UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENERIA DE MINAS

"INFORME DE MEJORA CAMBIO DE FLOTA DE LOS EQUIPOS DE ACARREO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS OPERATIVOS DE TRANSPORTE EN LA UNIDAD MINERA TAMBOMAYO - COMPAÑIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A."

INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. Ronny Bryan Casilla Apaza

Para obtener el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERU

2019

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO POR SUFICIENCIA

Folio N° 0001

I. Documento de aprobación del Proyecto de Trabajo de Suficiencia Profesional:
RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA 1229-2019-UNAM

Fecha: .....

II. El Jurado ha calificado la defensa del Trabajo de Suficiencia Profesional, TITULADO:
INFORME DE MEJORA CAMBIO DE FLOTA DE LOS EQUIPOS DE ACARREO PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS OPERATIVOS DE TRANSPORTE EN LA UNIDAD MINERA TAMBOMAYO - COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.

Bachiller:
RONNY BRYAN CASILLA APAZA

Asesor Principal:
ING. AGAPITO FLORES JUSTO

III. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD

La defensa aprueba con nota: QUINCE (15), bajo la modalidad de Trabajo de Suficiencia Profesional, por lo que SI opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 12:10 horas a los 30 DIAS de DICIEMBRE del año 2019 se procede a la firma con conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
MGR. JORGE LUIS FLORES SALAS
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
MARTIN MARIO ARROYO GONZA
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
JESUS ANTONIO DURAN ESTUCO
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Bach. Ronny Bryan Casilla Apaza
(Nombres y Apellidos)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
CERTIFICA: Que el presente documento ES COPIA FIEL DEL ORIGINAL, al que me remito para los fines pertinentes
Moquegua 05 FEB 2020
Mg. Deyvy Jesica Caceres Plantarrosa
FEDATARIA ADSCRITA 01

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres Juan José Casilla y Rosa Apaza, quienes siempre me apoyaron en los momentos más complicados de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Empresa Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. por haberme dado la oportunidad de crecer profesionalmente. Así mismo agradezco al Ing. Edgard Roque Ortiz (Gerente de la unidad minera Tambomayo), al Ing. Edgar Atencia Daga (Superintendente de Operaciones) y en forma general a todo el personal que labora en esta empresa ya que con su esfuerzo y dedicación hacen que esta empresa sea mejor cada día.

También quisiera dar agradecimiento a mi centro de formación por las facilidades y buena disposición mostrada desde un inicio, agradecimiento y saludo cordial al Ing. Jorge Luis Florez Salas Director de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por su incondicional apoyo a los estudiantes y en forma general a todos los docentes de esta casa de estudios.

RESUMEN

Uno de los métodos de minado para la explotación por Taladros largos en minas mecanizadas es el método Bench and Fill el cual tiene importantes ventajas como minimizar costos y aumentar rentabilidades. Así mismo, uno de los principales factores que caracterizan a este método es la alta producción de mineral con el mínimo de recursos operativos.

Por ello el presente informe menciona la importancia al dimensionamiento de equipos y la infraestructura adecuada para el correcto movimiento del mismo. También se debe considerar las diversas variables y condicionales que implican la elección del tipo de flota para el acarreo de mineral o desmonte. Usualmente para definir estas variables en la elección de equipos para la flota de transporte de material es necesario tener claro los objetivos para lo cual serán usados como por ejemplo el tipo de material a transportar, el tonelaje total para el cumplimiento de producción mensual y anual, presupuesto para el mantenimiento de vía y otros.

El presente informe está enfocado en la descripción del cambio de flota de equipos para el transporte de mineral con el objetivo de reducir los costos operativos sin afectar la producción de mineral mensual en la mina Tambomayo – Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.

Las metodologías que se aplicaron para este estudio y evaluación son de dos tipos: la primera referente al análisis y características de los equipos transporte en el mercado y la segunda relacionada con la evaluación económica, simulación y ejecución del proyecto

Finalmente, este trabajo también permitirá a los planificadores de minería subterránea evaluar alternativas inmediatas para la reducción en sus costos operativos y mejorar su rentabilidad de la mina.

Palabras clave: Productividad de acarreo, ruta óptima, oportunidad de ahorro.

ABSTRACT

One of the mining methods for exploitation by long drills in mechanized mines is the Bench and Fill method which has important advantages such as minimizing costs and increasing profitability. Likewise, one of the main factors that characterize this method is the high production of ore with the minimum operating resources.

Therefore, this report mentions the importance of equipment sizing and the appropriate infrastructure for its correct movement. The various variables and conditions that involve the choice of fleet type for hauling ore or clearing must also be considered. Usually to define these variables in the choice of equipment for the material transport fleet it is necessary to be clear about the objectives for which they will be used such as the type of material to be transported, the total tonnage for the fulfillment of monthly and annual production, budget for road maintenance and others.

This report focuses on the description of the change of fleet of equipment for the transport of ore with the objective of reducing operating costs without affecting the production of monthly ore at the Tambomayo mine – Compañia de Minas Buenaventura S.A.A.

The methodologies that were applied for this study and evaluation are of two types: the first referring to the analysis and characteristics of transport equipment in the market and the second related to the economic evaluation, simulation and execution of the project

Finally, this work will also allow underground mining planners to evaluate immediate alternatives for reducing operating costs and improve their profitability of the mine.

Keywords: Haulage productivity, optimal route, savings opportunity.

INDICE

RESUMEN 6

ABSTRACT 7

ABREVIATURAS 1

INTRODUCCIÓN 3

CAPITULO I 4

1.1. Trayectoria del autor 4

1.1.1. Experiencia Profesional 4

1.1.2. Experiencia más significativa 6

1.2. Descripción de La Empresa / Institución 6

1.2.1. Descripción general del proyecto Minero Tambomayo 6

1.2.2. Ubicación y Accesos 7

1.2.3. Descripción del método de minado de la mina Tambomayo 9

1.2.4. Estudio Geomecánico: Modelo Geomecánico Del Macizo Rocoso De La Mina Tambomayo 12

1.2.5. Secuencia de avance del minado 19

1.3. Organigrama de la Empresa 20

1.3.1. Organigrama de la Mina Tambomayo 21

1.4. Áreas y funciones desempeñadas 24

1.4.1. Ingeniero en entrenamiento 24

1.4.2. Ingeniero de Guardia Mina 24

CAPITULO II 26

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO 26

2.1. Antecedentes 26

2.2. Justificación 31

2.2.1. Equipos actuales en la mina Tambomayo 33

2.2.2. Equipos requeridos para el incremento de producción 33

2.2.3. Capacidades y características de los equipos en evaluación. 34

CAPITULO III 35

FORUMALACIÓN DEL DISEÑO 35

3.1. Evaluación de rendimientos entre Volquetes propuestos. 35

3.1.1. Oportunidad de ahorro en costos de transporte en Mineral. 35

3.1.2. Oportunidad de ahorro en costos de transporte de Desmonte. 39

3.1.3. Beneficio de ahorro. 43

3.2. Propuesta N° 1: Desquinche de radios de giro en la Rampa 100. 45

3.2.1. Evaluación e identificación de las zonas para ampliar. 46

3.2.2. Restricciones de proyecto. 47

3.2.3. Simulación y ejecución del proyecto. 47

3.2.4. Evaluación Económica del Proyecto 56

3.3. Propuesta N° 2: Ampliación de sección a 4.5m x 4.5m en la Rampa 970 58

3.3.1. Evaluación e identificación de las zonas para ampliar. 58

3.3.2. Restricciones del proyecto. 59

CAPITULO IV.....60

VIABILIDAD DEL PROYECTO.....60

4.1. Objetivos.....60

4.1.1. Objetivo general.....60

4.1.2. Objetivos específicos.....60

4.2. Resultados.....61

CAPITULO V.....62

RECOMENDACIONES.....62

5.1. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS.....63

5.1.1. Cronograma de actividades.....63

5.1.2. Presupuesto y Fuente de Financiamiento.....60

COLABORADORES.....61

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....62

ANEXOS.....63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Mina Tambomayo en la provincia de Caylloma. 7

Figura 2. Ubicación Geográfica del Unidad Minera Tambomayo. 8

Figura 3. Construcción de las labores de preparación. 10

Figura 4. Esquema de labores de preparación. 10

Figura 5. Inicio de la explotación. 19

Figura 6. Continuación del ciclo de perforación, voladura y relleno. 20

Figura 7. Diagrama de Cargos Unidad Minera Tambomayo. 23

Figura 8. Diagrama de Cargos Operaciones Mina 23

Figura 9. Fotografía Superficial de la Mina Tambomayo 26

Figura 10. Volquetes Fmx 6x4. Mina Tambomayo 27

Figura 11. Sección típica en labores de producción 3.5m x 3.5m. 28

Figura 12. Sección típica de labores para tránsito de volquetes 4.5 m x 4.5 m. 29

