayor y mejor manejo de sus equipos, reflejando mejoras en el ciclo de las operaciones mineras. (5)

## **2.2 Generalidades unidad minera Andaychagua**

### **2.2.1 Ubicación y accesibilidad**

La unidad de Andaychagua pertenece a la Volcán Compañía Minera S.A.A., políticamente pertenece al caserío Andaychagua - anexo San José de Andaychagua – distrito Huayhuay - provincia Yauli – departamento Junín. Se encuentra en el flanco este de la cordillera occidental de los Andes Centrales del Perú. (6)

Sus coordenadas geográficas son:

76°05' Longitud Oeste y 11° 40' Latitud Sur

Sus coordenadas UTM:

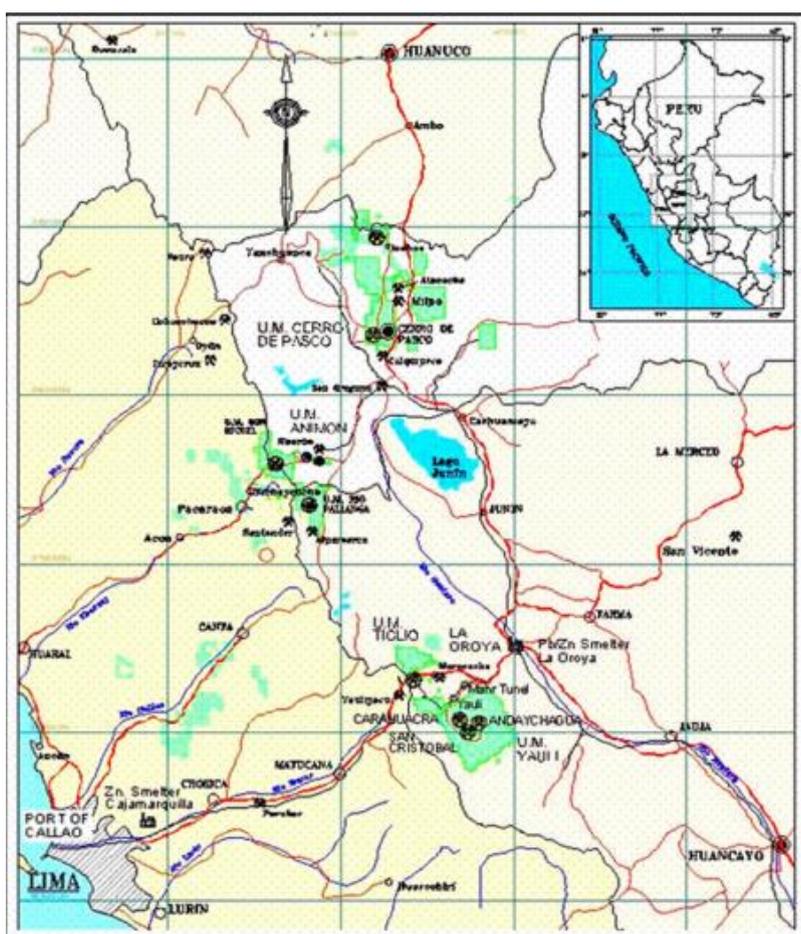
- 8'702,762 N
- 384,547 E

A una altitud de 4718 m s. n. m.

**Tabla 2. Accesibilidad de unidad minera Carahuacra**

Ruta	Distancia (km)	Carretera	Tiempo aproximado (h)
Lima a la Oroya	110	De la ciudad de Lima en línea recta por la carretera central hasta llegar ciudad de la Oroya.	Se tiene un viaje aproximadamente de cinco horas.
La Oroya a U.M San Cristobal	50	De la ciudad de la Oroya se halla un desvío cerca de la localidad de Huari.	El tiempo de viaje es aproximadamente de 1 hora con 45 minutos, en llegar a la Unidad Minera San Cristobal.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la unidad minera Andaychagua.



**Figura 1. Ubicación unidad minera Andaychagua Tomado de unidad minera Andaychagua. (6)**

## **2.3 Geología**

### **2.3.1 Geología regional**

El depósito mineral de Andaychagua se localiza en el llamado anticlinal de Chumpe, cuyo eje se alinea en la dirección N45°O, mostrando doble hundida hacia el NO y hacia el SE. Intrusivos de composición ácida, intermedia y básica, han cortado y/o son paralelos a la secuencia estratigráfica del anticlinal de Chumpe. (6)

### **Estratigrafía**

El distrito minero de Andaychagua está localizado en la parte suroeste de una amplia estructura regional de naturaleza domática que abarca integralmente los distritos de San Cristóbal y Andaychagua, conocida como el complejo Domal de Yauli, que representa una ventana de formaciones Paleozoicas dentro de la faja intracordillerana de formaciones mesozoicas. (6)

Las rocas más antiguas de la Cordillera Occidental del centro del Perú son filitas Excelsior conformado el núcleo del anticlinal de Chumpe, afloran a lo largo de 19 km y un ancho de 1.5 km; desde Andaychagua hasta las inmediaciones del pueblo de Yauli conformado la base del valle del mismo nombre, se puede observar estos afloramientos a unos 1000 – 1200 m al este de la Mina San Cristóbal. (6)

El grupo Excelsior es un grupo heterogéneo de rocas que incluye pizarras, filitas (lutitas metamorfoseadas), esquistos, calizas, flujos basálticos, cuarcitas y bancos calcáreos marmorizadas con fósiles (Crinoideos); todo el conjunto está fuertemente fracturado, intemperizado, muestra una exfoliación característica subparalelas a los planos axiales de los pliegues; contienen numerosos lentes y vetillas de cuarzo segregado, claro indicio del metamorfismo regional que los ha afectado. (6)

La mineralización en este grupo es reconocida principalmente por filones, sistemas de vetas Virginia, San Cristóbal y Andaychagua; además de la descrita por H. W. Kobe, que reconoce dos tipos: manto en la mina Ultimátum de Fe, Zn, Pb, Ag; y la otra estrictamente estrato ligada ubicada en el anticlinal de Ultimátum de Ni, Co, As, Sb, Fe y S. (6)

### **2.3.2 Geología estructural**

Se considera al domo de Yauli como una estructura de carácter regional, que se extiende desde el valle de SuitucanCHA hasta Ticlio. Es una estructura domal rectangular y elongada de 30 km de largo por 15 km de ancho; tiene un rumbo general andino de N35°W promedio, su flanco este buza entre 30° y 40° mientras su flanco oeste buza entre 60° y 80°; está conformado por varios anticlinales y sinclinales, de los cuales los anticlinales más importantes son el de Chumpe y el de Yauli (Ultimátum). (6)

En su parte central, afloran rocas del basamento paleozoico (volcánico Mitu y Filitas Excelsior). El flanco occidental está compuesto por calizas del grupo Pucará y areniscas Goyllarisquiza; en el flanco oriental se extiende las rocas del grupo Mitu por varios kilómetros y sobre estos, las del grupo Pucará; asimismo, conforman rocas del Intrusivo Chumpe. (6)

Estos intrusivos ácidos conforman un gran sistema porfirítico que parece estar relacionado directamente con los eventos hidrotermales y mineralización observadas a nivel regional y distrital (minas San Cristóbal – Carahuacra y Andaychagua). A nivel netamente estructural, se puede afirmar que durante la generación de esfuerzos compresivos suroeste-noroeste se han desarrollado también fallas inversas, fracturas y sobre escurrimientos de diferente magnitud, con planos de falla casi concordantes con la estratificación de los sedimentarios del grupo Pucará. (6)

### **2.3.3 Geología económica**

En la mina Andaychagua existen estructuras tipo vetas, mantos y cuerpos; las vetas están emplazados en el domo de Yauli (grupo Excelsior, Mitu y Pucará) de rumbo noreste a suroeste, de una longitud promedio de 1600 metros y 650 metros según el buzamiento con potencia que varían de 1 a 10 metros a más, su forma es de tipo de rosario (6).

Los mantos y cuerpos se encuentran emplazados en calizas del grupo Pucará siguiendo el contacto Mitu-Pucará y controlados por el sistema estructural, de rumbo promedio de noroeste a sureste; su forma es irregular (lenticular) de

longitudes que varían de 90 metros de largo y 100 metros de ancho reconocidos desde superficie hasta los niveles inferiores de la mina Andaychagua que actualmente se están trabajando. (6)

## **2.4 Bases teóricas**

### **2.4.1 Fundamentos teóricos de la optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción**

#### **a) Carguío en el transporte del material desbrozado**

El carguío es parte del proceso de retirar el material volado del frente de trabajo hacia un equipo de transporte, para poderlo transportar adecuadamente a su lugar de destino (planta, botadero, stock). Alternativamente, estos equipos de carguío pueden depositar directamente el material removido en un punto definido. En minería superficial como en minería subterránea se realiza este proceso. (7)

Distintas combinaciones de equipos y secuencias de operación pueden satisfacer el requerimiento de producción. Las combinaciones de equipos y secuencias de operación están ligadas directamente con la capacidad del equipo y el tiempo requerido para completar un ciclo de operación, teniendo en cuenta factores como eficiencia, disponibilidad, costos, etc. (7)

#### **b) El efecto del acarreo en la productividad del material desbrozado**

El proceso productivo de una mina es el de mayor costo conjuntamente con el transporte de material, debido a que es el proceso con mayor cantidad de equipos involucrados (flota), alto grado de mecanización, menor rendimiento productivo por equipo y se constituye como un proceso de operación prácticamente continuo y lento. (7)

El transporte es la operación por la que se traslada el mineral arrancado hasta el exterior de la mina. El transporte dentro de una mina puede ser continuo, discontinuo o una mezcla de ambos. El transporte continuo utiliza medios de transporte que están continuamente en funcionamiento. Dentro de este tipo de transporte se utilizan cintas, transportadores blindados y el transporte por gravedad, en pozos y chimeneas. (7)

En el transporte discontinuo los medios de transporte realizan un movimiento alternativo entre el punto de carga y el de descarga. En este grupo se utiliza el ferrocarril y los camiones. Dentro de las minas subterráneas se distingue, además, entre el arrastre y la extracción. Por arrastre se entiende el transporte por las labores situadas, aproximadamente, a la misma cota. Y por extracción el transporte vertical que tiene por objeto situar el mineral en la superficie. (7)

### **c) Costos operativos de transporte del material desbrozado**

Son mediciones en términos monetarios del precio de transporte del mineral desbrozado o material estéril, establecidos dentro de los costos de mina enfocados a los costos de los equipos y costos del operador, considerando costos fijos y variables. (8)

Costos de los equipos de transporte y carguío, el estudio de costos es la estrategia competitiva que mayor valor genera a las empresas mineras. Los costos suelen ser factores controlables para lograr resultados positivos, puesto que el precio depende de la cotización internacional de los metales. (8)

Para enfrentar los retos de esta gestión, directivos y profesionales requieren desarrollar y fortalecer sus competencias y habilidades en técnicas focalizadas en costos y finanzas, que les permitan encontrar respuestas. La unidad con que se expresan los “costos de operaciones mineras”, es el US “\$/t”, es decir cuánto nos va costar expresada en términos monetarios extraer en toneladas el mineral. Se trata de un valor en dólares americanos por tonelada; sin embargo, por facilidad de manejo monetario, los mineros los cambian a nuevos soles/ tonelada. (8)

## **2.4.2 Metodologías existentes**

### **a) Método actual aplicado por la unidad minera Andaychagua**

El método actual de optimización en dos componentes principales el resultado de:

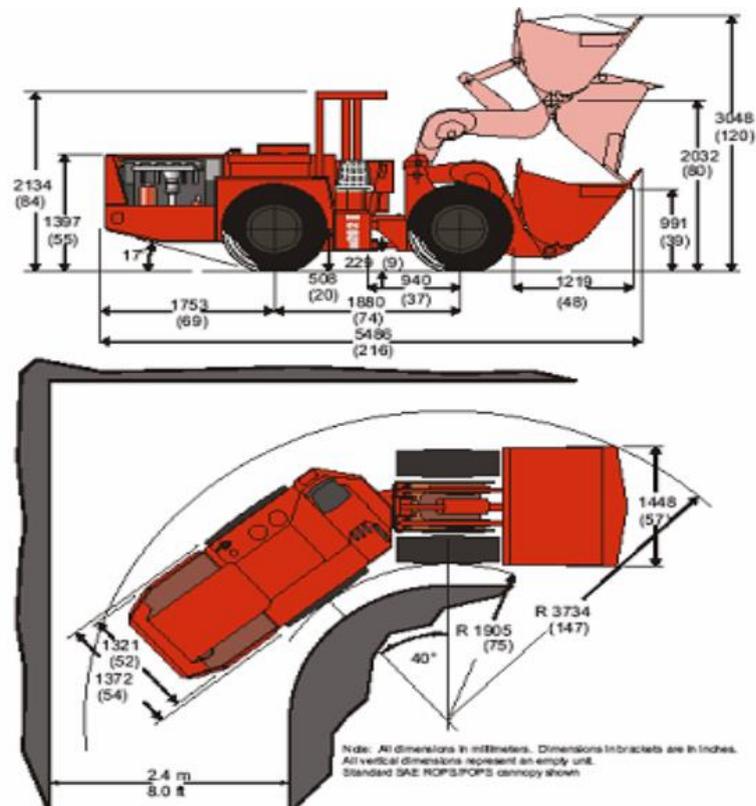
- Un programa de mantenimiento, basado en las especificaciones del fabricante del equipo minero. (9)
- Un método de selección de equipos de reemplazo. (9)

El programa de mantenimiento es el conjunto de muchos programas, por el simple hecho de que existe distintas marcas en los equipos de los *scooptrams*, pero guardan cierta relación entre ellos, para el mantenimiento de un *scooptrams* se debe conocer de manera secuencial una serie de pasos. (9)

Descripción de *Scooptrams* disponibles, son diseñados para operar en condiciones con características siguientes:

- Sus dimensiones son pequeñas con baja altura, óptimas para operar en el subsuelo. (9)
- Consta de un cucharón articulado para el carguío y el acarreo. (9)
- Tienen ruedas con neumáticos. (9)
- Transporta el material a una determinada distancia. (9)
- Descarga la carga en un área determinada o en un camión. (9)

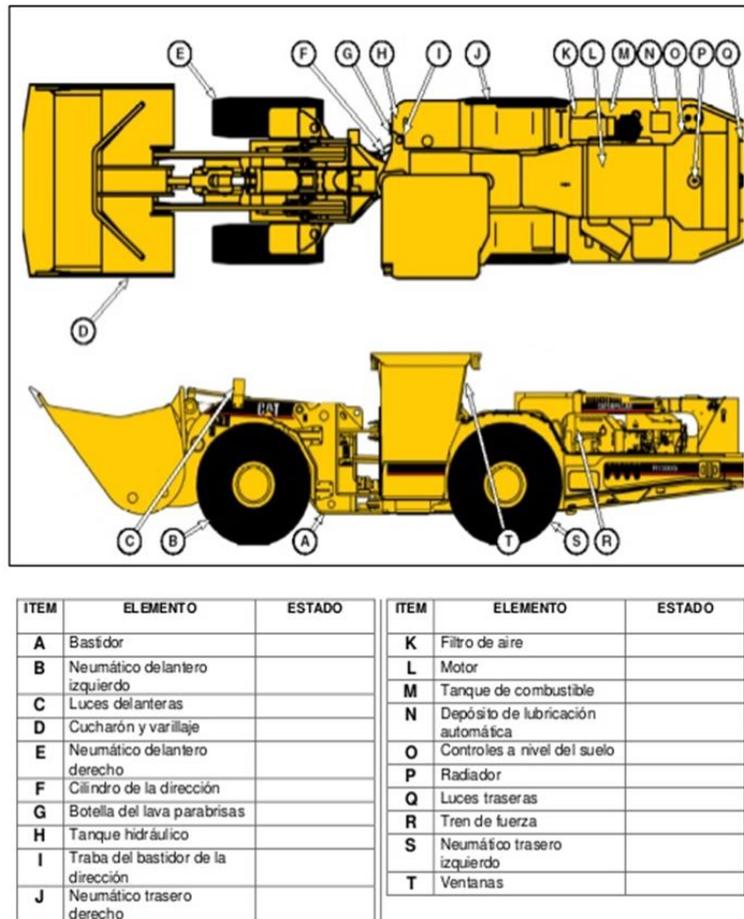
En la siguiente figura se observa las dimensiones del *scooptrams* de manera detallada según el fabricante. (9)



**Figura 2. Dimensiones típicas de un scooptram**  
**Tomado de Introducción a la Minería Subterránea. Vol. III: Construcción de infraestructura de mina en interior**

Principio de funcionamiento de un *scooptrams*, se detalla todas las partes y la función que cumple cada uno de ellas.

En la figura 3 se muestra los componentes principales de accionamiento del *scooptrams*.



**Figura 3. Componentes principales del accionamiento de un Scooptram**  
*Tomado de Introducción a la Minería Subterránea. Vol. III: Construcción de infraestructura de mina en interior*

Estos componentes son impensables tener conocimiento ya que son estos componentes que necesitan mantenimiento. (10)

Equipamiento de accesorios. Lo más principal en accesorios del motor y sus funciones son:

- El equipo para lubricación (10)
- El equipo para el enfriamiento (10)
- El equipo para el combustible (10)

- El equipo para la admisión y escape (10).
- El equipo para la carga (10)
- El equipo para el arranque (10)

Estos accesorios son netamente del motor del *scooptrams*. (10)

El método asume que un equipo repotenciado tiene una operación igual a la de uno nuevo por lo que no considera diferencias de eficiencia entre ellos. ni tiene en cuenta el historial de mantenimiento de los equipos. Esto es una desventaja, sobre todo si se tiene en cuenta que los equipos de la flota son antiguos y adquiridos repotenciados un método de selección de equipos de reemplazo. (10)

En el método de selección de un equipo de reemplazo se asume que un equipo repotenciado tiene una operación igual a la de uno nuevo y sus eficiencias serian parecidas entre ellos (10).

El propósito de este método es el estudio de tiempos del *scooptrams* en relación a sus rendimientos. (10)

#### **b) Método propuesto en la unidad minera Andaychagua**

El método propuesto tiene como componentes:

- El programa de manteamiento, pero se basa solo en las especificaciones del fabricante. Al utilizar un equipo de la misma marca y modelo es ventajoso porque solo el programa de manteamiento sería lo mismo para todos. (10)
- En el método de reemplazo, aquí se realiza una evaluación del costo operativo de transporte, el mantenimiento del equipo, tomando como indicador para su selección de equipo el costo/beneficio anual equivalente. (10)

La desventaja es que necesita de información verídica de los costos de operación y manteamiento y la evaluación financiera que depende de la tasa del mercado. (10)

### **2.4.3 Factores de la selección del sistema de transporte de minerales**

Una vez que se define la geometría del yacimiento a explotar, las principales variables condicionantes para determinar los parámetros de diseño de un block caving es el conjunto de propiedades geomecánicas del macizo rocoso en cuestión (11).

Estos parámetros intervienen de forma tal que individualmente o en conjunto entregan la información necesaria para prever comportamientos, inferir resultados y definir diseños (11). Dependiendo del origen de cada uno de ellos se pueden clasificar básicamente en dos grupos:

- **Característica de la roca in situ**

Este conjunto de características propias del yacimiento es incontrolable en cuanto a su ocurrencia y solo se pueden cuantificar y considerarlas en un análisis para el aprovechamiento de esta información. (11)

- **Características geométricas**

Se encuentran aquellos parámetros que son de potestad exclusiva del ingeniero o diseñador, cuestión implícita que determina alteración o cambio a voluntad de cada uno de ellos, sin perder de vista que los parámetros de la roca acotarán los parámetros geométricos, imponiendo así restricciones a los diseños. (11)

En la siguiente tabla se muestra, los parámetros de la caracterización de la roca in situ y geométrico.

**Tabla 3. Parámetros de la roca y geométricos**

Parámetros de la roca in situ	Parámetros geométricos
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tipo roca;</li><li>• Ley de mineral</li><li>• Estructuras</li><li>• Presencia de fracturas</li><li>• Presencia de agua</li><li>• Alteración</li><li>• Resistencia mecánica</li><li>• Altura de columna</li><li>• Presencia y ubicación de estéril.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tamaño de los equipos</li><li>• Malla de tiraje</li><li>• Área de pilares</li><li>• Altura de pilares</li><li>• Área excavada</li><li>• Ángulo de estocadas de carguío</li><li>• Longitud de estocadas de carguío</li><li>• Tipo de corte inicial</li><li>• Medios de extracción.</li></ul>

**Tomado de Escarcena Guzmán, Renzo: Evaluación de las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad en la unidad minera TACAZA – CIEMSA**

Para un buen estudio de estos parámetros se debe tener en cuenta lo siguiente:

**Tabla 4. Resultados del estudio de la roca y geometría del yacimiento**

De la roca in situ	Geométricos
<ul style="list-style-type: none"><li>• Inferir con cierto grado de certeza, principalmente la hundibilidad de los bloques, el ángulo de subsidencia y el grado de fragmentación</li><li>• Predecir el comportamiento estructural del macizo rocoso, de modo tal que se pueda elegir en una primera aproximación los tipos de fortificaciones necesarias para los diseños propuestos.</li><li>• Elegir la o las variantes de explotación que entreguen diseños acordes al macizo rocoso definido</li><li>• Discriminar en la planificación las áreas a explotar y la secuencia extra.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Un diseño que permita un eficaz hundimiento de los bloques</li><li>• Una adecuada protección de los niveles inferiores al nivel de hundimiento</li><li>• Buena recuperación y eficiencia de ley</li><li>• Facilidad en la operación de los equipos</li><li>• Seguridad en las labores y condiciones ambientales</li><li>• Flexibilidad en cuanto a modificaciones y a cambios de programas</li><li>• Velocidad o ritmo de explotación deseada.</li></ul>

**Tomado de Escarcena Guzmán, Renzo: Evaluación de las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad en la unidad minera TACAZA – CIEMSA**

Sin duda, uno de los factores de mayor incidencia en el manejo de minerales en minería subterránea es la granulometría del mineral, producto del proceso mecánico de la voladura. (12)

El problema de la fragmentación se ha ido agravando a medida que las minas se han ido acercando al mineral primario. (12)

La aplicación de uno u otro sistema de manejo de minerales tiene diferentes beneficios y costos de acuerdo con el caso, la restricción impuesta por estos sistemas puede conducir a la elección de uno u otro según el caso de estudio. (12)

Los aspectos importantes que se deben considerar son:

- **Restricciones sobre la elección de equipo y tránsito de trabajadores**

El sistema de carguío, transporte y descarga de mineral, es la restricción más importante para la operación del traslado de mineral, en la mejora se daría si simplificamos el sistema de carguío, transporte y descarga de mineral lo más simple posible para minimizar costos.

- **Deformación impuesta por el sistema de manejo de minerales**

Al elegir un sistema de carguío, transporte y descarga de mineral, va tener deformaciones es decir se va ir reajustando y adaptando a los equipos utilizados por ejemplo si implementamos el uso de equipos LHD, se debe evaluar las distancias mínimas de operación del equipo para la factibilidad.

- **Capacidad de realizar las construcciones**

El sistema de carguío, transporte y descarga de mineral impone un diseño geométrico de la malla de extracción que no siempre facilita su construcción, las cuales imponen límites en tiempo y costos de la solución aplicada. (5)

Puede ocurrir incluso que la situación proyectada en que el diseño no se pueda llevar a cabo debido a las condiciones de estabilidad. Luego el diseño se obtiene de la prioridad dada por el diseñador al sistema de manejo de minerales contra otros factores tales como la mayor recuperación y menor cantidad de dilución (5).

#### **2.4.4 Diagnóstico y medición de tiempos de los Equipos utilizados en el transporte de mineral en la unidad minera San Cristobal**

- **Diagnóstico de los equipos utilizados en el transporte de mineral unidad minera San Cristobal**

Para realizar un buen diagnóstico se debe partir de una recopilación de datos en forma general de la unidad minera Andaychagua, estos datos deben ser de campo *in situ*, es decir datos de entrada para luego ser procesadas para la mejora en el transporte de mineral. En la siguiente figura se muestra la recopilación y procesamientos de datos para los equipos de carguío y transporte de mineral (13)

De la recolección de datos, utilizaremos lo sombreado de color amarillo ya que, son datos que permitirán mejorar el transporte de mineral en la unidad minera Andaychagua. (13)

- **Estimación del tiempo de los equipos utilizados en el transporte de mineral**

Los equipos de transporte tienen por principal función desplazar el material extraído por el equipo de carguío hacia un punto de destino definido por el plan minero, pueden tener un camino fijo como es el caso de trenes que requieren el tendido de líneas férreas, o bien pueden desplazarse por circuitos definidos, como es el caso de los camiones, además, se pueden dividir en unidades discretas, como es el caso de camiones y trenes, o equipos de transporte de flujo continuo. (14)

Finalmente, se pueden definir los equipos mixtos, que pueden realizar en una sola operación el carguío y transporte del material. El equipo de mayor interés en esta categoría corresponde al Load Haul Dump (LHD), que es una pala de bajo perfil para minería subterránea, que tiene autonomía para realizar eficientemente traslados de hasta 300 metros de material (14), con rendimientos decrecientes en función de la distancia recorrida.

En este acápite se hará una revisión del estado del arte de los equipos que componen el nuevo sistema de manejo de minerales propuesto, siendo éstos los equipos LHD. (14)

El LHD está capacitado para cargar camiones de bajo perfil y camiones convencionales de altura adecuada, puede también descargar sobre piques de traspaso o sobre suelo para que otro equipo continúe con el carguío. (14)

Estos equipos cargan, acarrean y vacían el mineral de forma discreta, por lo que se caracteriza por tener un tiempo de ciclo asociado a cada operación (14). Los tiempos asociados al ciclo son básicamente los siguientes:

- Tiempo de carga ( $T_c$ )
- Tiempo de descarga ( $T_d$ )
- Tiempo maniobra ( $T_m$ )
- Tiempo de viaje con el balde lleno ( $T_{vc}$ );
- Tiempo de viaje con el balde vacío ( $T_{vv}$ ).

Solo los dos primeros son considerados como tiempos fijos, que dependen exclusivamente del equipo en sí, mientras que los restantes son considerados como tiempos variables, pues dependen del estado del camino, distancia de acarreo, carga del equipo (tipo de mineral), pendiente, experiencia del operador, visibilidad, entre otros. (14) Una buena manera de estimar el rendimiento de estos equipos es contar con buena información, fidedigna, del tiempo de ciclo. (14)

El tiempo de un ciclo ( $T_{ciclo}$ ), medido en minutos, de un LHD queda definido como sigue:

#### **Cálculo de tiempo de ciclo para LHD**

$$T_{ciclo} = T_c + T_d + T_m + T_{vc} + T_{vv}$$

El rendimiento horario de una pala LHD se calcula de la siguiente manera:

#### **Cálculo de N° de ciclos por hora para LHD (14).**

$$\text{Número de ciclos } \left( \frac{\text{ciclo}}{\text{hora}} \right) = \frac{60}{T_c + T_d + T_{vc} + T_{vv} + T_m}$$

Donde:

$T_c$ : Es el tiempo que el LHD demora en promedio en cargar el balde en el punto de extracción. Está medido en minutos. (14)

$T_d$ : Es el tiempo que el LHD demora en promedio en vaciar el balde en el punto de vaciado. Está medido en minutos. (14)

Tvc: Es el tiempo que el equipo LHD demora en promedio en viajar desde el punto de extracción hasta el punto de vaciado con el balde lleno. Está medido en minutos. (14)

Tvv: Es el tiempo que el equipo LHD demora en promedio en viajar desde el punto de vaciado hasta el punto de extracción con el balde vacío. Está medido en minutos. (14)

Tm: Es el tiempo que el operador del equipo LHD demora en promedio para realizar las maniobras de un ciclo. Está medido en minutos. (14)

Luego, se calcula el rendimiento de la pala con la siguiente ecuación.

**Cálculo de rendimiento para LHD (14)).**

$$\text{Rendimiento} \left( \frac{\text{toneladas}}{\text{hora}} \right) = \frac{N^{\circ} \text{ ciclo} \cdot Cb \cdot Fll \cdot dmxx}{(1 + esp)}$$

Donde:

N° ciclo: Es el número de ciclo que un equipo LHD es capaz de realizar en una hora. Esta medido en ciclos por hora. (14)

Cb: Es la capacidad de balde que tiene un equipo LHD en particular. Está medida en m<sup>3</sup>. (14)

Fll: Es el factor de llenado que tiene el balde del LHD al momento de cargar. Está medido en tanto por uno. (14)

dmxx: Es la densidad in situ del mineral a transportar. Está medida en t/m<sup>3</sup>. (14)

esp: Es el esponjamiento del mineral, producto de la fragmentación de éste. Está medido en tanto por uno. En la siguiente figura se muestra el perfil de un equipo LHD. (14)

Algunos factores que afectan la productividad y la operación del LHD son: (14)

- Iluminación
- Estado de las pistas de rodado (derrame de carga, impacto en componentes mecánicos, impacto sobre el operador, disminución de velocidad, desgaste de neumáticos que deberían durar 2000-2500 horas según catálogo 3000 horas y puede bajar a 1800 horas). (14)
- Área de carguío (debe tener piso firme para que no se entierre el balde y no genere esfuerzos que puedan dañar el equipo. (14)

- Granulometría del material a cargar (colpas muy grandes disminuyen factor de llenado). (14)
- Vías de tránsito y tráfico
- Áreas de carga y descarga
- Ventilación (polvo y falta de oxígeno)
- Altura sobre el nivel del mar (se pierde 1% de potencia cada 100 metros a partir de los 300 metros sobre el nivel del mar. Para alturas superiores a 1.500 msnm se adicionan turbos) (14).
- Temperatura (cada 2 °C en ascenso se pierde 1% de potencia a partir de los 20 °C)
- Interferencias con otras operaciones mineras, tales como y voladura secundaria. (14)

El mercado de los equipos LHD ofrece una gran variedad de modelos, de diferentes tamaños, con capacidades de balde que van desde 1,7 hasta 14 yd<sup>3</sup>. Según sean las necesidades, se disponen de versiones con accionamiento Diesel o con accionamiento Eléctrico (14).