Figura 13. Croquis en perfil de labores, zonas de carguío y vías de transporte de material de la mina. 31

Figura 14. Dimensiones de Volquetes Volvo FMX 6x4. 33

Figura 15. Dimensiones de Volquetes Volvo FMX 8x4. 33

Figura 16. Diferencias entre los Volquetes Volvo, FMX 6x4 y FMX 8x4. 34

Figura 17. Sección longitudinal de la Rap 100. 46

Figura 18. Vista en Planta Topográfica de los Radio de Giro, Rp 100. 47

Figura 19. Sección transversal de proyecto de desquinche de los radios de giro de la Rampa 100. 48

Figura 20. Sección Longitudinal del Recorrido del Volquete. 51

Figura 21. Sección Longitudinal del Recorrido del Dumper. 54

Figura 22. Sección longitudinal de la Rp 970.....58

Figura 23. Vista en Frontal Topográfica de la sección de la Rp 970.....59

Figura 24. Ubicación de la Mina Tambomayo. 64

Figura 25. Hoja de cálculo (Excel) Cálculo de Rendimientos e indicadores. 65

Figura 26. Hoja de Cálculo (Excel) Oportunidad de Ahorro y Reducción en los costos unitarios de transporte. 66

Figura 27. Hoja de cálculo (Excel) Costos de Acarreo. 67

Figura 28. Hoja de Cálculo (Excel) Costo de sostenimiento de la Rp 100. 68

Figura 29. Hoja de Cálculo (Excel) Evaluación Económica de Proyecto 69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de la Unidad Minera Tambomayo. 8

Tabla 2. Consideraciones técnicas para el diseño del método de explotación....9

Tabla 3. Producción de Mineral - Unidad Tambomayo. 36

Tabla 4. Datos Técnicos y Rendimientos de Volquetes. 36

Tabla 5. Cálculo de Flota necesaria para Mineral. 37

Tabla 6. Costos Operativos e Indicadores de Rendimiento en los Volquetes Volvo FMX. 37

Tabla 7. Costos Proyectados a un Año de Producción. 38

Tabla 8. Tabla de Material Estéril Generado. 40

Tabla 9. Datos Técnicos y Rendimientos de los Volquetes 40

Tabla 10. Tabla de Cálculo de Flota necesaria para Material Estéril 41

Tabla 11. Costos Operativos e Indicadores de Rendimiento en los Volquetes Volvo FMX 41

Tabla 12. Costos de Transporte Proyectados a un Año de evacuación de Material Estéril 42

Tabla 13. Evaluación de Costos Proyectados con Volquetes FMX 6x4, Mineral y desmonte. 44

Tabla 14. Evaluación de Costos Proyectados con Volquetes FMX 8x4, Mineral y desmonte. 44

Tabla 15. Análisis de Beneficio de ahorro Proyectado en un Año de producción. 45

Tabla 16. Costo Total de Desquinche. 48

Tabla 17 Costo Total de Sostenimiento. 49

Tabla 18 Datos para el Cálculo del Costo de Volquetes FMX 50

Tabla 19. Resultados Obtenidos Aplicando Ecuaciones 5 y 6. 53

Tabla 20. Datos para el Cálculo del Costo de Volquetes 53

Tabla 21. Resultados Obtenidos Aplicando Ecuaciones 7 y 8. 56

Tabla 22. Costo Total de Inversión 56

Tabla 23. Tabla de Justificación de Proyecto 57

Tabla 24. Evaluación económica del Proyecto. 57

Tabla 25. Cronograma de Actividades de Proyecto de Mejora 59

Tabla 26. Presupuestos y Fuente de Financiamiento del Proyecto de Mejora.....60

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Oportunidad de Ahorro (Mineral). 39

Ecuación 2. Ahorro de Costo Unitario (Mineral) 39

Ecuación 3. Oportunidad de Ahorro (Material Estéril). 43

Ecuación 4. Ahorro de Costo Unitario (Material Estéril). 43

Ecuación 5. Tiempo Total del Ciclo Del Volquete. 51

Ecuación 6. Costo de operación de acarreo con Volquetes 52

Ecuación 7. Tiempo Total del Ciclo Del Dumper. 54

Ecuación 8. Costo de operación de acarreo con Dumpers. 55

ABREVIATURAS

OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
PCM	Plan Cierre de Mina
IPERC	Idenfitifación de Peligros, Evaluación y Control de Riesgos
RAC	Reporte de Acto o Condición Insegura
SGSST	Sistema de Gestion de Seguridad y Salud del Trabajador
PASSO	Plan Anual de Seguridad y Salud Ocupacional
RISST	Reglamento Interno de Seguridad y Salud del Trabajador
UTM	Sistema De Coordenadas Universal Transversal De Mercator
WGS 84	Sistema De Coordenadas Geográficas Mundial
Bench & Fill	Banqueo y Relleno
DME	Depósito de Materia Estéril
RMR	Rock mass Rating
ANFO	Ammonium Nitrate - Fuel Oil
FANEL	Accesorio iniciador de explosivos (Famesa)
LHD	Load Haul Dump
P.U.	Precios Unitarios
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto
TEA	Tasa Efectiva Anual
Rp	Rampa
Bp	By Pass
Vn	Ventana
Sn	Sub nivel
Gl	Galería
Cx	Crucero
Volq	Volquetes
Gdia	Guardia
m	Metros
m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
yd^3	Yardas cúbicas
hp	Caballos de Fuerza
Mpa	Mega pascales
und	Unidad
cant	Cantidad
%	Porcentaje
$	Dólares
US$	Dólares americanos

S/.	Soles
hr	Hora
min	Minutos
Tn	Toneladas
Tns	Toneladas secas
Tnh	Toneladas húmedas
gr	Gramos
Oz	Onzas
km	Kilómetros
Sem	Semana

INTRODUCCIÓN

El contenido del presente informe hace referencia al Proyecto de mejora de cambio de flota de los equipos de acarreo para la reducción de sus costos operativos en el transporte de mineral en la Unidad Minera Tambomayo – Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.

La empresa Compañía de Minas Buenaventura S.A.A está en el sector minero, es una empresa peruana productora de metales preciosos con más de 65 años de experiencia en actividades de exploración, desarrollo, construcción y operación de minas.

En el año 2017 la empresa Compañía de Minas Buenaventura S.A.A se traza como meta reducir sus costos operativos a nivel corporativo, involucrando a todas las Unidades Mineras en operación ser parte de este desafío.

Es así que la Unidad Minera Tambomayo de mediados del 2017 a mediados del 2018 orientó sus esfuerzos en la optimización de sus diversos procesos operativos tales como: Perforación, Voladura, Extracción, avances lineales y exploración.

CAPITULO I

1.1. Trayectoria del autor

1.1.1. Experiencia Profesional

A lo largo de más de 5 años fuera de la casa de estudios Universidad Nacional de Moquegua, he tenido la oportunidad de ser parte de distintas empresas en donde he podido ganar experiencias en diferentes áreas, a continuación, se detalla un resumen de las experiencias mencionadas.

- **Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.**

  Unidad Minera Tambomayo

  Ubicación: Caylloma – Arequipa

  Fecha: Enero 2016 – Diciembre 2018

  Jefe de Turno Mina

  - Responsable en el cumplimiento de las operaciones: producción de mineral, exploraciones, preparación y desarrollo en avances lineales.
  - Responsable del secuenciamiento de minado: perforación, voladura y relleno de tajeos en taladros largos.
  - Responsable en la optimización de costos en: Aceros de perforación, consumo de explosivos y materiales en el método de minado de Taladros Lagos.

- Apoyo en las valorizaciones mensuales de las empresas especializadas. Así mismo seguimiento al cumplimiento de trabajos encargados de estas.
- Participación en la elaboración de los programas de producción y avances lineales.
- Elaboración y presentación del informe mensual del área de mina.
- Control y optimización de tiempos de perforación y voladura aplicando el teorema de Pareto, estandarización de mallas de perforación en frentes de mineral / desmonte y tajeos.

❖ **AJANI SAC – Grupo ARU**

Unidad Minera Tucari

Ubicación: Carumas – Moquegua

Fecha: Julio 2014 – Diciembre 2015

Supervisor de Campo / Supervisor de Seguridad

- Responsable del seguimiento y cumplimiento del programa de Estabilidad de Física, Química, Hidrológica de botadero Norte Fase I y Fase II.
- Optimización de rutas de Acarreo de Material Morrenico para recubrimiento de botaderos, desarrollo de reportes semanal y mensual de Avance del Cierre de Mina Tucari.
- Responsable del levantamiento de las observaciones de OEFA y Osinergmin en la unidad Tucari área PCM,
- Responsable en el cumplimiento y monitoreo del SGSST, actualización del IPERC matriz base, RAC opinadas e inopinadas dentro del área, seguimiento del cumplimiento de las acciones correctivas y preventivas.
- Supervisión permanente en campo, implementación de SGSST para obras civiles, desarrollo y modificación del PASSO, RISST, Plan de Emergencia 2015 AJANI SAC.