### **Cálculo de la velocidad de extracción**

La velocidad o tasa de extracción está definida como la cantidad de material que se extrae desde un área determinada durante un tiempo específico (14). Matemáticamente se define como:

#### ***Velocidad de extracción.***

$$V_{ext} \left( \frac{t}{m^2 * día} \right) = \frac{\text{Material extraído (t)}}{\text{Área módulo (m}^2\text{) * Tiempo (día)}}$$

La velocidad de extracción es un índice productivo que se debe se debe considerar un par de aspectos fundamentales como:

- Área de explotación: la tasa de extracción puede ser calculada tanto para cada punto de extracción como para el área de un módulo, lo que en la práctica proporciona resultados muy dispares, pues en general existen puntos que durante el período de cálculo no están activos o extraen muy poco tonelaje, y

otros que se sobre extraen. En la práctica existen restricciones tanto para la velocidad máxima del punto como la del área. (14)

- Tiempo de explotación: este es fundamental, porque la diferencia de resultados del cálculo en distintos tiempos (horas, días, mes, año) es muy diferente, incluso bajo el supuesto de que el valor es llevado a la unidad básica de día (14).. Un punto que extrae durante todo el año a una velocidad  $v$  tiene el mismo índice que un punto que lo hace a  $2v$  en la mitad del tiempo. (suponiendo un cálculo anual) (14). Por esto, es de mucha importancia normalizar los resultados a una escala comparable.

En general, la velocidad de extracción actúa como una cota restrictiva en la creación de un plan minero, pues se sabe que, si un plan considera valores sobre esta cota, no es operativo, y por ende no tiene valor. (14)

En primer lugar, esto es porque no se debe extraer a mayor velocidad que la velocidad en que se va generando el material debido a la propagación del caving (velocidad de propagación). La segunda etapa ocurre inmediatamente después de la primera, y se conoce como velocidad de régimen. (14) En esta parte, el cerro ha alcanzado su fragmentación completa, el *caving* ha llegado a superficie, o ha conectado con material quebrado superior, y por tanto es posible extraer a la velocidad que se quiera, pero restringido por el sistema de manejo de minerales.(14)

#### **2.4.5 Plan de mejora para la situación actual**

Anteriormente la U.M. Andaychagua de Volcan Compañía Minera S.A, cuenta con deficiencias en el transporte de mineral de interior mina, afectando directamente a la productividad, lo cual genera una rentabilidad baja, se encontró problemas como:

- Inadecuada distribución de los volquetes en los puntos de carguío en las labores de profundización que afecta el cumplimiento de producción de la zona de profundización de la U.M. Andaychagua de Volcan Compañía Minera S. A.

- Tiempos improductivos que se producen tanto en el carguío como el acarreo del mineral.
- Mal acoplamiento de equipos entre el volquete y el scooptram al realizar el trabajo de carguío.
- Mal sistema de rutas para el transporte de mineral.

En base a lo señalado se realizó un cronograma de carguío y transporte de mineral con una visión macro de toda la unidad minera Andaychagua, se da conocer el programa de extracción de mineral, proceso operativo, proceso técnico y proceso económico que ayudan mejorar la rentabilidad de la operación unitaria que es el transporte de mineral. En la siguiente figura se describe la organización de carguío y transporte de mineral.

#### **a) Ejecución - aplicación del mejoramiento de carguío y transporte**

Ya habiendo encontrado el problema y establecido un plan de trabajo para la mejora en el transporte con volquetes en forma general de la unidad minera Andaychagua, señalado en la figura anterior.

La organización de carguío y transporte de mineral, obtuvo resultados alentadores en el cumplimiento de extracción de mineral por guardia de 2074 toneladas con 140 viajes (13). Pero existe todavía deficiencias en el factor de acoplamiento de los equipos scooptram y volquete en el trabajo de carguío, por tal motivo se realizó un reajuste en dichos factores y el factor de acoplamiento juega un papel importante, al sumar más factores se tiene más precisión, para mejorar la operación de transporte. (13)

#### **b) Evaluación y control - Cumplimiento de toneladas programadas**

Tras las deficiencias mostradas en el factor de acoplamiento anteriormente se realizó un sistema de carguío y transporte de mineral realizando una evaluación más detallada por equipo y distancia a recorrida. (13)

En la siguiente figura se muestra el sistema de carguío y transporte realizada en el reajuste tras la ejecución en el plan de mejoramiento. (13)

#### 2.4.6 Factor de acoplamiento

Este factor viene a ser la relación del número de volquetes por el ciclo de carguío en el 100% entre el ciclo de transporte y se presenta con la siguiente formula (15):

$$FA = \frac{\# \text{ Volquetes} \times \text{Ciclo\_carguío} \times 100\%}{\text{Ciclo\_transporte}}$$

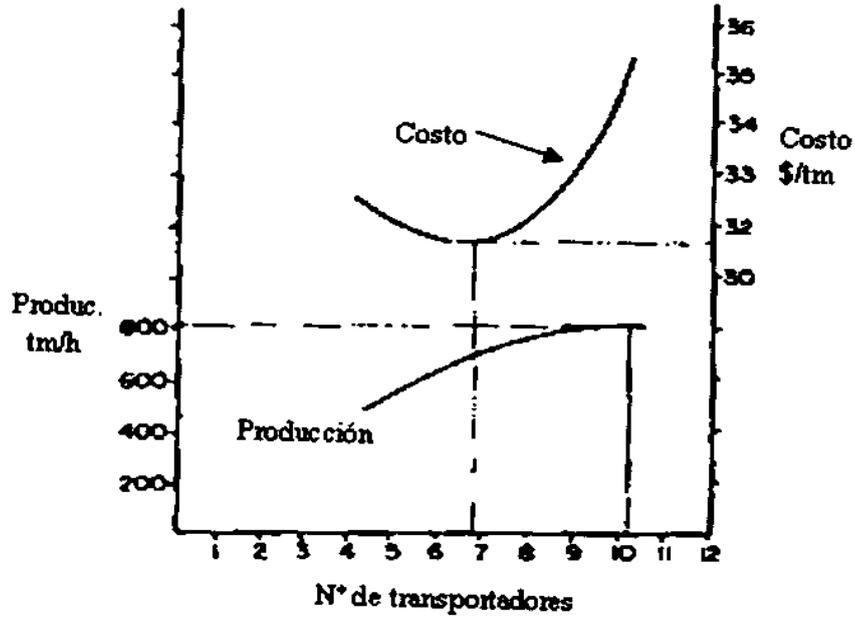
\* Ciclo\_carguío = f(distancia, scoop)  
\* Ciclo\_transporte = f(distancia)

A. Rendimiento de flota (RF): es la presentación de medida del transporte de tonelaje del volquete en una hora. (15)

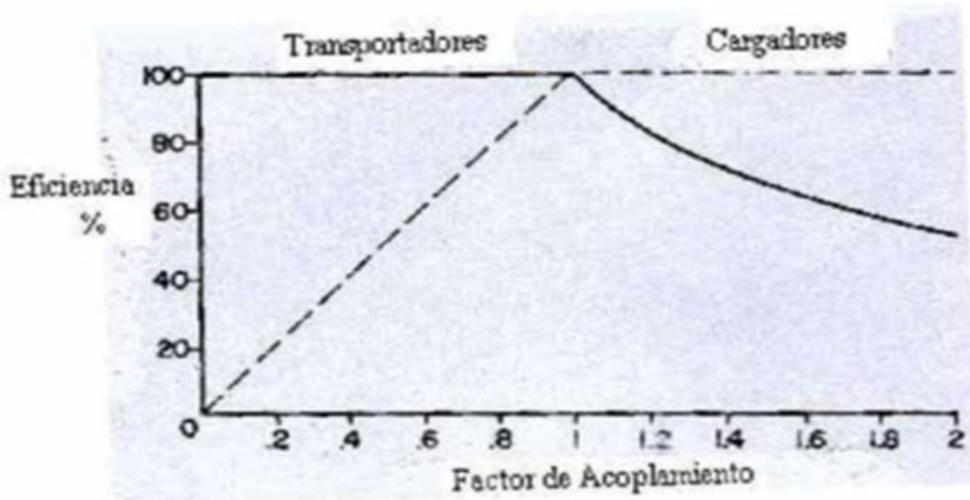
$$RF = \frac{\# \text{ Volquetes} \times \text{Capacidad\_volquete}}{\text{Ciclo\_transporte}}$$

B. Procedimiento:

El objetivo a perseguir es minimizar el costo por unidad de peso y/o maximizar la producción por unidad de tiempo. Estos dos fines generalmente no son coincidentes como se muestra en la siguiente figura. (15)



**Figura 4. Máxima producción y mínimo costo no coincidentes**  
 Tomado de Baldeon Quispe, Zoila: *Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad CIA. Minera Condestable S.A.* (15)



**Figura 5. Eficiencia vs factor de acoplamiento (15)**  
 Tomado de Baldeon Quispe, Zoila: *Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad CIA. Minera Condestable S.A.* (15)

Para la evaluación se cuenta con los siguientes criterios:

FA < 1 cuando hay exceso de scooptram. (15)

FA > 1 cuando hay exceso de volquetes. (15)

FA = 1 cuando el acoplamiento es perfecto. (15)

## 2.5 Conceptos básicos

- **Estándar:** son los modelos, pautas y patrones que contienen los parámetros establecidos por el titular de actividad minera y los requisitos mínimos aceptables de medida, cantidad, calidad, valor, peso y extensión establecidos por estudios experimentales, investigación, legislación vigente y/o resultado del avance tecnológico, con los cuales es posible comparar las actividades de trabajo, desempeño y comportamiento industrial. (16)
- **Acarreo:** traslado de materiales hacia un destino señalado. (16)
- **Costo de operación o de producción mina:** es el total que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por concepto del pago de salarios al personal y de todos los otros gastos relacionados con el desarrollo de la operación. (16)
- **Costo horario de operación:** el costo horario por equipo, es el que se deriva del uso correcto de las máquinas adecuadas y necesarias para la ejecución de los conceptos de trabajo. (16) La práctica de muchos años ha enseñado la conveniencia de estructurar todos los análisis de costos sobre la base del costo de operación por hora de las máquinas y demás elementos que concurren a la ejecución de un trabajo, ya que a su vez los rendimientos de las máquinas siempre se expresan en función de cada hora de trabajo. (16)
- **Rendimiento:** retorno de una inversión en un período determinado, incluidas las ganancias por intereses, dividendos y fluctuaciones de precio. (16)
- **Scooptram:** es un vehículo trackless de bajo perfil, para carga y acarreo de minerales, diseñado sobre todo para realizar trabajos en minas de subsuelo, subterráneas, o en zonas con limitaciones de espacio. (16)
- **Banco de mineral o desmonte:** término usado en minería para definir rocas de diferente tamaño. (16)
- **Chimenea:** abertura vertical o inclinada construida por el sistema convencional y/o por el mecanizado. (16)

- **Dilución:** residuos de roca de bajo grado, inevitablemente retirados con el material en el proceso de minería, que contribuyen a bajar el grado del mineral explotado. Hace referencia al porcentaje de material estéril o de baja ley que se mezcla con el mineral producido por el método de explotación utilizada, y las operaciones complementarias. (16)
- **Fragmentación:** la fragmentación de la masa rocosa removida por la voladura es el resultado de la liberación de esfuerzos establecidos por la presión de la carga detonante. Para lograr un índice aproximado de la fragmentación en diferentes partes de la masa rocosa removida; se sume de un campo de esfuerzo establecido en un punto de la masa rocosa por la acción de la detonación y dependiente de la distancia desde la carga explosiva a aquel punto. (16)
- **Frente:** lugar donde explotan los minerales de interés económico. Superficie expuesta por la extracción. Superficie al final de una labor minera (túnel, galería, cruzada, otras). Lugares donde se ejecutan las tareas de avance y desarrollo de la mina. (16)
- **Macizo rocoso:** es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades. (16)
- **Matriz rocosa:** es el material rocoso exento de discontinuidades o bloques de roca intacta. (16)
- **Tajo:** son las labores temporales destinadas a la extracción de mineral (16).

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1 Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1 Método general o teórico de la investigación**

###### **a) Método general**

En forma general se empleará el método científico, porque se construye a base de datos empíricos *in situ* en las operaciones de transporte en la unidad minera Andaychagua para mejorar la productividad de empresa en base a la evaluación de dichos datos.

###### **b) Método específico**

El método específico a emplear, es el método experimental inductivo – deductivo. Se deduce que el transporte de mineral con volquetes en interior mina, depende primordialmente de los tiempos de los equipos utilizados en el transporte de mineral.

##### **3.1.2 Alcance de la investigación**

###### **a) Tipo de investigación**

La investigación es de diseño no experimental, porque el objetivo de la investigación es determinar el mejoramiento del transporte de mineral, con volquetes en interior mina, evitando demoras operativas e incrementar la producción en la U.M. Andaychagua, de Volcan Compañía Minera S. A. A.

## **b) Nivel de investigación**

Descriptivo porque trata de explicar de qué manera el mejoramiento del transporte de mineral con volquete en interior mina incrementa la producción en la U.M. Andaychagua, de Volcan Compañía Minera S. A. A.

### **3.2 Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es experimental.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

Las rutas del ciclo de transporte de todas las vetas de la U.M. Andaychagua, de Volcan Compañía Minera S. A. A.

#### **3.3.2 Muestra**

La ruta de los ciclos de transporte de la veta Salvadora y veta Adriana a la Parrilla Roberto Letts.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas de análisis de datos**

En la presente investigación se realizará la recolección de datos en campo *in situ* mediante la técnica observacional y procesamiento de datos pasados y actuales en la operación de transporte con volquete volvo y *scooptram* Ferreyros Cat.

Para la recolección de datos de los tiempos de transporte de los equipos, rutas y otros se utilizó hojas de cálculo para el almacenamiento de datos, se usó tesis, libros, catálogos del equipo de perforación y laptop para el procesamiento de los datos.

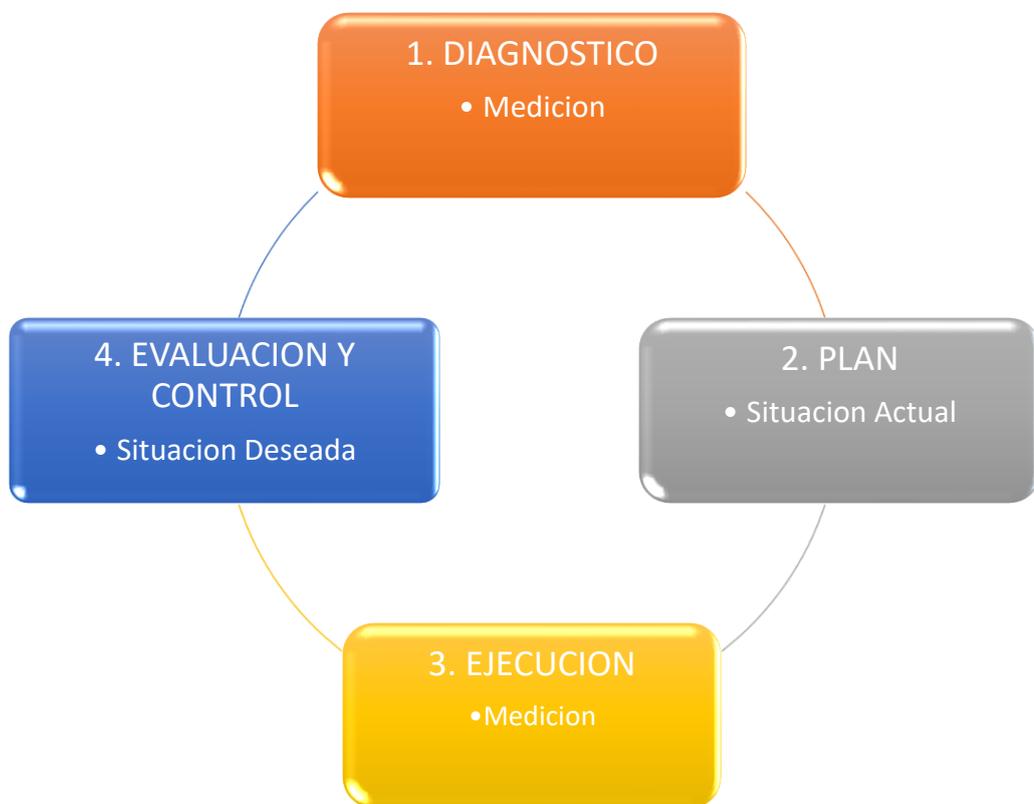
#### **3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

Para la investigación se utilizará como instrumento de campo: cuaderno de notas, planos, reporte de operaciones de transporte, y herramientas de gestión de la empresa de CN Minería y Construcción S. A. C.

### 3.4.3 Metodología de mejora continua para el transporte de mineral con volquete en interior mina para incrementar la producción unidad minera Andaychagua

La operación unitaria de transporte, se da en forma rutinaria por ello se tiene que ir mejorando cada vez que se valla profundizando en los trabajos de extracción de mineral

En la siguiente figura se muestra, el proceso cíclico de mejora continua para el transporte de mineral con volquetes.



**Figura 6. Metodología de mejora continua para el transporte de mineral con volquete en interior mina para incrementar la producción unidad minera Andaychagua**

Como se observa en la figura, se realizó cuatro pasos cíclicos de mejora continua:

**Paso 1:** Diagnóstico - Medición de tiempos de acarreo y transporte

En este primer paso se evalúa el estudio situacional, la información *in situ* recibida y comprobada en su veracidad proveniente de los reportes de operaciones de transporte por los operadores de los volquetes.

Los detalles del reporte de transporte anexo 2 sirve como indicador de problemas para realizar mejoras operativas en el proceso de transporte de mineral con volquetes.

**Paso 2:** Plan - Situación Actual (planificación para el mejoramiento)

Para cada guardia de trabajo, ya sea de día o noche, se aplica un criterio analítico profesional de ingeniería, porque se cuenta con una variabilidad de puntos de carguío, lo cual se debe estar ajustando según lo requerido, sin descuidar el tonelaje programado.

En base a lo aprendido se podrá establecer un plan de mejora con alternativas de solución mejorando la planificación en la distribución de los equipos, optimizando tiempos operativos de transporte y minimizando costos.

**Paso 3:** Ejecución - Aplicación del mejoramiento de carguío y transporte

Ya identificado el problema y establecido un plan de trabajo para la mejora en el transporte con volquetes se analiza el número adecuado de equipos para el transporte de mineral que permita un presupuesto menor. Se empezó a calcular el número de flotas óptimas para producir más, pero a menor costo.

**Paso 4:** Evaluación y control - Cumplimiento de toneladas programadas

A fin de guardia, ya sea turno día o noche, se debe cumplir con las toneladas programadas, tras un previo control en el tercer paso de la ejecución del mejoramiento del transporte.

El monitoreo del cumplimiento en el cálculo de volquetes por frente y evitar demoras por el tráfico de equipos. Durante toda guardia surge imprevistos y es aquí donde se evalúa para un reajuste de trabajos para el transporte de volquetes óptimo, reajustes como:

- Reajuste del número de volquetes por frente, por motivos de término de mineral en el frente, equipo *scooptram* inoperativo, falta de operador etc.
- Evaluación de vías alternas para el transporte, por motivos de mantenimientos de vías, trabajos de servicios, ventilación etc.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Análisis de la mejora del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la unidad minera Andaychagua**

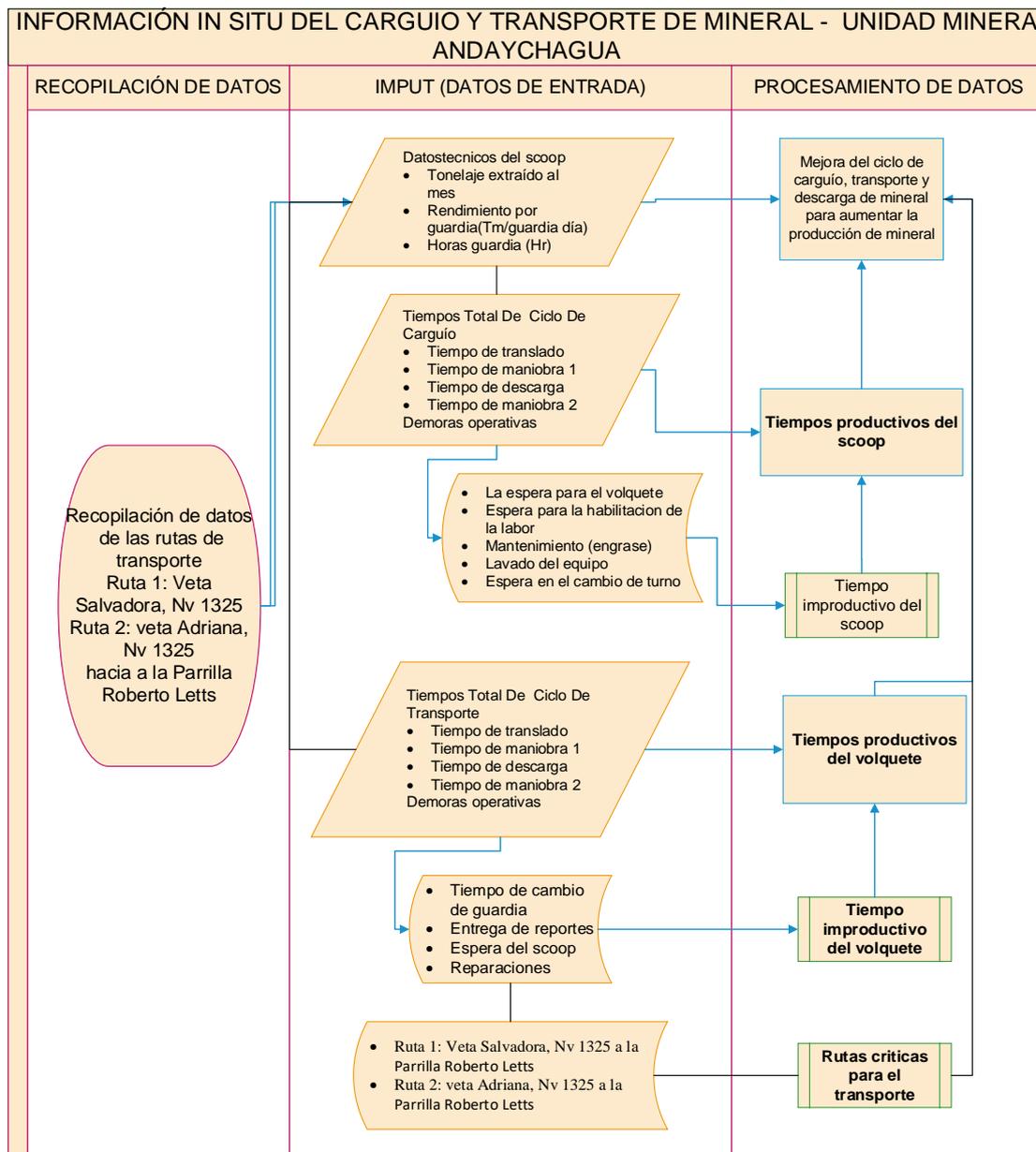
Para un análisis de la mejora del ciclo de carguío, transporte y descarga del mineral se debe de evaluar la información primordial que necesitamos para poder procesarla para la unidad minera San Cristobal. Se tomó en cuenta el programa de producción del día a día, mes a mes en el periodo a corto plazo; es decir, en el tiempo de un año que fue analizado en el campo *in situ* se cuenta con el tonelaje extraído al mes, rendimiento por guardia (t/guardia día) y horas guardia (h), como también el tiempo total de ciclo de carguío del *scooptram* y demoras improductivas y el tiempo total de ciclo de transporte de volquetes y demoras improductivas que fueron procesados por métodos prácticos. Se determinó el rendimiento del *scooptrams* en relación a la optimización de costos y los tiempos productivos e improductivos de ambos equipos.

##### **4.1.1 Medición de los datos fundamentales para los equipos de carguío y transporte de mineral en la unidad minera Andaychagua**

Para una eficaz evaluación, se tiene que partir de las rutas que va a transportar los volquetes, los datos de entrada figuran los datos técnicos del *scooptram*, tiempo del ciclo de carguío y tiempo del ciclo de transporte.

En la siguiente tabla se muestra la metodología de la recopilación de la información in situ del carguío y transporte de mineral Unidad Minera San Cristobal

**Tabla 5. Metodología de la recopilación de la información in situ del carguío y transporte de mineral unidad minera Andaychagua**



**Interpretación:**

La implementación de esta metodología para la recopilación de la información *in situ* del carguío y transporte de mineral en la unidad minera Andaychagua, tuvo buenos resultados en el procesamiento de los datos de los equipos a fin de mejorar

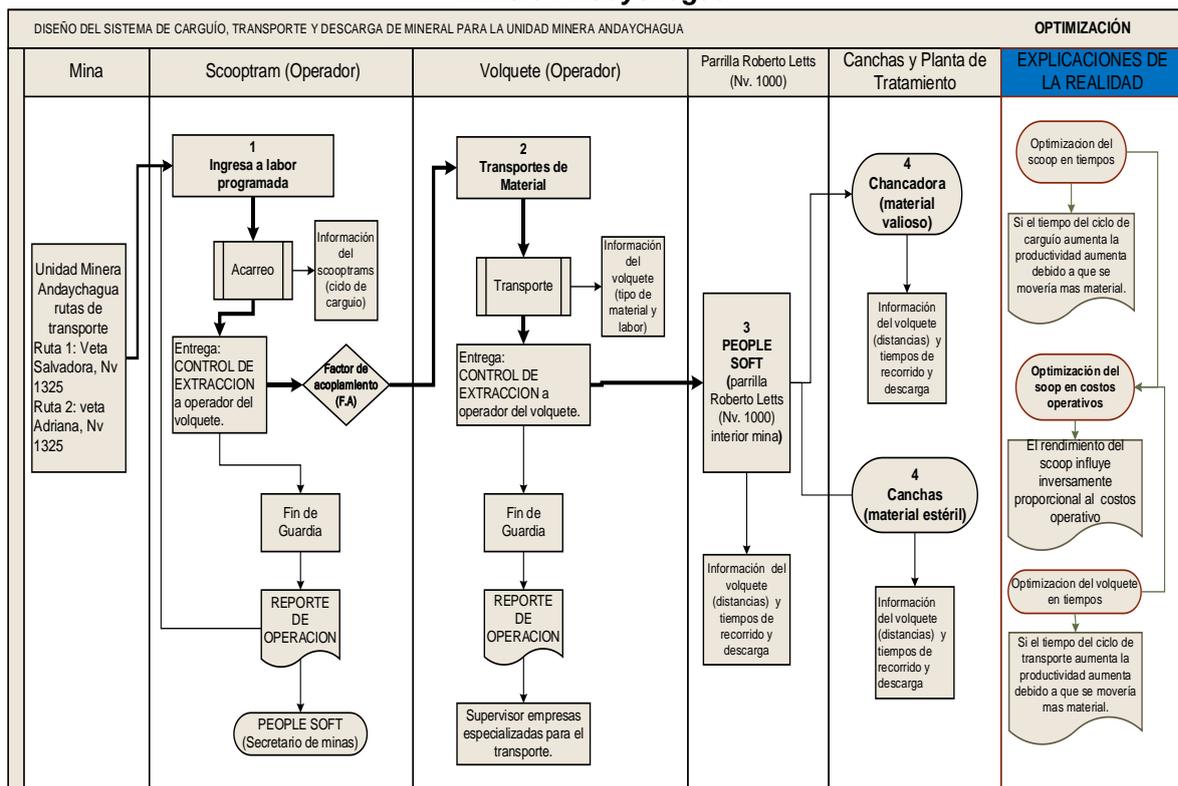
el ciclo de carguío y transporte de mineral y se aumentó en la producción de mineral programada.

#### 4.1.2 Diseño del sistema de carguío, transporte y descarga de mineral para la unidad minera Andaychagua

Para la unidad minera Andaychagua se tuvo en cuenta la unidad minera, los equipos utilizados (*scooptram* y volquetes), parrilla Roberto Letts (Nv. 1000) interior mina, cancha de planta de tratamiento y por último la optimización de dichas rutas de trabajo para maximizar la producción.

En la siguiente tabla se muestra el diseño del sistema de carguío, transporte y descarga de mineral para la Unidad Minera Andaychagua

**Tabla 6. Diseño del sistema de carguío, transporte y descarga de mineral para la unidad minera Andaychagua**



#### Interpretación:

Según el análisis en el diseño del sistema de carguío, transporte y descarga de mineral para la unidad minera Andaychagua, lo más óptimo es realizar las rutas siguientes:

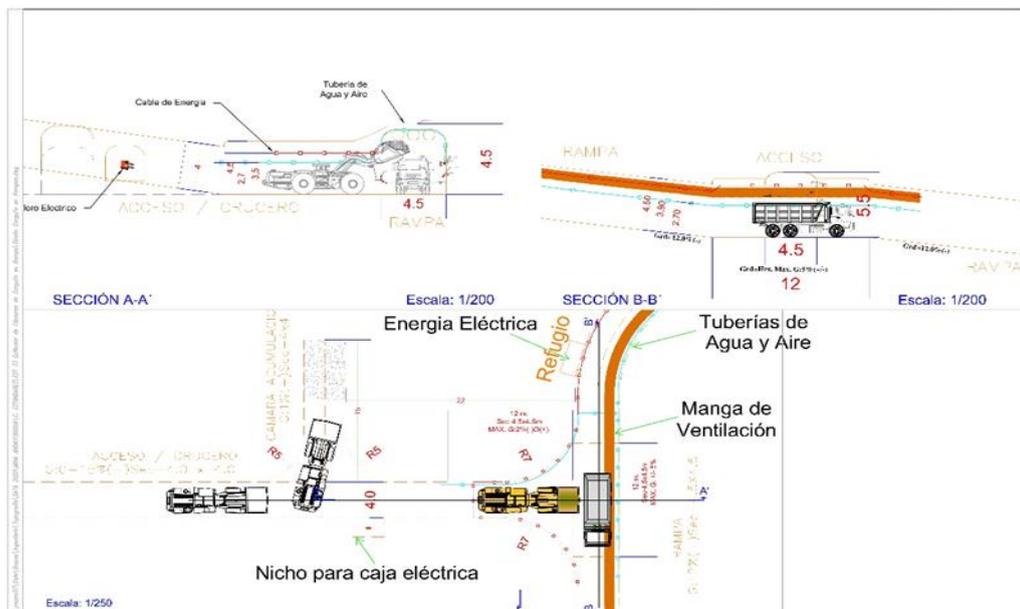
- Veta Salvadora (Nv. 1325) tajo cámara 5 (frente), con destino a la parrilla Roberto Letts (Nv. 1000).
- Veta Adriana (Nv. 1325), tajo 600, con destino a la parrilla Roberto Letts (Nv. 1000).

Los equipos utilizados para los trabajos de carguío son los LHD – *scooptrams* cuya capacidad de cuchara es de 6 yd<sup>3</sup> y Volquetes Volvo FMX con capacidad de 10 m<sup>3</sup>.

La unidad minera Andaychagua cuenta con dos turnos de trabajo en los siguientes horarios:

- Guardia de día: De 6:00 a.m. a 4:00 p.m.
- Guardia de noche: de 6:00 p.m. a 4:00 a.m.

Las horas efectivas de trabajo son en promedio 8 horas y como mínimo 6 horas de trabajo, en el mes nos da 180 horas. En la siguiente figura se muestra el diseño de carguío con los equipos Scooptram y volquetes en rampas.