1.1.2. Experiencia más significativa

La experiencia adquirida en la Unidad Minera Tambomayo ha sido la más relevante ya que pude desenvolverme en el área de Operaciones la cual considero una de las áreas más importantes en el ciclo de minado.

En esta área pude apreciar todos los procesos más significativos que un ingeniero de minas debe conocer para su desarrollo profesional; Perforación, carguío y voladura, extracción de mineral y acarreo, circuitos de servicios para la mina, seguridad y medio ambiente y sobre todo lo más importante que es el manejo de personal.

Ser parte de los responsables de la producción de la unidad fue el mayor reto que en mi carrera profesional he afrontado, puesto que día a día se presentaban diferentes situaciones que debía resolver.

1.2. Descripción de La Empresa / Institución

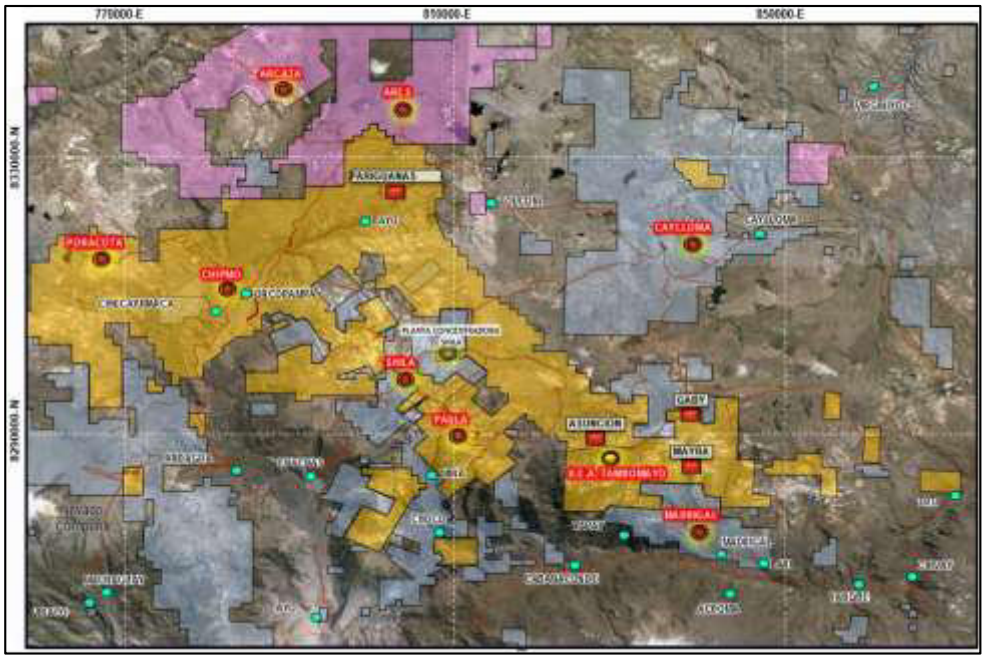
1.2.1. Descripción general del proyecto Minero Tambomayo

La Unidad Minera Tambomayo es una mina mecanizada la cual desarrolla la explotación de minerales mediante el método de minado de Taladros Largos (Bench and Fill), su procesamiento lo realiza en una Planta de Beneficio con una capacidad de procesamiento de 3000 toneladas de mineral con leyes de cabeza estimadas en 9.46 Oz/Tn de Plata, 9.24 gr/Tn de oro, 1.19% de Plomo y 1.98% de Zinc. El mineral extraído de la mina es transportado a las canchas de geología para ser muestreado y posteriormente es ingresado las etapas de chancado y molienda seguido de la etapa de cianuración en tanques, los relaves producidos ingresaran a un segundo tratamiento de concentración de minerales mediante flotación.

El titular de la Unidad Minera Tambomayo es la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. Es una empresa dedicada a la exploración, explotación y procesamiento de minerales polimetálicos.

La compañía de Minas Buenaventura S.A.A. actualmente viene efectuando trabajos de exploración y explotación minera en las laderas de la quebrada Tambomayo, para reconocer las características del cuerpo mineralizado y cuantificar las reservas en parte de las concesiones mineras: Chaquelle 27, Chaquelle 28, Chaquelle 29, Chaquelle 30 y Chaquelle 31, que conforman el proyecto de exploración Tambomayo, propiedad de la Compañía de Minas Buenventura S.A.A.

Figura 1. Ubicación de la Mina Tambomayo en la provincia de Caylloma.

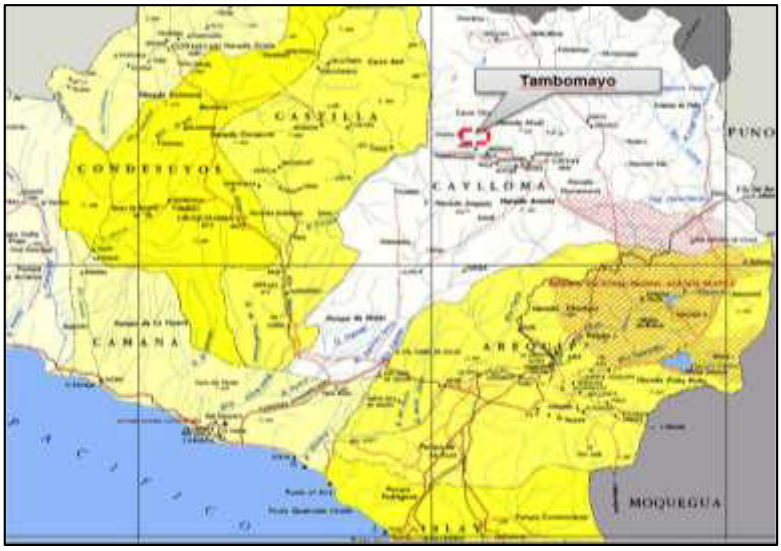


Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo.*

1.2.2. Ubicación y Accesos

La unidad Minera Tambomayo se encuentra ubicado políticamente en el Anexo Puna Chica y Tocallo, Distrito Tapay, provincia Caylloma y región de Arequipa. El proyecto se encuentra ubicado entre altitudes 4400 y 4800 msnm.

Figura 2. Ubicación Geográfica del Unidad Minera Tambomayo.



Fuente: *Área de Geología, Mina Tambomayo.*

Hidrográficamente, el proyecto se encuentra en la microcuenca Ucriamayo, perteneciente a la subcuenta del río Molloco, que a su vez tributa al río Colca, este río aguas abajo toma el nombre de Majes y finalmente entrega sus aguas al Océano Pacífico como río Camaná. En la *Tabla 1* tenemos las coordenadas de la ubicación de la unidad Minera Tambomayo.

Tabla 1. Ubicación de la Unidad Minera Tambomayo.

Coordenadas Del Proyecto		
Coordenadas Geográficas	**S**	**W**
	15° 29’ 02’’	71° 59’ 35’’
	15° 27’ 40’’	71° 54’ 17’’
	N	**E**
UTM	8286500	180500
WGS 84	8287800	189100

Fuente: *Área de geología, Mina Tambomayo*

La mina Tambomayo geográficamente pertenece a la provincia de Caylloma en la ciudad de Arequipa, como es de conocimiento la

provincia Caylloma cuenta con diferentes proyectos que operan en sus alrededores.

1.2.3. Descripción del método de minado de la mina Tambomayo

El método de explotación que se viene utilizando en la mina Tambomayo es el "banqueo y relleno" (bench & fill – B&F), bajo los siguientes criterios de diseño:

Tabla 2. Consideraciones técnicas para el diseño del método de explotación

N°	Criterios	Condiciones reales
1	Calidad de rocas encajonantes	De Regular A a Mala A, con RMR de 55 a 35
2	Calidad del mineral	De Regular A a Mala A con RMR de 55 a 32.
3	Buzamiento de la veta	Usual de 70 a 80°. En los niveles inferiores 50° a 60°
4	Potencia de la veta	De 3 a 18 m

Fuente: *Área de geología, Mina Tambomayo*

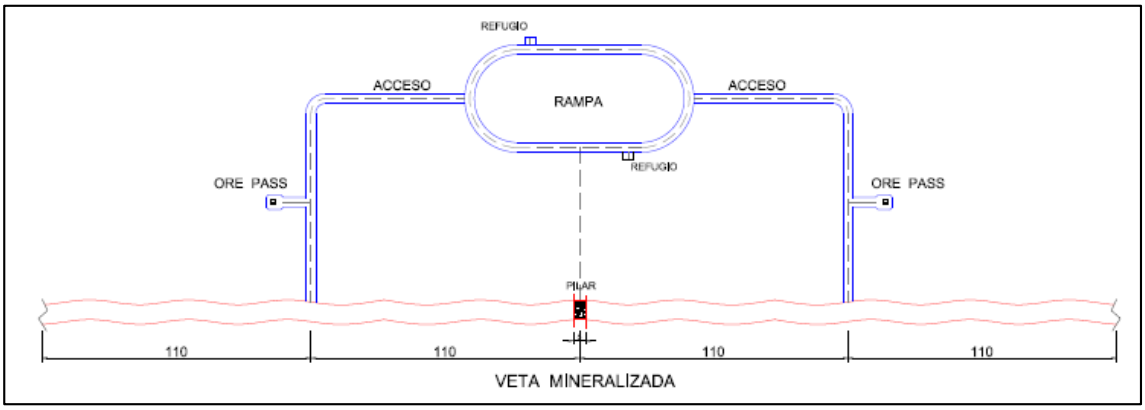
La preparación para la aplicación de este método consiste en construir a partir de las rampas de acceso las siguientes infraestructuras: los bypass de extracción, los cruceros, las ventanas, las galerías, el echadero de mineral (ore pass) y la cámara de carguío.

Cada 100 m de altura, en los niveles con terminación 40, se construye a partir de la rampa 100 un bypass paralelo a la veta, en la caja piso, con sección de 4.0 m x 4.0 m, alejado unos 38 m de la estructura mineralizada, con la finalidad de que sirvan como labor de tránsito de los volquetes de extracción del mineral.

Desde el bypass en los niveles principales, o de la rampa en los subniveles intermedios, se construyen los cruceros o ventanas con sección de 3.5 m por 3.5 m, de orientación perpendicular a la veta, para tener acceso a la estructura mineralizada. Las galerías son labores

construidas en el centro de la estructura de las vetas guiándose por las sinuosidades de sus contactos. Las galerías se construyen en los niveles y subniveles para delimitar el banco de producción. Normalmente la sección es de 3.5 m por 3.5 m.

Figura 3. Construcción de las labores de preparación.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo*

Figura 4. Esquema de labores de preparación.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo*

En cada nivel se construyen chimeneas de transferencia para que se eche mineral de cada uno de los subniveles de explotación y luego sean cargados a volquetes para su evacuación a la planta de procesos existente en superficie.

En los niveles también se construyen en la caja piso adyacente al bypass las cámaras de carguío en forme de “H” para cargar el mineral a los volquetes que transportan a la Planta Concentradora. El carguío se hace con scoops de 4 yd^3 y 6 yd^3 y los volquetes son de 15 m^3 de capacidad, de unas 25 tn de carga por viaje.

La explotación consiste en arrancar el mineral existente en los bancos de producción delimitados por los subniveles. Las actividades concernientes a la explotación son: perforación, voladura, limpieza de mineral y relleno.

La perforación para producción se realiza con un equipo electrohidráulico Simba en forma vertical y continua en cada subnivel. El espaciamiento de los taladros varía de 1.5 a 1.8 m dependiendo de la potencia de la veta. Para potencias menores de 3 m se utiliza 1.5 m y para potencias mayores de 3.6 m se utiliza espaciamiento de 1.8 m. La perforación es en forma radial y abarca toda la sección económicamente minable.

Cuando la potencia de la veta es mayor de 13 m se procura realizar la explotación por etapas dividiendo la veta en dos paneles longitudinales, luego la perforación también se realiza por etapas.

Para la voladura, el carguío de los taladros se hace con ANFO utilizando como iniciadores sebos de emulsiones enlazados a mangueras explosivas FANEL. El disparo se realiza por tramos cortos de 3 a 4 filas, según sea necesario. Cada veta debe producir diariamente unas 500 toneladas de mineral.

La limpieza del mineral se realiza por el subnivel inferior del tajeo, utilizando scoop de 4 yd^3 a control remoto hacia una cámara de acumulación más cercana, de allí se traslada a la chimenea de transferencia o a la cámara de carguío según sea el caso.

Para confinar las paredes de las cámaras de explotación se utilizan dos tipos de relleno:

- Relleno cementado producido con material detrítico clasificado y mezclado con cemento de tal modo que tenga a los 30 días una resistencia final mínima de 1.8 MPa. Este relleno se utiliza en el nivel principal cada 100 metros, en los niveles inferiores de cada tajeo hasta los 13 m de altura de modo que sirva como techo de seguridad cuando se mine el mineral existente en los subniveles inferiores. Un uso particular del relleno cementado es la construcción de falso pilar de unos 10 m de largo por toda la sección de la veta y 100 m de altura que se hace en la veta Mirtha cada 200 m, con una resistencia de 0.6 MPa a los 30 días, para controlar el relajamiento de la caja techo de esta veta.

- Relleno detrítico producto de la excavación de labores de exploración, desarrollo o preparación de la mina que echa a los tajeos a medida que progresa la rotura del mineral. El spam máximo para mantener la estabilidad del tajeo es de 28 m, distancia que se mantiene permanentemente a medida que avanza la rotura del banco mineralizado. El relleno se echa por el subnivel superior de cada tajeo por la ventana opuesta al de la limpieza del mineral.

1.2.4. Estudio Geomecánico: Modelo Geomecánico Del Macizo Rocoso De La Mina Tambomayo

El presente estudio es la Actualización del Modelo Geomecánico estructurado el año 2015, basado en la información de las nuevas perforaciones diamantinas y nuevas excavaciones de apertura dentro de las operaciones, ejecutadas durante los años 2015 – 2017; Compañía de Minas Buenaventura solicitó a VICOR INGENIEROS S.A.C. la actualización de este estudio, seguido a ello se ha tenido la actualización del Estudio Geomecánico por la Empresa Consultora DCR Ingenieros con fecha 23 de Julio del 2018, encargo que incluye la elaboración de un modelo de bloques de parámetros geomecánicos en el programa VULCAN.

Objetivo del Estudio geomecánico

El objetivo fundamental del presente estudio esta direccionado básicamente a la Actualización del Modelo Geomecánico de la Mina Tambomayo, además de cambiar el formato del modelo con el uso del software computacional VULCAN; el cual implica la consolidación de la información geomecánica existente y actualización de la caracterización geomecánica del macizo rocoso que conlleva plasmar finalmente en un modelo de bloques de RMR y RQD.

Asi mismo se toma como muestra el Mapeo geomecánico de labores subterráneas por el método de celdas y línea de detalle, de un tramo aprox. de 600 m de galería sobre veta, donde se levantaron 60 estaciones geomecánicas (mapeo por celdas) y 24 mediciones de línea de detalle distribuidos en la caja techo, mineral y caja piso de la estructura mineralizada.

- Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. (BNV), propietaria de la Mina Tambomayo, ha encargado a DCR Ingenieros S.R.Ltda. (DCR) la ejecución de la presente “Evaluación Geomecánica del Minado de Mina Tambomayo”, con el fin de buscar las mejores alternativas de minado subterráneo y dimensionar los componentes estructurales correspondientes, de tal manera de contribuir a la definición del método de minado seguro y eficiente.

- Para cumplir con el objetivo mencionado, fue necesario realizar trabajos de campo y de gabinete. En una primera etapa el estudio estuvo orientado a la ejecución de investigaciones básicas, con el fin de obtener la información necesaria, que permitió evaluar los factores principales del control de la estabilidad, y estimar los parámetros geomecánicos básicos. En una segunda etapa, se integró la información obtenida durante las investigaciones básicas, con el fin de evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones subterráneas, para finalmente dar las recomendaciones sobre las alternativas del minado.

- Como parte de las investigaciones básicas, se han definido las condiciones naturales del yacimiento, se ha caracterizado y clasificado a la masa rocosa, en base al mapeo geomecánico de las labores subterráneas de cada zona de estudio y al logueo geotécnico de testigos de sondajes diamantinos ejecutados como parte de la exploración del yacimiento. Los resultados de la caracterización y clasificación de la masa rocosa condujeron a la zonificación geomecánica de esta para fines de la explotación. Por otro lado, se determinaron en base a ensayos realizados in-situ y en laboratorio, de estudios previos, las propiedades físicas y parámetros de resistencia de la roca intacta, de las discontinuidades y de la masa rocosa. También se evaluaron factores adicionales que podrían influir en las condiciones de estabilidad de las labores mineras subterráneas, como la presencia de agua, los esfuerzos in-situ y los sismos.

- Utilizando toda la información geológica y geomecánica desarrollada durante las investigaciones básicas y utilizando herramientas de cálculo de la mecánica de rocas, se ha llevado a cabo un número de análisis, mediante los cuales se han determinado las direcciones preferenciales de avance de las excavaciones, las aberturas máximas y el sostenimiento de las excavaciones (permanentes, temporales y tajeos); también se ha evaluado la influencia del arreglo estructural de la masa rocosa y la influencia de los esfuerzos sobre las condiciones de estabilidad local y global de las excavaciones asociadas a la explotación de la Mina Tambomayo en las tres principales estructuras mineralizadas: Veta Mirtha, Veta Paola y Veta Paola Norte.