**Figura 7. Diseño de carguío con los equipos scooptram y volquetes en rampas**

#### 4.1.3 Descripción de los equipos utilizados en el carguío y transporte, en la unidad minera Andaychagua

En los trabajos de carguío y transporte se utilizan los siguientes equipos mencionados en la tabla siguiente:

**Tabla 7. Maquinaria y/o equipo de carguío y transporte**

Máquina y/o equipo	Cantidad	Capacidad
Scooptram Ferreyros Cat	02	6 Yd <sup>3</sup>
Volquetes Volvo FMX	12	10 m <sup>3</sup>

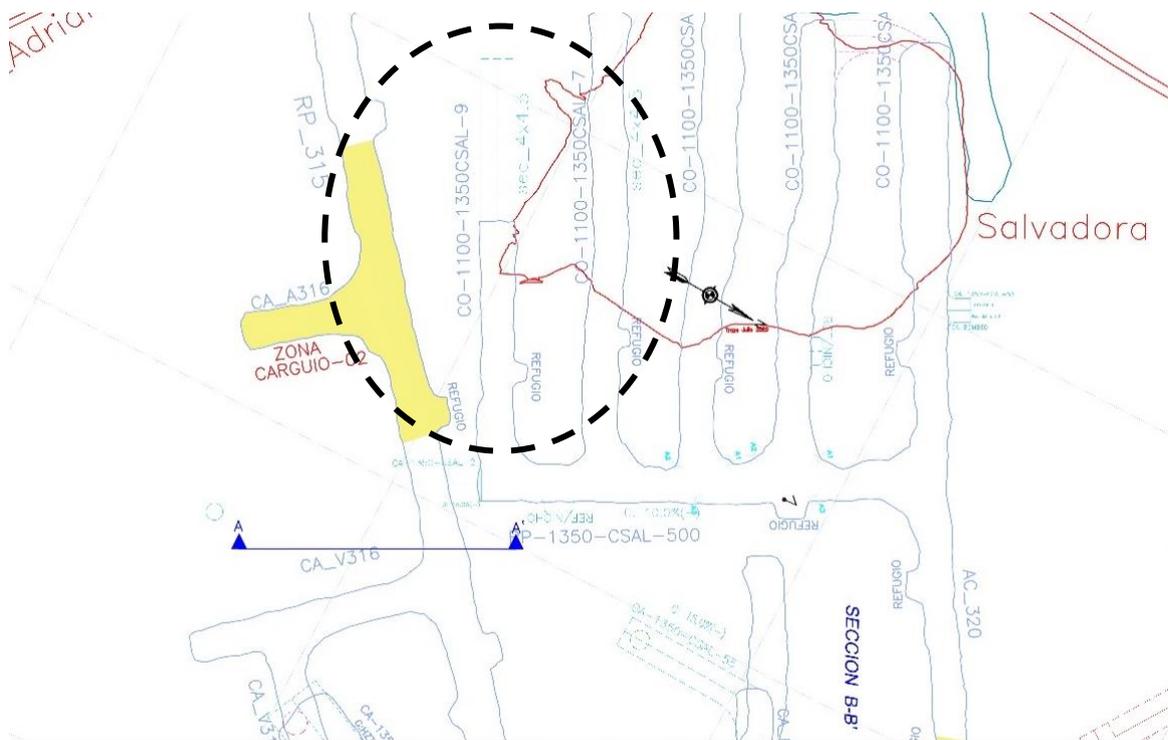
De la tabla se muestra el total de equipos utilizados en la unidad minera Andaychagua.

#### 4.1.4 Descripción de la ruta de transporte de la unidad minera Andaychagua

En profundización se tiene dos rutas de transporte de mineral, los cuales se describen a continuación:

##### a) Ruta 1 - veta Salvadora

- Extracción de mineral de frentes
- Nivel 1250
- Mineral de la cámara 5
- Zona de carguío: Rampa 315 entre *bypass* 315
- Distancia media: 5,0 km a la parrilla Nv. 1000 (Roberto Letts)
- Equipo de carguío: *scooptram* SC – 663 de 6 yd<sup>3</sup>. (carga 3 cucharas)
- Equipo de transporte: volquete CN – 420, 6 x 4



**Figura 8. Lugar del carguío en la veta Salvador, unidad minera Andaychagua**

#### **b) Ruta 2 - veta Adriana**

- Extracción de mineral del método de minado por corte y relleno descendente
- Nivel 1325
- Tajo 600 (mineral)
- Zona de carguío: Acceso 335
- Distancia media: 4,8 km a la parrilla Nv. 1000 (Roberto Letts)
- Equipo de carguío: *scooptram* SC – 665 de 6 yd<sup>3</sup>. (carga 3 cucharas)
- Equipo de transporte: volquete CN – 435, 6 x 4





**Figura 10. Equipo de carguío scooptram de Ferreyros CAT**



**Figura 11. Equipo de transporte volquete Volvo**

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones técnicas de los equipos de carguío y transporte.

**Tabla 8. Parámetros técnicos de los equipos de carguío y transporte utilizados en la unidad minera Andaychagua**

	Modelo	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Tiempo de ciclo de carguío (min).	Velocidad de transporte (km/h).
Equipo de carguío	Scooptram	4,3	4,6	-----
	Ferreyros Cat de 6 yd <sup>3</sup>			
Equipo de transporte	Volquete	9,4	-----	25
	Volvo FMX			

#### **4.2 Optimizar el ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral de las labores subterráneas a superficie para minimizar los tiempos perdidos en transporte en la unidad minera Andaychagua**

El análisis comparativo de la situación actual a la optimización del ciclo de carguío y transporte, en esta investigación se evaluará el carguío y transporte de mineral procedente de las vetas hacia el pique de la parrilla Roberto Letts; la cual transportará a superficie. Según el criterio de análisis se recopiló los datos de la proforma de la tabla N°5. Dichos datos fueron tomados *in situ* en las vetas Salvadora y veta Adriana hacia la parrilla del pique Roberto Letts. Se evaluó distancias y tiempos en ambos equipos de carguío (*scooptram*) y transporte (volquete) en la unidad minera Andaychagua.

##### **4.2.1 Análisis de la situación actual**

Se tomó los datos en campo *in situ* de las distancias y tiempos de ida como de vuelta de los equipos de carguío y transporte en ambas vetas teniendo los siguientes resultados mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 9. Distancias y tiempos de ida: carguío, transporte y descarga (vetas - parrilla Roberto Letts)**

Lugares ambas vetas	Subtotales
Distancia de by pass a rampa	60 m
Tiempo volquete cargado (velocidad de 3 a 6 km/h)	0,6 min
Distancia de inicio de rampa a parrilla (m)	4 640 m
Tiempo volquete cargado (velocidad de 8 a 12 km/h)	43 min
Tiempo de carga – descarga del material y tiempo de espera	18,6 min
Distancia total	4 700
Tiempo total del ciclo (ida)	62,2 min

En la siguiente tabla se muestra las distancias y tiempos de vuelta hacia la parrilla Roberto Letts a Vetas.

**Tabla 10. Distancias y tiempos de vuelta (parrilla Roberto Letts a Vetas)**

Lugares ambas vetas	Subtotales
Distancia de by pass a rampa	60 m
Tiempo volquete vacío (velocidad de 3 a 6 km/h)	0,3 min
Distancia de parrilla a inicio de rampa (m)	4 640 m
Tiempo volquete vacío (velocidad de 8 a 12 km/h)	20 min
Tiempo de regreso y tiempo de espera para cargar mineral	08,6 min
Distancia total	4 700
Tiempo total del ciclo (ida)	28,9 min

En la siguiente tabla se muestra el resumen de las distancias y tiempos de carguío y transporte en promedio para las dos vetas Salvadora y Adriana.

**Tabla 11. Resumen de distancias y tiempos de carguío, transporte y descarga (vetas – parrilla Roberto Letts)**

Lugares ambas vetas	Subtotales
Total, tiempo ciclo volquete cargado	62,2 min
Total, tiempo ciclo volquete vacío	28,9 min
Tiempo total del ciclo ida y vuelta	91,1 min

### **Interpretación:**

En el resumen de la tabla se muestra los tiempos tomados durante 30 días en las actividades correspondientes, el ciclo de carguío, transporte y descarga se tiene un tiempo en promedio de 91.1 minutos.

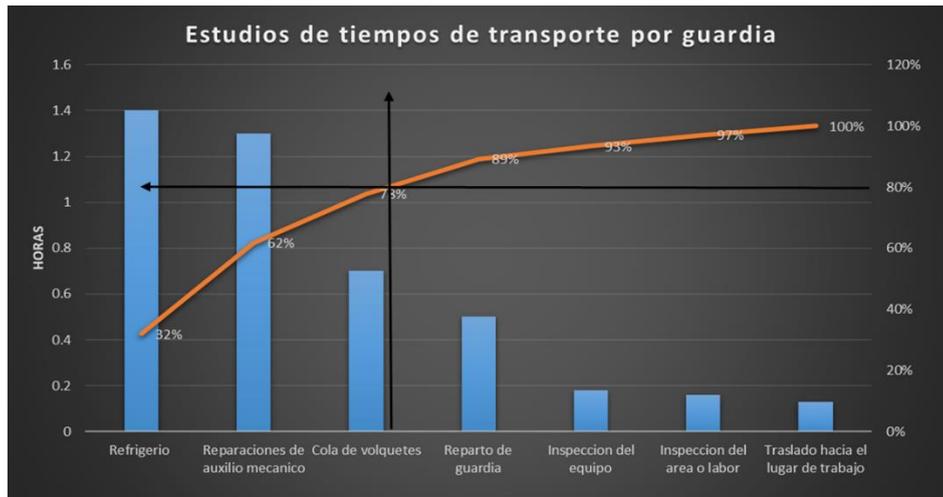
Estos tiempos son el reflejo de demoras en el refrigerio, reparaciones mecánicas, cola de volquete, reparto de guardia, inspección del equipo y otros más, pero estas demoras se reflejan en el tiempo del ciclo de ida y vuelta en el carguío, transporte y descarga de mineral.

### **4.2.2 Análisis de estudios para la optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral**

#### **a) Estudio situacional del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral**

Para la mejora de las actividades que intervienen en el ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral, se evaluó con el diagrama de Pareto, las actividades que nos están quitando mucho tiempo en el ciclo de carguío, transporte y descarga.

Se pudo identificar y corregir los tiempos improductivos del ciclo de carguío, transporte y descarga; en la siguiente figura se muestra el diagrama de Pareto.



**Figura 12. Mejora de tiempos de transporte por guardia**

### Interpretación:

En la figura se muestra tres actividades que se sitúan antes del 80%, según el diagrama de Pareto son las actividades críticas en donde hay que mejorar, donde:

- El refrigerio es un tiempo determinado e imposible de reducirlo porque es parte del sistema de labor.
- La cola de los volquetes y las reparaciones mecánicas, son nuestros tiempos improductivos en que optimizar y mejorar.

En esta investigación se va a optimizar la cola de los volquetes, apoyándonos al factor de acoplamiento de los equipos *scooptram* y volquete, esta mejora será justificado con la reducción de costos del carguío y transporte de mineral.

### b) Aplicación de la teoría de colas

Con el modelo de toma de decisiones se minimizo los tiempos productivos que se presentan en el carguío y transporte de mineral, haciendo una comparación de cómo estaba funcionando el ciclo de carguío y transporte antes y después de la optimización. Como muestra se tomó los datos del primer tramo veta Salvadoria hacia la parrilla Roberto Letts

En la siguiente se muestra la teoría de colas del antes y después de la optimización.

**Tabla 12. Resumen de la teoría de colas en la situación actual y el óptimo**

ANTES		ÓPTIMO	
Teoría de colas antes		Teoría de colas aplicado a nuestra flota optimizada	
Datos iniciales (situación actual)		Datos iniciales (situación óptima)	
Velocidad de llegada:	$\lambda = 9$	Velocidad de llegada:	$\lambda = 10$
Tiempo de servicio:	$t\mu = 4,5$ minutos	Tiempo de servicio:	$t\mu = 4,5$ minutos
Máximo de clientes en la cola:	$k = 4$ ( $k_{lim} = 500$ )	Máximo de clientes en la cola:	$k = 2$ ( $k_{lim} = 500$ )
Numero de servidores:	$s = 1$	Numero de servidores:	$s = 1$
Factor de tiempo:	$ft = 60$	Factor de tiempo:	$ft = 60$
Resumen de resultados (situación actual)		Resumen de resultados (situación óptima)	
Velocidad de servicio:	$\mu = 13,33$	Velocidad de servicio:	$\mu = 13,33$
No. Mínimo de servidores:	$s_{min} = 1$	No. Mínimo de servidores:	$s_{min} = 1$
Rendimiento:	$\rho = 0,6750$	Rendimiento:	$\rho = 0,7500$
Rendimiento real:	$\rho_r = 0,6750$	Rendimiento real:	$\rho_r = 0,7500$
Clientes que llegan:	$\lambda = 9$	Clientes que llegan:	$\lambda = 10$
Clientes que se quedan:	$\lambda p = 9$	Clientes que se quedan:	$\lambda p = 10$
Clientes que se van:	$\lambda - \lambda p = 0$	Clientes que se van:	$\lambda - \lambda p = 0$
Longitud de la cola:	$L = 1,26$	Longitud de la cola:	$L = 0,81$
Clientes en espera:	$Lq = 0,59$ igual a 1	Clientes en espera:	$Lq = 0,06$ igual a 0
Tiempo de carguio:	$W = 8,41$ Minutos	Tiempo de carguio:	$W = 4.81$ Minutos
Tiempo de espera en la fila:	$Wq = 3.91$ Minutos	Tiempo de espera en la fila:	$Wq = 0.36$ Minutos

### Interpretación:

En la tabla se muestra la teoría de colas para ambas situaciones el actual y el óptimo.

### 4.3 Mejorar la planificación y control de los tramos de transporte de mineral de las labores subterráneas a superficie para incrementar la producción en unidad minera Andaychagua.

Evaluaremos el factor de acoplamiento de los equipos en la unidad minera Andaychagua y esa mejora será justificada en base a la reducción de costos del carguio y transporte de mineral.

#### 4.3.1 Evaluación y Calculo del factor de acoplamiento (F.A)

Para nuestro cálculo se toma los siguientes criterios conceptuales:

- Si el  $FA < 1$  Cuando hay exceso del equipo de carguío scooptram, es decir el Scooptram espera al volquete.
- Si el  $FA > 1$  cuando hay exceso de volquetes, es decir hay cola de volquetes.
- Si el  $FA = 1$  cuando el acoplamiento es perfecto.

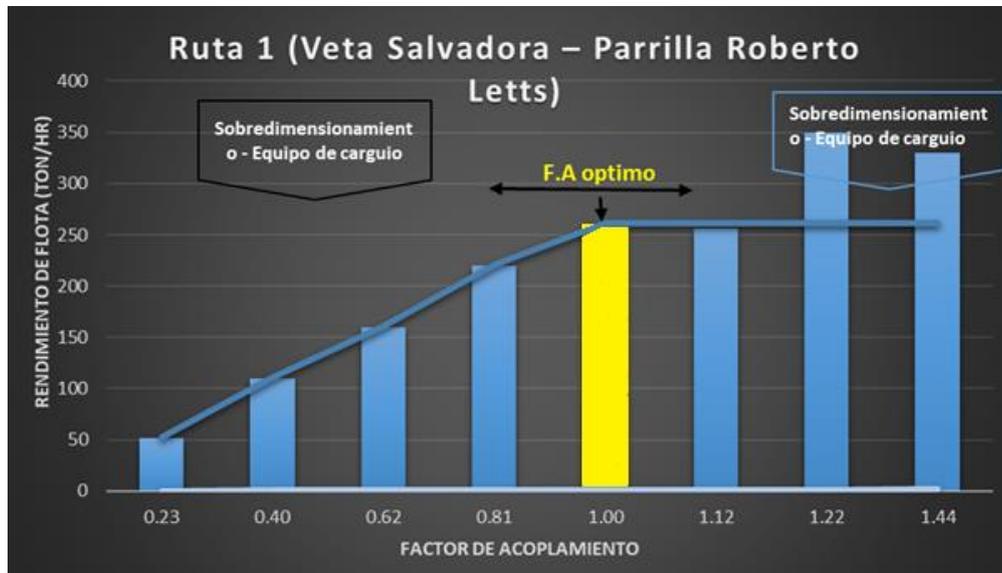
En la siguiente tabla se muestra los parámetros técnicos de los equipos para el desarrollo del factor de acoplamiento.