- Finalmente, utilizando toda la información previamente desarrollada se evaluó el método de minado, dimensionando sus componentes estructurales y definiendo las variables mineras como los esquemas y secuencias de avance del minado, el relleno y en general las técnicas de control de la estabilidad de las excavaciones asociadas

a la explotación de la mina, dándose finalmente las conclusiones y recomendaciones.

- En resumen, las características más resaltantes de cada estructura mineralizada han resultado en los siguiente:

a. Veta Mirtha

En la veta Mirtha, la calidad de la masa rocosa mineralizada y roca encajonante es típicamente del dominio DE-IIIB y la calidad va decreciendo a medida que se va ascendiendo hacia la superficie. De modo local aparecen sectores donde la calidad del mineral y cajas es del dominio IVA. Una particularidad de la Veta Mirtha es que la caja techo inmediata forma parte de la roca mineralizada de baja ley, pero la roca que se halla detrás de ésta es generalmente del dominio IVA y IVB que finalmente compromete a la estabilidad de los tajeos. La potencia de la veta varía de 2 a 7 m.

Según las condiciones naturales encontradas en este yacimiento, los métodos de minado que se pueden adoptar son: “banqueo y relleno” (B&F) y “corte y relleno” (C&F). El primero aplicado para todo el rango de potencias de la estructura mineralizada desde el Nivel 4590 hasta el Nivel 4840 y principalmente en rocas del dominio DE-IIIB, también en los tramos de rocas del dominio DE-IVA, pero en este caso con reforzamiento de las cajas con cablebolting. El segundo, principalmente para la parte superior de la veta encima del Nivel 4840 donde hay presencia de rocas de los dominios DE-IVA y DE IVB, principalmente en la caja techo. El corte y relleno sería el ascendente con voladura en breasting.

b. Veta Paola

Para el caso de la veta Paola, las características geomecánicas son similares a la Veta Mirtha, con la diferencia que las potencias son mayores, además el minado se halla a mayor profundidad, arriba de los 300 m. En este caso, la calidad de la masa rocosa tanto

mineralizada como la roca encajonante corresponde al dominio DE-IIIB. La potencia de la veta alcanza hasta 25 m en tramos puntuales.

Los métodos de minado que se pueden adoptar son el B&F y el SARC (subniveles ascendentes con relleno cementado). El primero significaría minado longitudinal a la veta y para potencias menores, hasta aproximadamente 10 m, en rocas del dominio DE-IIIB, que es el predominante tanto en el mineral como en las cajas techo y piso. Para rocas de mejor calidad como DE-IIIA, que están presentes en esta estructura mineralizada, tanto en el mineral como en las cajas techo y piso, se puede incrementar la potencia de mineral o ancho de tajeo hasta 12 a 15 m. De encontrarse zonas del dominio DE-IVA, estas se reforzarán con cablebolting.

El SARC sería aplicado para el minado transversal y en potencias mayores a 10 m en rocas del dominio DE-IIIB. Para el caso del dominio DE-IIIA en potencias mayores de 12 a 15 m. Dependiendo del ancho del tajeo transversal y de la calidad de la masa rocosa se verá la necesidad de utilizar refuerzo con cablebolting. Las mayores potencias de Paola ocurren entre los Niveles 4490 y 4640.

c. Veta Paola Norte

Los métodos de minado alternativos que se pueden utilizar son: B&F, SARC y C&F. El primero y segundo serían similares a los señalados para Paola, con la diferencia de que la caja techo de Paola Norte generalmente es del dominio DE-IVA y con algunos tramos de rocas del dominio DE-IVB. En este caso el límite de la potencia de la estructura mineralizada para definir el minado longitudinal o transversal sería de 8 a 10 m. En ambos casos la caja techo deberá ser reforzada con cablebolting y se deberá considerar menores longitudes de tajeos.

El C&F sería aplicado en los tramos donde la calidad de la masa rocosa tanto en mineral como en las cajas techo y piso son del dominio DE-IVA, lo cual ocurre en la parte superior del yacimiento, sobre el Nivel 4790 y entre los Niveles 4640 y 4740. La modalidad

de C&F sería en breasting. Adicionalmente, para la recuperación del mineral remanente ubicado entre los Subniveles 4772 y 4785 se ha definido la variante “galerías y relleno ascendentes” (OHD&F).

Conclusiones del estudio Geomecánico

- Regionalmente, la columna lito estratigráfica del área comprende rocas del Precámbrico, Mesozoico (Jurásico – Cretáceo), Cenozoico (Terciario-Cuaternario), pulsaciones de domo y cuerpos intrusivos menores, y finalmente la presencia de depósitos Cuaternarios. El Arco Volcánico Terciario-Cuaternario está conformado por los Volcánicos Santa Rosa, siendo la formación más importante por albergar la mineralización de Tambomayo.

- Localmente, el área del proyecto está constituida por una larga y compleja secuencia eruptiva de secuencias volcánicas entre rocas efusivas, fragmentales, volcanoclásticas y depósitos de avalanchas (lahares) que en conjunto construyen un posible estrato volcán de varios kilómetros de diámetro. Afloran en el área del proyecto tufos, brechas, lavas y lahares que varían desde traquiandesitas hasta dacitas.

- El área de estudio tiene un control estructural regional de rumbo Andino NW-SE que ha generado fallamientos tensionales con dirección E-W, estos últimos son de la mayor importancia por presentar la mineralización. Esta mineralización consiste en vetas de origen epitermal de baja sulfuración a intermedia. Las estructuras mineralizadas involucradas en la presente evaluación son: veta Mirtha, veta Paola y Veta Paola Norte.

- Las características litológicas simplificadas de la masa rocosa involucrada con las vetas Mirtha, Paola y Paola Techo, indican que en todos los casos que el mineral se halla dentro de una brecha de cuarzo, la caja techo está conformada por tobas andesíticas y toba brecha andesítica, hacia la caja piso se observa la presencia de lavas andesíticas. Para el caso de la veta Paola Norte, la caja techo

y piso es por lo general toba andesítica y toba brecha andesítica ya que esta veta se halla hacia el norte de la falla Norte y la veta Mirtha.

Recomendaciones del estudio Geomecánico

En el presente estudio se han definido los métodos de minado alternativos que pueden ser utilizados para la explotación subterránea de las vetas Mirtha, Paola y Paola Norte. Esta definición corresponde a una factibilidad técnica y con un enfoque geomecánico. El personal de mina Tambomayo viene adquiriendo experiencia en estos métodos de minado, esta experiencia aunada a los parámetros de diseño geomecánico que se brinda en este informe, servirá para poder optimizar la operación minera haciéndola más segura y eficiente.

- Para la utilización adecuada de la información geomecánica desarrollada en el presente estudio, es necesario que haya una interacción entre los ingenieros que tendrán a su cargo el planeamiento y diseño del minado y los ingenieros geomecánicos. De esta manera el apoyo geomecánico será más efectivo. Los análisis de la influencia del arreglo estructural de la masa rocosa sobre las condiciones de estabilidad de las excavaciones han indicado que habrá formación de cuñas en techos y paredes.

- En general, en los métodos de minado que utilizan subniveles con taladros largos, es muy importante realizar cuidadosos diseños y estándares de ejecución de la perforación y voladura controlada, para mantener principalmente la estabilidad adecuada del techo y de las cajas de los tajeos, principalmente de la caja techo.

- El minado longitudinal con el método de minado B&F deberá ser aplicado para anchos horizontales de tajeos de hasta 10 m en rocas del dominio DE-IIIB, y de 12 a 15 para rocas del dominio DE-IIIA. Para mayores anchos de tajeos es recomendable realizar el minado transversal con el método de minado SARC. Se debe tener en cuenta el buzamiento de la veta para establecer el ancho de los tajeos. A menor buzamiento es mejor adoptar menores anchos.

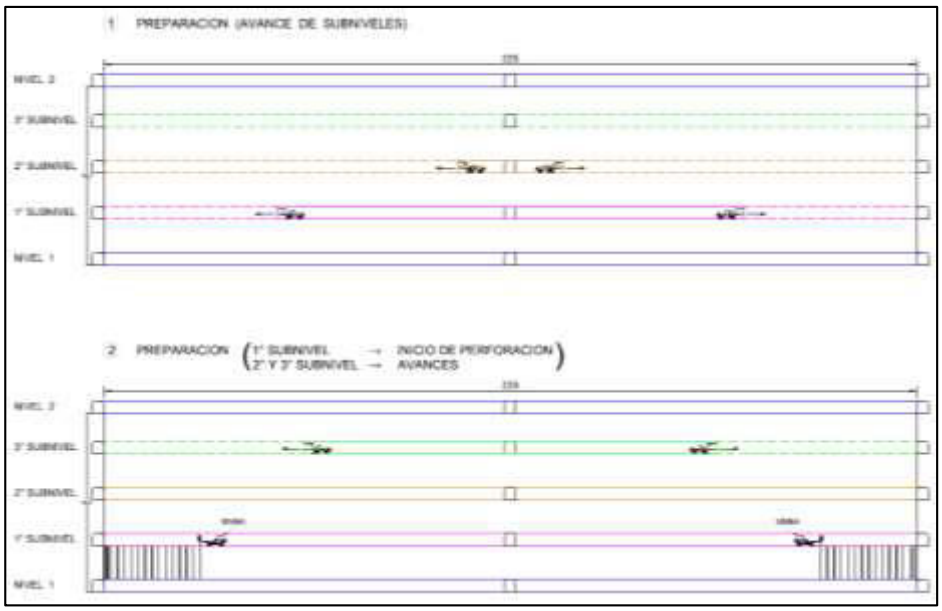
- Todos los análisis realizados en esta evaluación geomecánica han considerado que el relleno cementado es un material homogéneo, esto significa que debe haber un estricto control de calidad de la homogeneidad y resistencia de este. La formación de juntas frías es un problema en las condiciones de estabilidad de las excavaciones en relleno, principalmente del techo, por lo que se deberá evitar este problema tomando las precauciones del caso.

1.2.5. Secuencia de avance del minado

Concluida la preparación de los subniveles, el minado comienza con la perforación de los taladros verticales del primer banco a partir de los extremos hacia el centro con equipo Simba.

Concluida la perforación de los taladros verticales en el primer banco, esta continua en el segundo banco, y la voladura se realiza también en retirada a partir de los extremos de dos a tres filas, según el volumen de mineral que es necesario producir por tajeo en el día. La extracción de mineral se realiza por la ventana central del tajeo en el subnivel inferior.

Figura 5. Inicio de la explotación.



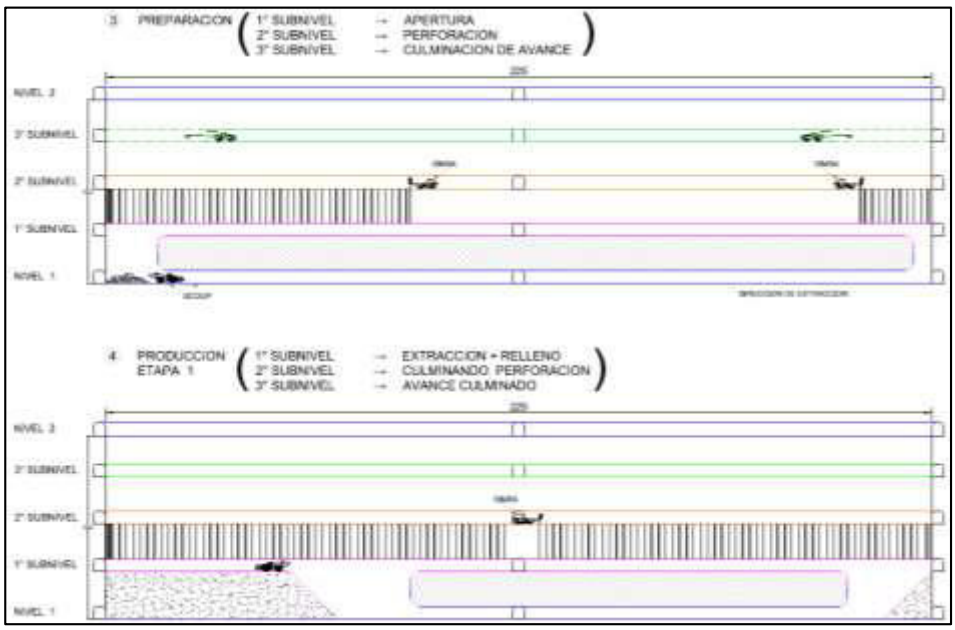
Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo*

Simultáneamente se procede a rellenar con material con relleno cementado de 1.8 MPa en el primer banco, tratando de mantener un spam de 28 m de largo para garantizar la estabilidad del tajeo.

Concluido el arranque del mineral del primer banco, se procede a completar el relleno para restituir el piso del segundo subnivel y realizar las reparaciones del techo o los hastiales si son necesarios para continuar con las operaciones. Se procede luego a la voladura del segundo banco en retirada de los extremos hacia el centro.

Simultáneamente la perforación de los taladros verticales continúa en el tercer banco. Los ciclos de perforación, voladura, limpieza y relleno continúan hasta llegar a explotar el último banco del block de 100 m de altura diseñado.

Figura 6. Continuación del ciclo de perforación, voladura y relleno.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo*

1.3. Organigrama de la Empresa

Desde su inicio la unidad minera Tambomayo fue liderada bajo una Gerencia encargada de dirigir a todo un equipo de profesionales seguido

por superintendencias que tienen la responsabilidad de cumplir los objetivos de la unidad, cabe mencionar que cada área es subdividida y cuenta con un equipo de trabajo altamente calificado, a continuación se detalla sus funciones:

1.3.1. Organigrama de la Mina Tambomayo

- **Superintendencia de Mina**

  Área que se encarga de todos los procesos de operativos que involucran la producción, preparación y desarrollo de la mina, a su vez es responsable del secuenciamiento y ejecución de los proyectos programados.

- **Superintendencia de Geología**

  Encargado de administrar la información geológica de la unidad, asimismo encargado de asegurar la calidad de mineral (reservas en cantidad y ley de mineral con el que se cuenta y dispone), dirige la búsqueda e incremento y estimación de los recursos minerales.

- **Superintendencia de Planeamiento.**

  Se encarga de realizar y modelar proyectos para el correcto secuenciamiento de la mina tanto para un corto, mediano y largo plazo, también es responsable del diseño operacional y evaluación económica de la mina.

- **Superintendencia de Planta**

  Área encargada del tratamiento del mineral, así como también realiza la coordinación directa con las áreas de mina y geología para el procesamiento de chancado y molienda del mismo.

- **Superintendencia de Seguridad**

  Encargado de la elaboración, gestión y documentación necesaria que exige la ley en minería, brinda el soporte necesario a las diferentes áreas de la unidad, realiza el seguimiento y cumplimiento de los procedimientos de trabajo establecidos.

- **Superintendencia de Medio ambiente**

  Área encargada de organizar, fiscalizar y coordinar el cumplimiento de las normas de calidad ambiental que establece la ley, a su vez elabora planes ambientales y controles que estos lo requieran.

- **Superintendencia de relaciones comunitarias**

  Área encargada de la planificación de implementación de políticas y estrategias corporativas que involucran la relación empresa – comunidad, así mismo es el área encargada de representación ante autoridades locales y personas civiles.

- **Superintendencia Seguridad patrimonial**

  Área que vela por la seguridad y vigilancia privada de la institución, a su vez identifica y analiza situaciones de riesgo y establece medidas para su control.

- **Superintendencia de Recursos Humanos**

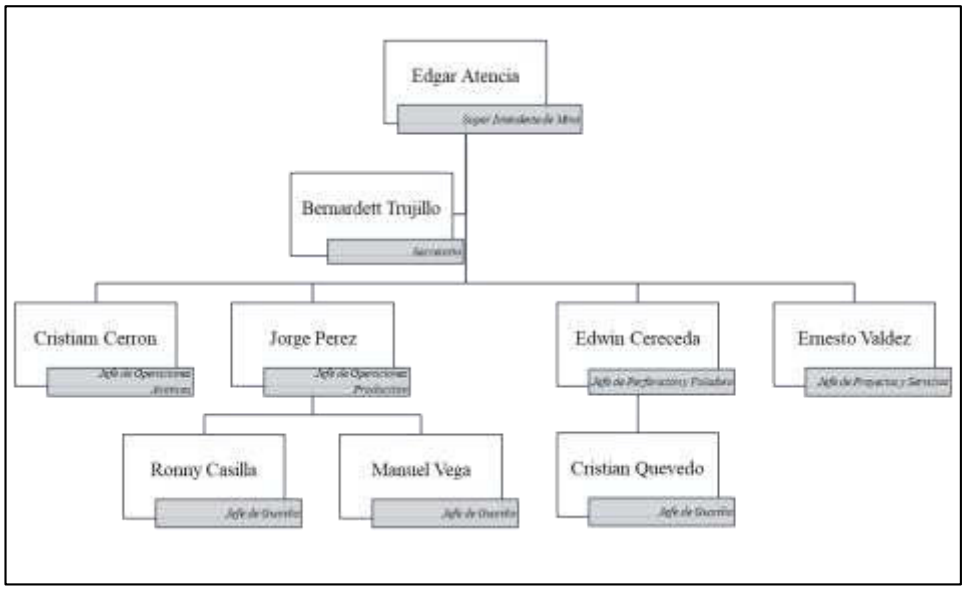
  Área encargada de la selección, evaluación y capacitación del personal de la institución, de igual manera responsable del bienestar social, administración y gestión humana.