**Tabla 13. Parámetros técnicos para cálculo del factor de acoplamiento**

Densidad de mineral	Capacidad de volquete	Producción máxima de scooptram (t/h)	Factor de llenado real	Ciclo promedio de scooptram (min)
2,8 t/m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>	120	90%	3,5

El tiempo promedio hallado de la tabla ayudará al cálculo del factor de acoplamiento y rendimiento de flota para cada tramo de acuerdo con la distribución de los volquetes dada por la empresa contratista minera.

En la siguiente figura se muestra la ruta 1 de la veta Salvadora hacia la parrilla Roberto Letts.

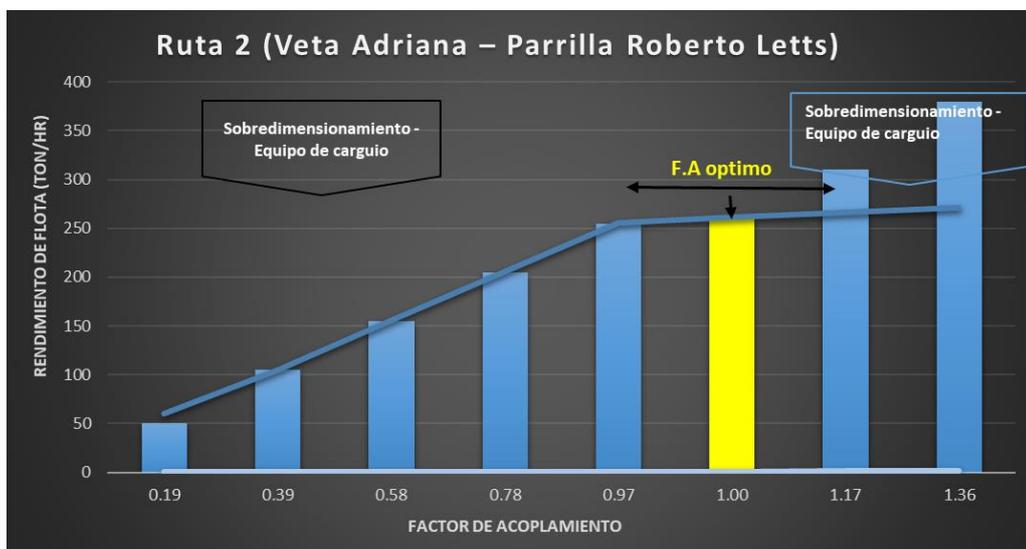


**Figura 13. Ruta 1 - veta Salvadora hacia la parrilla Roberto Letts**

**Interpretación:**

La flota actual con 4 volquetes, genera sobredimensionamiento del equipo de transporte provocando colas, para la Ruta 1 en la veta Salvadora según el cálculo el factor de acoplamiento óptimo es de 3 volquetes aquí no se generaría sobredimensionamiento.

En la siguiente figura se muestra la ruta 2 de la veta Adriana hacia la parrilla Roberto Letts



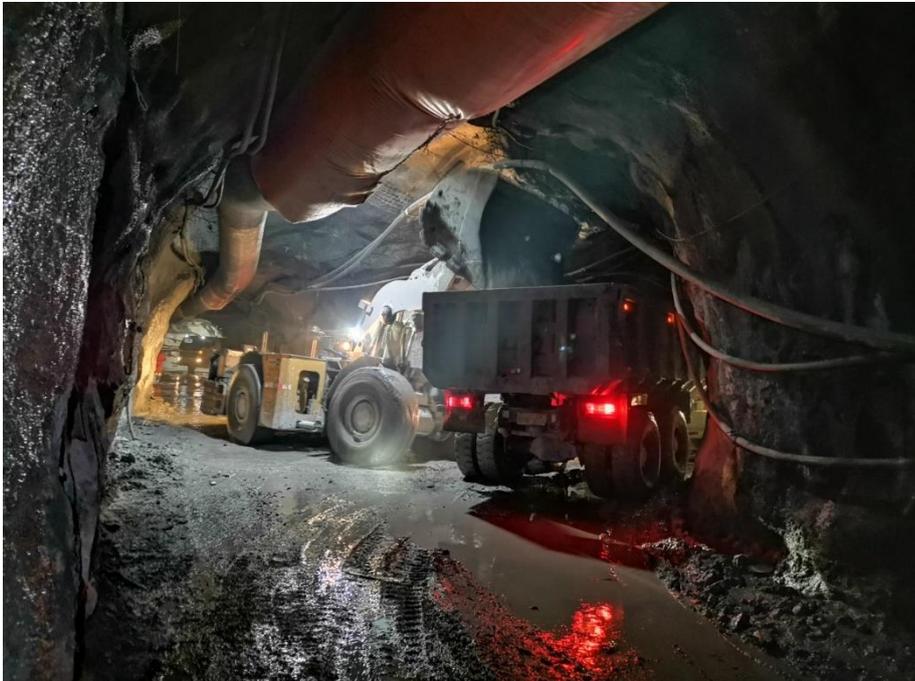
**Figura 14. Ruta 2 - veta Adriana hacia la parrilla Roberto Letts**

**Interpretación:**

La flota actual con 4 volquetes genera sobredimensionamiento del equipo de transporte provocando colas, para la Ruta 2 en la veta Adriana; según el cálculo el factor de acoplamiento óptimo es de 3 volquetes aquí no se generaría sobredimensionamiento.

Se reduce la probabilidad de encontrar volquetes en la cola disminuye.

En la siguiente figura se muestra el factor de acoplamiento *in situ* del carguío y transporte de los equipos *scooptram* y el volquete



**Figura 15. Factor de acoplamiento *in situ* del carguío y transporte de los equipos *scooptram* y el volquete**

En la siguiente figura se muestra la parrilla Roberto Letts del nivel 1000.



**Figura 16. Parrilla Roberto Letts del nivel 1000**

En la siguiente tabla se muestra el resumen del ciclo y flota optima de la ruta 1 veta Salvadora y ruta 2 veta Adriana hacia la parrilla Roberto Letts.

**Tabla 14. Resumen del ciclo carguío y transporte de la flota óptima**

Rutas	Distancia a cada tramo (m)	Número de volquetes	Ciclo (min)		Factor de acoplamiento	Rendimiento de flota
			Carguío	Transporte		
Veta Salvadora – Parrilla Roberto Letts	5 000	3	4,6	78,2	1	268
Veta Adriana – Parrilla Roberto Letts	4 800	3	4,6	77,4	1	263

## Interpretación:

De la tabla se muestra lo siguiente:

El número de volquetes óptimo es 3 para la ruta 1 veta Salvadora y ruta 2 veta Adriana hacia la parrilla Roberto Letts.

### 4.3.2 Realización de la estructura de precios unitarios para el carguío y transporte de mineral en la unidad minera Andaychagua

Según las optimizaciones realizadas en tiempos y en equipos se realizó la estructura de los parámetros importantes para poder cuantificar el costo por tonelada en función a los kilómetros de recorrido del equipo (\$/t-km).

En la siguiente tabla se muestra la estructura de los parámetros importantes para el cálculo del valor unitario.

**Tabla 15. Parámetros para el cálculo del valor unitario (\$/t-km)**

Transporte de mineral		
Produccion (t/día)	332	t
Densidad de Material	2.80	t/m <sup>3</sup>
Promedio en distancia (ruta 1 y ruta 2)	5.00	km
Dias trabajados	30	
Horas por día	13	
Equipos de carguio (Scooptram)		
Consumo de Combustible	4.00	Gal/h
Traslado del equipo	0.95	h
Factor de llenado real	90%	
Equipos de transporte (Volquete volvo)		
Consumo de Combustible	3.00	Gal/h
Capacidad	9.40	m <sup>3</sup>
Factor de traslado real	90%	
Traslado del equipo	0.65	h

Estos datos son importantes para la elaboración del costo unitario, pero a esto se le suma el costo horario de equipo *scooptram* R 1600 H que se muestra en el anexo 3. El costo unitario del equipo de transporte volquete volvo FMX se muestra

en el anexo 4. El costo del precio de los materiales, en el anexo 5. Las remuneraciones y salarios se muestran en el anexo 6.

En la siguiente tabla se muestra la estructura del precio unitario por tonelada y kilómetro en función al equipo de carguío y transporte.

**Tabla 16. Estructura del precio unitario por tonelada y kilómetro en función al equipo de carguío y transporte**

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Cantidad	Costo Unitario	Vida Util	Costo Parcial	Costo Total
			(Personas)	(Incidencia)	US\$/Unidad		US\$	US\$/ton-km
<b>1.00</b>	<b>Carguío y transporte de mineral</b>						<b>981.15</b>	<b>0.47</b>
<b>1.01</b>	<b>Mano de Obra</b>						<b>384.51</b>	
	supervisor	Gdia	1	40%	195.89		78.36	
	Operador de Volquete	Gdia	1	100%	58.67		58.67	
	Capataz	Gdia	1	100%	77.01		77.01	
	Mecánico	Gdia	1	100%	104.48		104.48	
	Operador Scoop	Gdia	1	100%	66.00		66.00	
<b>1.02</b>	<b>Materiales e insumos</b>						<b>0.39</b>	
	Lampa	unid	1	60%	0.28		0.17	
	Pico	unid	1	60%	0.37		0.22	
<b>1.03</b>	<b>Equipos</b>						<b>552.63</b>	
	Combustible	Gal		26.80	7.75		207.70	
	Scooptram	hr		13.55	96.88			
	Volquete	hr		13.25	26.03		344.93	
<b>1.04</b>	<b>Herramientas y EPP</b>						<b>43.62</b>	
	Implementos de seguridad	Gdia	5.00		6.28		31.41	
	Herramientas	Gdia	1.00		6.44		6.44	
	Lamparas Mineras	Gdia	5.00		1.16		5.78	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (US\$/ton-km)</b>							<b>0.47</b>	
Utilidad Costo Directo					10%		0.05	
Gastos generales (% del Costo Directo)					22%		0.10	
<b>COSTO TOTAL (US\$/ton-km)</b>							<b>1.20</b>	

### Interpretación:

El costo total por la operación minera del carguío y transporte por kilómetro es de 1.20 \$/t-km, esto nos dice que para la unidad minera Andaychagua en la ruta 1 de la veta Salvadora a la parrilla Roberto Letts y la ruta 2 de la veta Adriana a la parrilla Roberto Letts, nos da ese mismo costo respectivamente.

En la siguiente tabla se muestra la optimización del ciclo de carguío y transporte en función a costos de la Unidad Minera Andaychagua.

**Tabla 17. Optimización del ciclo de carguío y transporte en función a costos en la unidad minera Andaychagua**

	Actual	Óptimo
Número de equipos volquetes (F.A)	4	3
Número de equipos Scooptram	1	1
Ruta 1 - Veta Salvadora (km)	5	5
Ruta 2 - Veta Adriana (Km)	4.8	4.8
Ruta 1 - Veta Salvadora (\$/t)	6.00	6.00
Ruta 2 - Veta Adriana (\$/t)	5.76	5.76
Costo del carguío y transporte - Veta Salvadora (\$/t)	24.00	18.00
Costo del carguío y transporte - Veta Adriana (\$/t)	23.04	17.28
Optimización del carguío y transporte - Veta Salvadora (\$/t)	6.00	
Optimización del carguío y transporte Veta Adriana (\$/t)	5.76	
Tonelaje programado por veta (t/día)	720.72	
Optimización del carguío y transporte - Veta Salvadora (\$/t -día)	4,324	
Optimización del carguío y transporte Veta Adriana (\$/t - día)	4,151	

### Interpretación:

En la tabla se muestra los dos escenarios el actual y lo óptimo, se tiene:

- Reducción del número de volquetes tras la evaluación por la teoría de colas como en el factor de acoplamiento siendo factible 3 volquetes y 1 *scooptram* para cada ruta en ambas vetas
- La optimización del costo de carguío y transporte de la veta Salvadora en 6 \$/t, esto reflejado en el tonelaje programado por veta se tendría una optimización de 4,324 \$/t–día, para los 3 volquetes y 1 *scooptram*.
- La optimización del costo de carguío y transporte de la Veta Adriana en 5.76 \$/t esto reflejado en el tonelaje programado por veta se tendría una optimización de 4,151 \$/t–día. para los 3 volquetes y 1 *scooptram*.

## CONCLUSIONES

1. En el estudio situacional del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral, con el diagrama de Pareto se muestra tres actividades que se sitúan antes del 80 %, la actividad crítica que es el refrigerio, es un tiempo determinado e imposible de reducirlo porque es parte del sistema de labor; sin embargo, las actividades como la cola de los volquetes y las reparaciones mecánicas son tiempos improductivos en que optimizar y mejorar respectivamente. En el análisis de la teoría de colas se tiene dos situaciones: el actual y la óptima. Se concluye que, en la situación actual, el número de espera de volquetes es de 1, el tiempo de carguío es de 8.41 minutos y el tiempo de espera en la fila es de 3.91 minutos, lo cual genera pérdidas productivas y económicas. Por otro lado, en la situación óptima, el número de espera de volquetes es de 0, el tiempo de carguío es de 4.81 minutos y el tiempo de espera en la fila es de 0.36 minutos, lo cual es óptima sin ningún equipo parado en espera respectivamente y el tiempo de espera de 0.36 minutos refleja la concordancia de mejora en el carguío, transporte y descarga de mineral.
2. El costo total por la operación minera del carguío y transporte por kilómetro es de 1.20 \$/t-km, esto nos dice que para la unidad minera Andaychagua en la ruta 1 de la veta Salvadora a la parrilla Roberto Letts y la ruta 2 de la veta Adriana a la parrilla Roberto Letts, nos da ese mismo costo respectivamente.
3. Se debe reducir el número de volquetes tras la evaluación por la teoría de colas como en el factor de acoplamiento siendo factible 3 volquetes y 1 *scooptram* para cada ruta en ambas vetas.
4. La optimización del costo de carguío y transporte de la veta Salvadora en 6 \$/t, esto reflejado en el tonelaje programado por veta se tendría una optimización de 4,324 \$/t-día, para los 3 volquetes y 1 *scooptram*.
5. La optimización del costo de carguío y transporte de la veta Adriana en 5.76 \$/t esto reflejado en el tonelaje programado por veta se tendría una optimización de 4,151 \$/t-día. para los 3 volquetes y 1 *scooptram*.