Figura 7. Diagrama de Cargos Unidad Minera Tambomayo.



Fuente: *Área de Recursos Humanos, Mina Tambomayo.*

Figura 8. Diagrama de Cargos Operaciones Mina



Fuente: *Área de Mina, Mina Tambomayo.*

1.4. Áreas y funciones desempeñadas

El autor de este informe de suficiencia profesional se desarrolló inicialmente como Ingeniero en entrenamiento para posterior tener la responsabilidad como Ingeniero de Guardia Mina en el área de Operaciones en la Unidad minera Tambomayo, a continuación se muestran las funciones realizadas dentro de la empresa.

1.4.1. Ingeniero en entrenamiento

- Controlar y optimizar los tiempos de perforación y voladura, semanalmente preparar la presentación para su análisis de los datos recolectados.
- Verificar diariamente el cumplimiento de los procedimientos de trabajo en las labores de las empresas especializadas.
- Optimización de costos en: Aceros de perforación, consumo de explosivos y materiales en el método de minado de Taladros Lagos.
- Iniciar y liderar las reuniones matinales diarias en cada inicio de guardia y cambio de guardia.
- Generar el acta de acuerdos de las reuniones en los programas de avances lineales y producción mensual.
- Seguimiento del cumplimiento de herramientas de Gestión de seguridad y medio ambiente.

1.4.2. Ingeniero de Guardia Mina

- Coordinar diariamente con las empresas especializadas para la ejecución de los trabajos programados.

- Responsable en el cumplimiento de las operaciones: producción de mineral, exploraciones, preparación y desarrollo en avances lineales.
- Responsable del secuenciamiento de minado: perforación, voladura y relleno de tajeos en taladros largos.
- Responsable en la optimización de costos en: Aceros de perforación, consumo de explosivos y materiales en el método de minado de Taladros Lagos.
- Apoyar en las valorizaciones mensuales de las empresas especializadas. Así mismo hacer seguimiento al cumplimiento de trabajos encargados de estas.
- Participar en la elaboración de los programas de producción y avances lineales mensualmente.
- Elaborar y presentar el informe mensual del área de mina a la gerencia de la unidad.
- Verificar el cumplimiento las herramientas de gestión de Seguridad y seguimiento a los procedimientos establecidos de los trabajos.

CAPITULO II

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

2.1. Antecedentes

La Unidad Minera Tambomayo tiene una producción de mineral de Oro, Plata, plomo, zinc equivalente a 1500 Tn diarias, para lo cual cuenta con los últimos equipos de extracción y transporte de material

Las operaciones para la producción de mineral están a cargo de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. En la *Figura 9* se muestra la parte superficial de la mina en la que podemos tener un mejor panorama.

Figura 9. Fotografía Superficial de la Mina Tambomayo



Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

Respecto a las operaciones de preparación tales como avances, exploración y servicios auxiliares están a cargo de empresas contratistas mineras con la dirección y supervisión del titular minero.

El mismo caso sucede en el servicio de transporte de mineral el cual se realiza a través de empresas contratistas de la comunidad:

- Pio Guillen.SAC
- Surihuiri SAC
- Transmicon SAC
- Miguel Alexis SAC

Los equipos de transporte de material (mineral y desmonte) cuenta con 12 volquetes Volvo Fmx 6x4 con una capacidad nominal de 25 toneladas métricas, donde la distribución de volquetes se divide en 6 unidades para desmonte y 6 unidades para mineral, sin embargo, en condiciones normales se utiliza una flota de 10 unidades quedando 2 volquetes en Stand By. En la *Figura 10.* Se observa los volquetes que se utilizan en la mina Tambomayo.

Figura 10. Volquetes Fmx 6x4. Mina Tambomayo



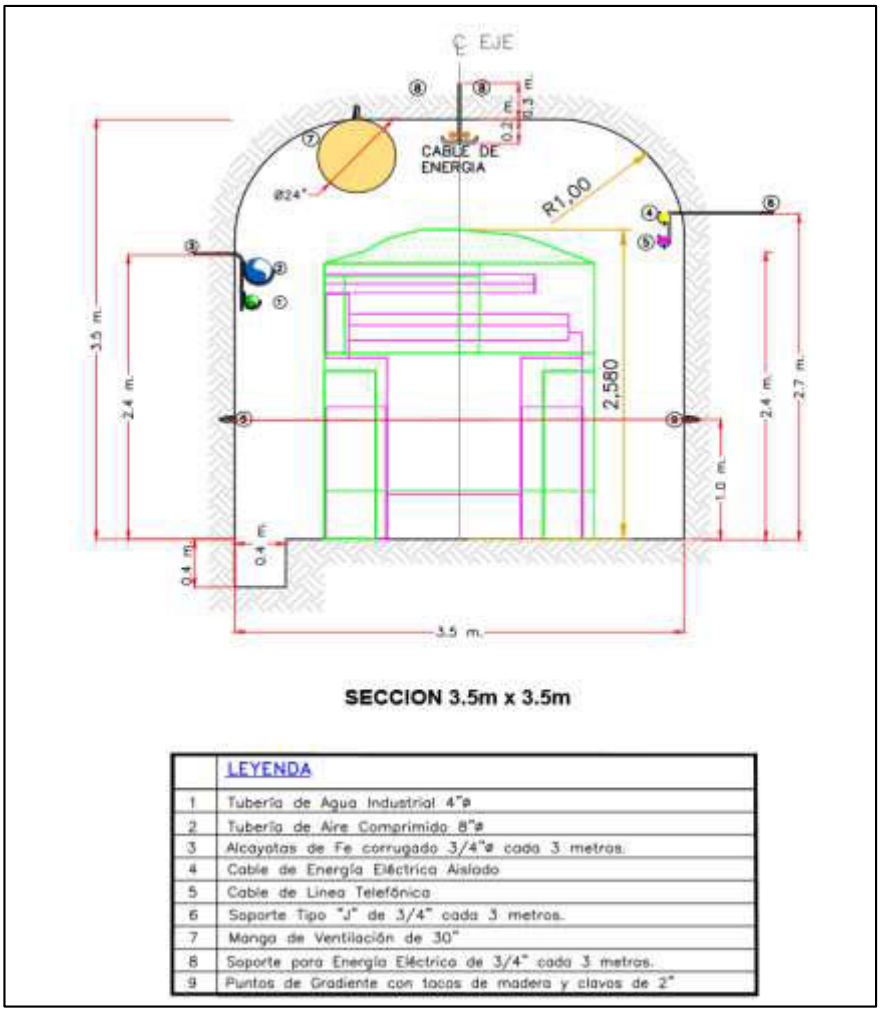
Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

En faenas de minería subterránea es muy común el acarreo de mineral o desmonte desde un frente disparado o un tajo de producción hacia una

ventana de acumulación cercana para seguidamente transportarlo a una cámara de carguío donde un volquete de mayor capacidad es empleado para el transporte del material.

El acarreo de material en general ya sea mineral o desmonte se emplean equipos LHD, debido a su versatilidad y tamaño facilita el trabajo en pequeñas secciones de las labores que son alrededor de 3.5m x 3.5m, comparado a los volquetes Fmx 6x4 utilizados en la mina Tambomayo necesitan una sección mínima de 4.0m x 4.0 m para poder transitar.