## RECOMENDACIONES

1. Es recomendable aplicar la metodología para la recopilación de la información *in situ* del carguío y transporte de mineral en la unidad minera Andaychagua. Se tuvo buenos resultados en el procesamiento de los datos de los equipos a fin de mejorar el ciclo de carguío y transporte de mineral. Según el análisis en el diseño del sistema de carguío, transporte y descarga de mineral, lo más óptimo es realizar las rutas de veta Salvadora (Nv. 1325) tajo cámara 5 (frente), con destino a la parrilla Roberto Letts (Nv. 1000) y de Veta Adriana (Nv. 1325), tajo 600, con destino a la parrilla Roberto Letts (Nv. 1000).
2. La teoría de colas es recomendable para optimizar los tiempos utilizados de los equipos en las actividades de carguío y acarreo para conocer si el sistema de carguío es óptimo o existe deficiencias, para realizar estudios de tiempos cada vez que se realicen cambios de recorrido, ya que esto implica una disminución o aumento de flota de volquetes.
3. Es recomendable emplear el factor de acoplamiento para mejorar el dimensionamiento de los equipos a utilizar en el carguío y transporte de mineral, es factible utilizarla también como medida productiva siempre y cuando los tiempos del ciclo no varíen, y los volquetes sean distribuidos de manera uniforme en la unidad minera Andaychagua.
4. Al elaborar la evaluaciones técnico-económicas es recomendable realizar el cálculo del precio unitario en dólares por tonelada en función al kilometraje de recorrido del equipo de transporte.
5. Es recomendable elaboración el costo unitario (\$/t-km), pero a esto se debe evaluar el costo horario de equipo *scooptram* R 1600 H, el costo unitario del equipo de transporte volquete volvo FMX, el costo del precio de los materiales y las remuneraciones y salarios respectivas de los trabajadores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONDORI, Rusbel. Estudio del sistema de acarreo de interior mina para optimizar tiempos, disminuir costos e incrementar la producción en E.E. NCA Servicios Mina Morococha. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Arequipa : Universidad Nacional del San Agustín de Arequipa, 2017, 174 pp.
2. VALENTIN, Cristiam. Control y mejora de la productividad del acarreo y transporte de mineral desde las labores de profundización hacia la superficie en la unidad de producción San Cristobal – Volcan Compañía Minera S.A.A Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Pasco : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2018, 139 pp.
3. PITUY, Maicol. Mejoramiento del transporte de mineral con volquete en interior mina para incrementar la productividad en U.M. Andaychagua de Volcan Compañía Minera S.A.A. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Nacional del centro del Peru, 2015, 85 pp.
4. RIVEROS, Jose. Cálculo de la productividad máxima por hora de los volquetes en el transporte minero subterráneo en la Unidad Minera Arcata 2016. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2016,177pp.
5. CALUA, Freddy . Propuesta de minimización de tiempos improductivos para una mayor producción en carguío y acarreo en CIA. Minera Coimolache S.A. Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Cajamarca : Universidad Nacional de Cajamarca, 2019, 98 pp.
6. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y PLANEAMIENTO DE LA UEA. *Informe de estudio de las reservas y recursos minerales*. Yauli : Unidad Minera Andaychagua, 2020.
7. DIAZ, Maria. *Carga, transporte y extraccion en mineria subterranea*. Lima : Septem ediciones, 2006, 162 pp. ISBN:1058280.

8. BERNEO, Elver y CALDERON, Jaime, 2009. Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *Redalyc*. [En línea]. Colombia : Universidad Autónoma de Occidente, Vol. XXI, Núm. 32. pág. 52-67. [Fecha de consulta: junio de 2021] ISSN: 0121-0777. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/478/47811604005.pdf>
9. VALENCIA, Santiago. Análisis de la interrelación entre el transporte de minerales del nivel 17 de la mina subterránea y el chancado primario convencional de la división andina de Codelco Chile. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Quito : Universidad Central del Ecuador, 2013, 151 pp.
10. HERRERA, Juan, CASTILLA, Jorge y DIAZ, Lara. *Introducción a la Minería Subterránea. Vol. III: Construcción de infraestructura de mina en interior*. [En línea].. Madrid : Universidad Politecnica de Madrid, 2018. [Fecha de consulta: junio de 2021] DOI: 10.20868. Disponible en: [http://oa.upm.es/62725/1/CONSTRUCCION\\_DE\\_INFRAESTRUCTURA\\_Y\\_SERVICIOS%20INTERIOR\\_LM1B4T3R0-20181130.pdf](http://oa.upm.es/62725/1/CONSTRUCCION_DE_INFRAESTRUCTURA_Y_SERVICIOS%20INTERIOR_LM1B4T3R0-20181130.pdf)
11. ESCARCENA, Renzo. Evaluación de las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad en la Unidad Minera TACAZA – CIEMSA. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Juliaca : Universidad Nacional del Altiplano, 2019, 102 pp.
12. TOLEDO, José, MANGLANO, Santiago, LOPEZ, Emilio, GÓMEZ DE LA HERAS, Jesús y LOPE, Carlos. *Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto*. Madrid. : Instituto Geológico y Minero de España; 2da. edición (1 Marzo 1995), 1995, 606 pp. ISBN: 8478400818.
13. DEPARTAMENTO DE OPERACIONES Y PLANEAMIENTO DE LA UNIDAD MINERA ANDAYCHAGUA. *Informe de estudio de las carguio y acarreo de mineral*. Yauli : Compañía Minera Volcan, 2020.

14. LE-FEAUX, René. *Manejo de materiales en explotaciones subterráneas*. Santiago de Chile : Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 1997.
15. BALDEON , Zoila. *Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad En CIA. Minera Condestable S.A.* Tesis (Titulo de Ingeniero de Minas). Lima : Pontificia Universidad Catolica del Peru , 2011, 103 pp.
16. D. S. 024-2016-EM. *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, con los artículos modificados por el Decreto Supremo N° 023-2017-EM*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 18 de agosto de 2016.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral, en la unidad minera Andaychagua

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿Cómo será la optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral, en la Unidad Minera Andaychagua?	Optimizar el ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral, en la Unidad Minera Andaychagua.	La optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral es factible y viable para aumentar la producción de mineral, en la Unidad Minera Andaychagua.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
¿Cómo será la optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral de las labores subterráneas a superficie, para minimizar los tiempos perdidos en transporte en la Unidad Minera Andaychagua?	Optimizar el ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral de las labores subterráneas a superficie para minimizar los tiempos perdidos en transporte en la Unidad Minera Andaychagua	La optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral de las labores subterráneas a superficie, es factible para minimizar los tiempos perdidos del transporte en la Unidad Minera Andaychagua
¿Cómo será la mejora de la planificación y control de los tramos de transporte de mineral de las labores subterráneas a superficie para incrementar la producción en Unidad Minera Andaychagua?	Mejorar la planificación y control de los tramos de transporte de mineral de las labores subterráneas a superficie para incrementar la producción en Unidad Minera Andaychagua.	La mejora de la planificación y control de los tramos de transporte de mineral de las labores subterráneas a superficie, es factible para incrementar la producción en la Unidad Minera Andaychagua.

## Anexo 2 Reporte de transporte

Mina						Horómetros	Inicial	Final
Fecha						Diesel		
Guardia						Kilometraje		
Empresa						Combustible		
Equipo								

N°	HORA INICIO	HORA FINAL	COD. ACTIV.	ORIGEN					DESTINO				MAT. M/D	TICKET TRANSPORTE
				PC	ZONA	NIVEL	LABOR	EQUIPO CARGA	# CUCH.	PC	ZONA	NIVEL		
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														

OBSERVACIONES:

Operador	Sobrestante	Jefe Guardia ECM	Jefe Guardia Volcan	Supervisor Mantenimiento

N°	Datos Operador			Datos Técnico Mantenimiento				
	Horómetro	Motivo		Sistema	Sintoma	Causa	Horómetro	Técnico
		Falla	Mant.P					
		Falla	Mant.P					
		Falla	Mant.P					

**Tomado de unidad minera Andaychagua**

### Anexo 3

### Costo horario de equipo scooptram R 1600 H

Valor adquisición con llantas	624,000	US\$	Intereses (año)	9%
Valor Control Remoto	0	US\$	Seguros (%)	2.1%
Costo de adquisición	624,000	US\$	Impuestos	1.4%
Valor de rescate	0	0%	IMA Inversion Media Anual	\$ 416,000
Vida económica	15,000	Horas	3	Años
Horas mínimas	417	Horas		

<b>Total de Días en promedio mensual</b>	<b>1095</b>
<b>Horas de trabajo (Hrs/día)</b>	<b>13.70</b>
<b>total de Horas en 3 años</b>	<b>15000</b>

Combustible				
Tipo	Gal/hr	Costo		
Diesel D2	4	\$2.9	US \$/Gal	\$ 174,000

Costos de Propiedad		
	Depreciación	\$ 624,000
	Financieros (Intereses)	\$ 112,320
	Seguros, Impuestos	\$ 43,306
Sub Total Costos de Propiedad		\$ 779,626

Mantenimiento Preventivo				
Nivel	Costo	Frecuencia		
PM-1	\$144.2	62.5	Hrs	\$ 34,598.40
PM-2	\$405.5	125	Hrs	\$ 48,655.20
PM-3	\$871.5	500	Hrs	\$ 26,145.90
PM-4	\$496.7	1000	Hrs	\$ 7,449.75
PM-5	\$497.5	2000	Hrs	\$ 3,482.57
PM-5	\$0.0	4000	Hrs	\$ -
Sub Total Mantenimiento Preventivo				\$120,332

<b>Costo Horario Mantenimiento Preventivo</b>	<b>\$8.0</b>
<b>Sub Total Rut</b>	\$150.0 US \$/mes \$5,400.0

Mantenimiento Componentes Mayores				
Componente	Costo	Frecuencia		
Motor (Overha)	\$35,000.00	16000	Hrs	\$ -
Motor (Parcial)	\$16,000.00	6000	Hrs	\$ 32,000
Caja de Trans	\$10,000.00	5800	Hrs	\$ 20,000
Convertidor	\$7,000.00	5800	Hrs	\$ 14,000
Ejes Cardanic	\$3,900.00	2800	Hrs	\$ 19,500
Eje delantero	\$20,000.00	6000	Hrs	\$ 40,000
Eje posterior	\$20,000.00	6000	Hrs	\$ 40,000
Sist. Hidráulic	\$6,000.00	2600	Hrs	\$ 30,000
Sist. Eléctrico	\$5,000.00	2600	Hrs	\$ 25,000
Cuchara	\$12,000.00	2200	Hrs	\$ 72,000
Articulaciones	\$7,000.00	3800	Hrs	\$ 21,000
Llantas Del.	\$15,400.00	2000	Hrs	\$ 107,800
Llantas Pos.	\$15,400.00	2000	Hrs	\$ 107,800
Servicios MO	\$0.00	3%	%	\$ 18,720
Sub Total Componentes Mayores				\$ 547,820

<b>Total US \$/mes</b>	<b>\$779,626</b>
<b>Costo Horario de Propiedad US \$/Hr</b>	<b>\$52</b>

<b>Total US \$/mes</b>	<b>\$673,551.8</b>
<b>Costo Horario de Mantenimiento US \$/Hr</b>	<b>\$44.9</b>

<b>Total US \$/mes</b>	<b>\$1,453,177</b>
<b>Costo Horario US \$/Hr</b>	<b>\$96.9</b>

## Anexo 4

### Costo Horario de equipo volquete volvo FMX

Valor adquisición con llantas	128,403	US\$	Intereses (año)	9%
Valor Tolva	17,200	US\$	Seguros (%)	2.1%
Costo de adquisición	145,603	US\$	Impuestos	1.4%
Valor de rescate	0	0%	IMA Inversion Media Anual	\$ 97,068.67
Vida económica	15,000	Horas	3	Años
Horas mínimas	417	Horas		

<b>Total de Dias en promedio mensual</b>	<b>1095</b>
<b>Horas de trabajo (Hrs/día)</b>	<b>13.70</b>
<b>total de Horas en 3 años</b>	<b>15000</b>

Combustible				
Tipo	Gal/hr	Costo		
Diesel D2	3	\$2.9	US \$/Gal	\$ 69,600.00

Costos de Propiedad					
				Depreciación	\$ 145,603.00
				Financieros (Intereses)	\$ 26,208.54
				Seguros, Impuestos	\$ 10,104.85
<b>Sub Total Costos de Propiedad</b>					<b>\$ 181,916.39</b>

Mantenimiento Preventivo				
Nivel	Costo	Frecuencia		
PM-1	\$53.3	250	Hrs	\$ 3,195.60
PM-2	\$474.6	500	Hrs	\$ 14,237.40
PM-3	\$679.0	1000	Hrs	\$ 10,184.25
PM-4	\$0.0	2000	Hrs	\$ -
PM-5	\$0.0	4000	Hrs	\$ -
PM-6	\$0.0	8000	Hrs	\$ -
<b>Sub Total Mantenimiento Preventivo</b>				<b>\$27,617.25</b>

<b>Costo Horario Mantenimiento Preventivo</b>	<b>\$1.8</b>
---	--------------

<b>Sub Total Rutinario</b>	\$37.0	US \$/mes	<b>\$1,332.0</b>
----------------------------	--------	-----------	------------------

Mantenimiento Componentes Mayores				
Componente	Costo	Frecuencia		
Motor (Overhaul)	\$20,000.00	16000	Hrs	\$ -
Motor (Parcial)	\$13,500.00	8000	Hrs	\$ 13,500.00
Compresor de Aire	\$2,100.00	6000	Hrs	\$ 4,200.00
Sist. de Enfriamiento	\$2,500.00	5100	Hrs	\$ 5,000.00
Caja de transmision / Embrague	\$3,800.00	5500	Hrs	\$ 7,600.00
Eje delantero	\$3,000.00	4000	Hrs	\$ 9,000.00
Eje Central	\$5,000.00	6000	Hrs	\$ 10,000.00
Eje posterior	\$5,000.00	6000	Hrs	\$ 10,000.00
Frenos	\$3,500.00	2600	Hrs	\$ 17,500.00
Sist. de Suspensión	\$4,200.00	5500	Hrs	\$ 8,400.00
Sist. Hidráulico	\$3,000.00	5200	Hrs	\$ 6,000.00
Sist. Eléctrico	\$3,100.00	3200	Hrs	\$ 12,400.00
Ejes Cardanicos	\$2,000.00	3200	Hrs	\$ 8,000.00
Tolva	\$4,500.00	5500	Hrs	\$ 9,000.00
Chasis	\$2,200.00	4000	Hrs	\$ 6,600.00
Llantas Del.	\$1,450.00	2600	Hrs	\$ 7,250.00
Llantas Pos. 1	\$3,400.00	2200	Hrs	\$ 20,400.00
Llantas Pos. 2	\$3,400.00	2200	Hrs	\$ 20,400.00
Servicios MO (Terceros)	\$0.00	3%	%	\$ 4,368.09
<b>Sub Total Componentes Mayores</b>				<b>\$ 179,618.09</b>

Total US \$/mes	<b>\$181,916.4</b>
<b>Costo Horario de Propiedad US \$/Hr</b>	<b>\$12.1</b>

Total US \$/mes	<b>\$208,567.3</b>
<b>Costo Horario de Mantenimiento US \$/Hr</b>	<b>\$13.9</b>

Total US \$/mes	<b>\$390,483.7</b>
<b>Costo Horario US \$/Hr</b>	<b>\$26.0</b>

## Anexo 5

### Precio de materiales

TIPO DE CAMBIO	3.88
----------------	------

Perdida de rendimiento por temperatura	0%
--	----

COSTO DE COMBUSTIBLE US\$	7.75
---------------------------	------

#### CALCULO DEL COSTO POR EPPs

PERSONAL OBRERO					
ITEM	DESCRIPCION	Cantidad	costo unit.	vida util tarea	total S/ tarea
1.01	TAPON AUDITIVO SILICONA 26DB	1.00	1.62	45	0.04
1.02	ANTEOJO DE LUNA CLARA MSA MAVERICK UV400	1.00	4.64	45	0.10
1.03	BOTA DE JEBE C/PUNTA DE ACERO N638	1.00	18.57	150	0.12
1.04	BOTIN DE CUERO P/ACERO N642	1.00	17.40	300	0.06
1.05	TAFILETE ACOLCHADO	1.00	6.52	150	0.04
1.06	CASCO TIPO MINERO VERDE COMPLETO	1.00	10.57	300	0.04
1.07	CASCO TIPO JOCKEY VERDE COMPLETO	1.00	10.26	600	0.02
1.08	GUANTE DE NEOPRENE 12" CORRUGADO	1.00	6.27	15	0.42
1.09	GUANTE DE CUERO AMARILLO LIVIANO	1.00	3.57	15	0.24
1.1	CORREA PORTALAMPARA DE NYLON	1.00	2.50	300	0.01
1.11	FILTRO DE FELPA 3M-2097 P100	1.00	8.21	2	4.11
1.12	PROTECTOR PARA FILTRO 2097	1.00	1.05	150	0.01
1.13	RESPIRADOR 7502 MEDIA CARA SILICONA - MED	1.00	22.97	150	0.15
1.14	CASACA DE TELA ENJEBADA	1.00	17.77	150	0.12
1.15	PANTALON TELA ENJEBADA	1.00	15.98	150	0.11
1.16	MAMELUCO DRILL ACOLCHADO T/XL NORMA ANSI II	2.00	36.68	150	0.49
1.17	BARBIQUEJOS PARA CASCOS	1.00	0.30	90	0.00
1.18	ARNES TIPO PARACIDISTA 03 ANILLOS	1.00	34.82	300	0.12
1.19	LINEA DE VIDA NYLON	1.00	30.39	300	0.10
<b>TOTAL US\$ /Guardia</b>					<b>6.28</b>

#### HERRAMIENTAS

Item	Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo	Vida Util	Costo
				US\$ / UNIDAD	DIAS	US\$ /Gdia
<b>3.00 HERRAMIENTAS</b>						
3.01	Lampa	Pza.	2	8.30	30	0.28
3.02	Pico	Pza.	2	11.00	30	0.37
3.03	BARRETILLA P/DESQUINCHE DE 10'	Pza.	2	34.17	120	0.28
3.04	BARRETILLA P/DESQUINCHE DE 12'	Pza.	2	39.58	120	0.33
3.05	BARRETILLA P/DESQUINCHE DE 14'	Pza.	2	45.39	120	0.38
3.06	BARRETILLA P/DESQUINCHE DE 4'	Pza.	2	22.44	120	0.19
3.07	BARRETILLA P/DESQUINCHE DE 6'	Pza.	2	26.52	121	0.22
3.08	BARRETILLA P/DESQUINCHE DE 8'	Pza.	2	30.09	122	0.25
3.09	CIZALLA MANUAL DE 18"	Pza.	1	55.69	150	0.37
3.10	COMBA 6LB ACERADA	Pza.	1	16.94	180	0.09
3.11	LLAVE STILSON 14"	Pza.	1	14.71	30	0.49
3.12	FLEXOMETRO DE 5 MT	Pza.	1	4.49	30	0.15
3.13	ARCO DE SIERRA	Pza.	1	8.90	30	0.30
3.14	CORDEL DE NYLON	MTS	10	4.32	30	0.14
3.15	AGUJA DE ARIERO	Pza.	1	0.47	15	0.03
3.16	PUNZON DE CO BRE	Pza.	1	6.26	180	0.03
3.17	TABLERO DE GESTION	Pza.	1	38.66	360	0.11
3.18	MOCHILA DE LONA PARA EX' PLOSIVO	Pza.	2	22.68	180	0.13
3.19	ATACADORES DE 11/4 X 3.5 MT	Pza.	2	3.76	30	0.13
3.20	Tiner	Gal	1	2.92	10	0.29
3.21	PINTURA ESMALTE BLANCO	Gal	1	7.21	10	0.72
3.22	Brocha	Pza.	1	5.15	10	0.52
3.23	Disco de perforacion	Pza.	1	5.26	30	0.18
3.24	Sacabarrenos	Pza.	1	25.77	120	0.21
3.25	PINTURA EN SPRAY BLANCA	Gal	1	1.82	7	0.26
				<b>US\$ / Gdia</b>		<b>6.44</b>

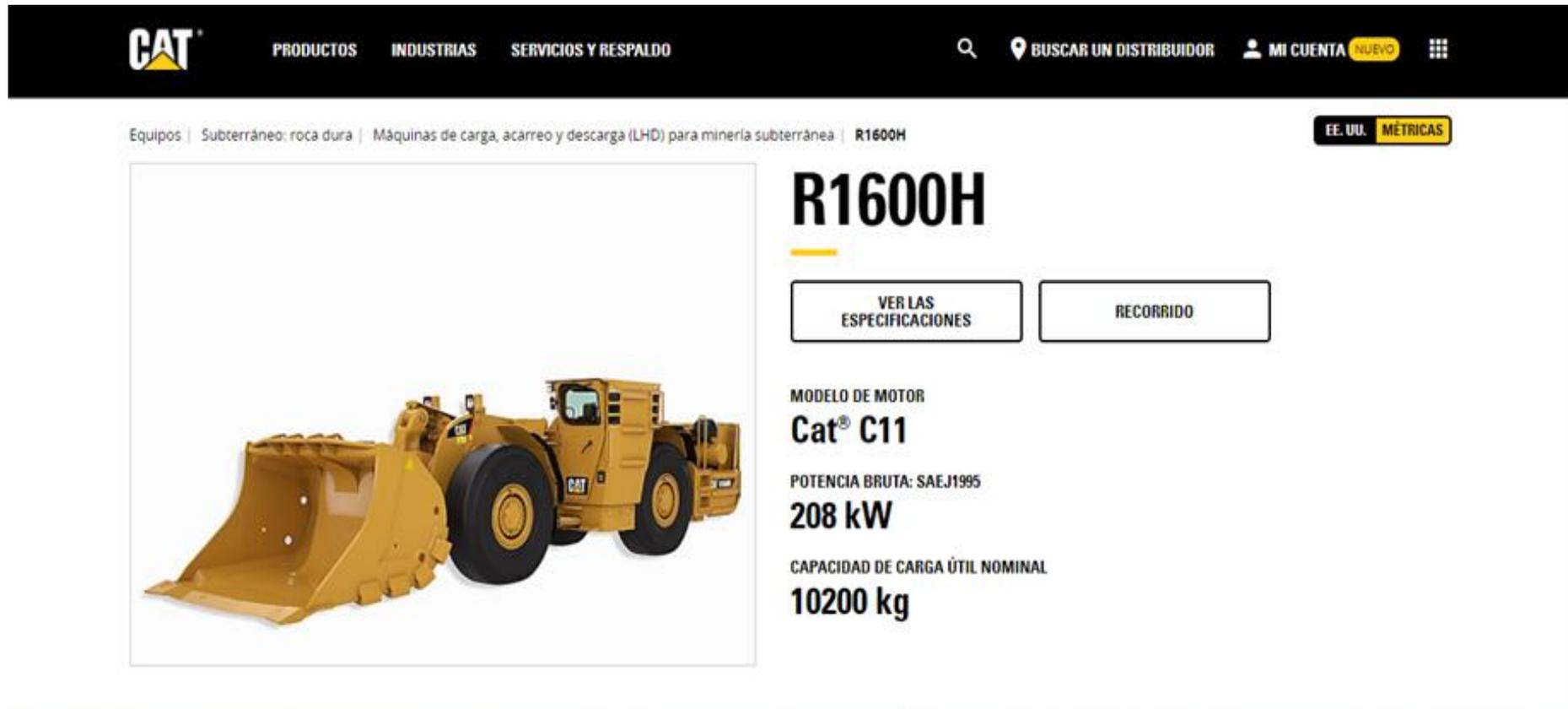
<b>LAMPARAS MINERAS</b>					
-------------------------	--	--	--	--	--

Item	Descripcion	Unidad	Costo US\$/UNDAD	Vida Util DIAS	Costo US\$ /Gdia
<b>5.00</b>	<b>LAMPARAS MINERAS (incluye mantenimiento)</b>				
5.01	LAMPARA MINERA marca: OLDHAM	Pza	359	360	1.00
5.02	CARGADOR DE 40 PTOS	Pza	4554	720	0.16
				<b>US\$ / Gdia</b>	<b>1.16</b>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 6

### Especificaciones técnicas del scooptram R 1600 H Ferreyros CAT



The screenshot shows the product page for the CAT R1600H LHD loader. The header includes the CAT logo, navigation links for 'PRODUCTOS', 'INDUSTRIAS', and 'SERVICIOS Y RESPALDO', and utility icons for search, distributor location, and account management. The breadcrumb trail indicates the machine's category: 'Equipos | Subterráneo: roca dura | Máquinas de carga, acarreo y descarga (LHD) para minería subterránea | R1600H'. A 'MÉTRICAS' button is also visible. The main content area features a 3D model of the yellow R1600H loader on the left. To the right, the model name 'R1600H' is prominently displayed. Below the name are two buttons: 'VER LAS ESPECIFICACIONES' and 'RECORRIDO'. The technical specifications listed are: 'MODELO DE MOTOR Cat® C11', 'POTENCIA BRUTA: SAEJ1995 208 kW', and 'CAPACIDAD DE CARGA ÚTIL NOMINAL 10200 kg'.

**CAT** PRODUCTOS INDUSTRIAS SERVICIOS Y RESPALDO

Equipos | Subterráneo: roca dura | Máquinas de carga, acarreo y descarga (LHD) para minería subterránea | R1600H

EE. UU. MÉTRICAS

# R1600H

VER LAS ESPECIFICACIONES RECORRIDO

MODELO DE MOTOR  
**Cat® C11**

POTENCIA BRUTA: SAEJ1995  
**208 kW**

CAPACIDAD DE CARGA ÚTIL NOMINAL  
**10200 kg**

Fuente: Maquinaria para minería subterránea | Cat | Caterpillar

## Anexo 7

### Especificaciones técnicas del volquete Volvo FMX



**VOLVO FMX 6X4R**  
**VOCACIONAL**  
**380/420/460/500 CV**



Volvo Trucks. Acelerando el futuro.

✓ 13 LITROS	✓ CABINA EXTENDIDA TECHO NORMAL	✓ CAJA I-SHIFT CON SOFT HD	✓ AIRBAG	✓ EJE CON REDUCTOR DE CUBOS
-------------	------------------------------------	----------------------------	----------	--------------------------------

#### DATOS TÉCNICOS

##### MOTOR

Modelos VOLVO D13C Euro 5  
 Características: 12,8 ltr, 6 cilindros en línea y 4 válvulas por cilindro.  
 Unidades individuales de inyector bomba. Sistema de inyección con gerenciamento electrónico.  
 Potencias: 380 / 420 / 460 / 500 CV (1.400 a 1.900 rpm)  
 Torques: 1.900 / 2.100 / 2.300 / 2.500 Nm (1.000 a 1.400 rpm)

##### CAJA DE VELOCIDADES

Modelos Volvo AT3612P  
 Tipo: Automática sin sincronizados  
 Sistema: I-Shift con soft HD  
 Marchas: 12 Velocidades (14,94:1 - 1:1)  
 Opcionales: I-Shift de 14 marchas, 12 + 2 super reducidas (32,04:1 / 19,38:1)

##### SUSPENSIÓN DELANTERA

Tipo: Ballestas parabólicas con amortiguadores y barras estabilizadoras.  
 Capacidad: 15.000 a 10.000 kg

##### FRENOS

Tipo: A tambor con ABS, EBS y control de tracción.  
 Freno auxiliar Freno de motor VEB a través de válvula de 410 CV (para 380/420) o VEB+ de 510 CV (para 460/500)  
 Opcionales: Retardador Hidráulico

##### TANQUES DE COMBUSTIBLE

Tipo: Rectangular plástico.  
 Capacidad: 400 ltr

##### DIFERENCIAL

Modelos RTH5210P con red. de cubos.  
 Relación de reducciones: 3,33 / 3,46 / 3,61 / 3,76 / 3,97 / 4,12 / 4,35 / 4,41 / 4,68 / 7,21  
 Capacidad de arrastre: 100 Ton\*  
 \*(consultar para mayores capacidades)  
 Opcionales: RTH5210 sin red. de cubos

##### SUSPENSIÓN TRASERA

Tipo: Ballestas semi-elípticas con amortiguadores y barras estabilizadoras.  
 Capacidad: 26.000 a 32.000 kg  
 Opcionales: Parabólica o neumática de 8 fuejes (21.000 a 26.000 kg)

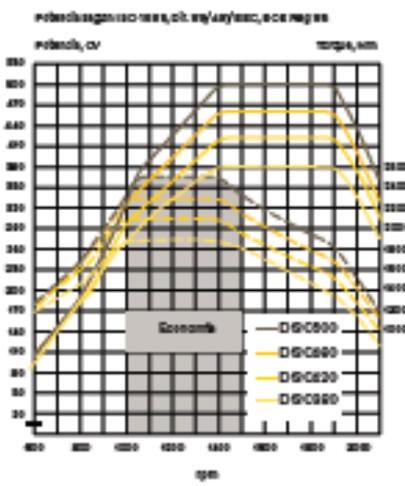
##### CHASIS

Materiales: Acero especial LNEBO de alta resistencia y bajo peso, con refuerzo interno.  
 Altura: 300 mm.  
 Ancho: 90 mm  
 Espesor + refuerzos: 9 + 5 mm

##### NEUMÁTICOS Y LLANTAS

Neumáticos: 12R20  
 Llantas: Acero

#### D13C Potencia/Torque



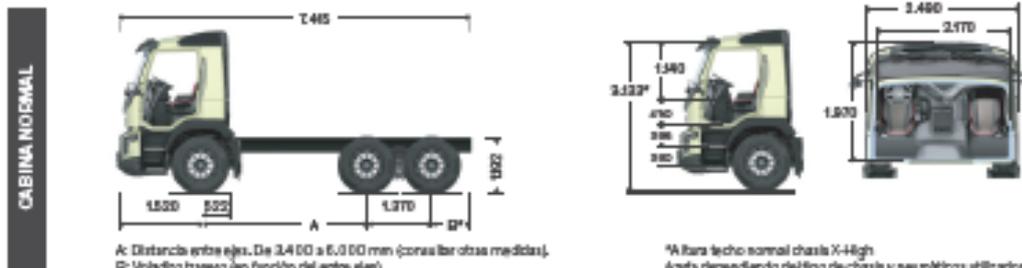
#### PESOS Y CAPACIDADES (Kg)

	Eje delantero	Eje trasero	Total
Capac. técnica	15.000 a 10.000	26.000 a 32.000	20.000 a 42.000
Límite legal	6.000	18.000	24.000
Peso del chasis*	5.031	4.057	9.088

\* Pesos estimados con 100 ltr de combustible, sin chofey con rueda de auxilio, llantas de acero, frenos a tambor, cabina extendida techo normal y eje motor auxiliar. Límites entre ejes 3.700 mm, masa eje sin reductor entre 2.870 y 2.870 kg.

#### MEDIDAS

Cabina FMX: Cabina extendida techo normal, con parapalos de acero y mayor ángulo de ataque especialmente diseñado para trabajo pesado. Suspensión mecánica. Opcional cabina dormitorio (techo normal o alto).



Tomado de Volvo FMX Camión para Construcción y Minería.