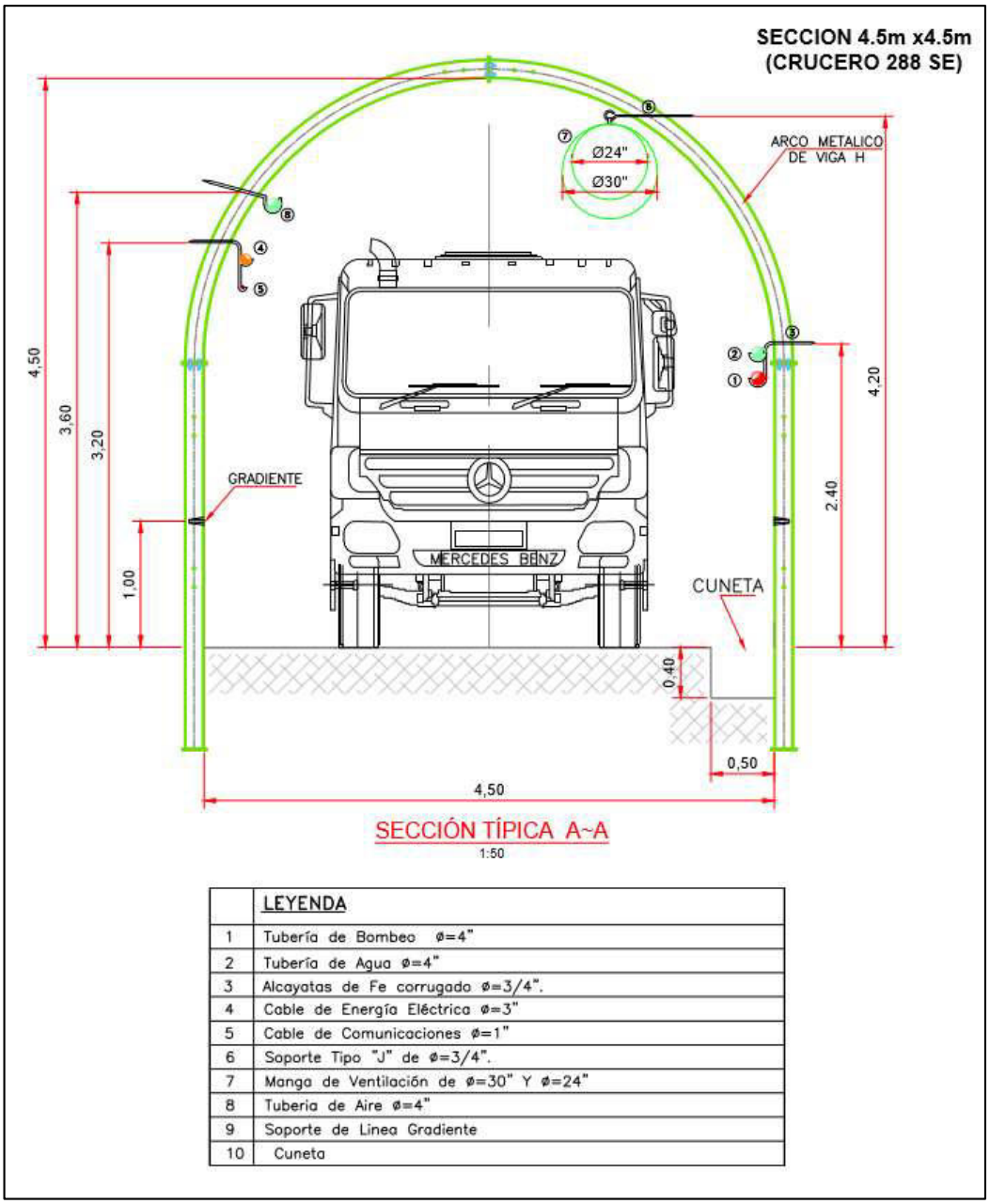
Figura 11. Sección típica en labores de producción 3.5m x 3.5m.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo*

Así mismo; en la *Figura 12* podemos diferenciar las dimensiones y características que tiene una sección típica de 4.5 m x 4.5 m, la cual es necesaria tener en consideración para la evaluación del presente informe.

Figura 12. Sección típica de labores para tránsito de volquetes 4.5 m x 4.5 m.



	LEYENDA
1	Tubería de Bombeo ø=4"
2	Tubería de Agua ø=4"
3	Alcayatas de Fe corrugado ø=3/4".
4	Cable de Energía Eléctrica ø=3"
5	Cable de Comunicaciones ø=1"
6	Soporte Tipo "J" de ø=3/4".
7	Manga de Ventilación de ø=30" Y ø=24"
8	Tuberia de Aire ø=4"
9	Soporte de Linea Gradiente
10	Cuneta

Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo*

Comparado a los equipos mencionados los volquetes tienen un costos mucho menor a los equipos LHD (Dumper y Scoop), debido a que los volquetes solo llegan a las cámaras de carguío y, estos están limitados para el ingreso a labores de secciones inferiores a 4.0 m x 4.0 m, por tal motivo se emplea los equipos Dumper y Scoop para el acarreo ya sea de mineral o desmonte.

La unidad minera Tambomayo dentro de su infraestructura, cuenta con dos rampas para la circulación de sus equipos:

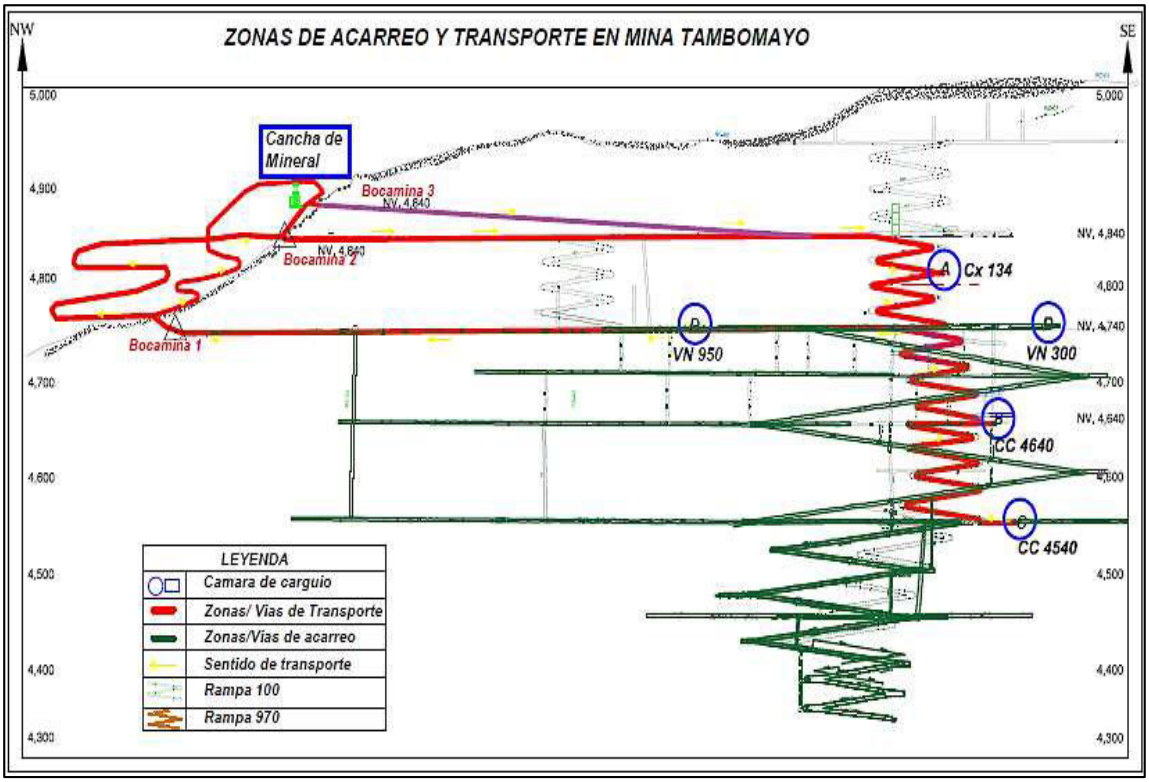
1. La Rp 970, que se desarrolla desde el Nv 4740 hasta el Nv 4440, este acceso cuenta con una sección típica de 3.5 m x 3.5 m para lo cual se viene usando como tránsito de equipos livianos: Dumper, Jumbos, Telehandler, Scaler, Scoop, Bolter y camionetas, cabe mencionar que la mayoría de las servicios más relevantes de la mina (Red de energía, aire comprimido y red de bombeo) están entorno a su recorrido.
2. La Rp 100, se desarrolla desde el Nv 4840 hasta el Nv 4540, este acceso cuenta con una sección típica de 4.0 m x 4.0 m el cual se viene usando para el tránsito de equipos de transporte de mineral, desmote y relleno cementado.

Teniendo comprendido la secuencia de extracción de mineral en la unidad minera Tambomayo desde el año 2017 que fue en que inicio su etapa de producción, el área de operaciones siempre contemplo incrementar la producción de mineral, por ello tenía el reto de buscar o innovar métodos para que este se cumpla, al mismo tiempo se presentaba el desafío de reducir los costos operacionales teniendo así dos objetivos en proyecto.

En el año 2018 a nivel corporativo la compañía de Minas Buenaventura obliga a todas sus unidades en producción reducir sus costos operacionales. Por su parte la Mina Tambomayo inicia con su identificación y evaluación de costos unitarios en todos sus procesos que por consiguiente dio inicio al reto de incrementar la producción de la mina sin tener que afectar a los costos de transporte, el área de operaciones en su análisis inmediato plantea aumentar la capacidad de los equipos de

transporte de material (Volquetes) donde como primera evaluación considera cambiar la flota de volquetes, así mismo surge la pregunta si se tiene la infraestructura adecuada, los equipos requeridos y el tiempo para la ejecución del proyecto.

Figura 13. Croquis en perfil de labores, zonas de carguío y vías de transporte de material de la mina.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo*

2.2. Justificación

El proceso de transporte subterráneo comienza con el acarreo del material extraído desde los frentes de producción al área de carguío, donde se carga en un equipo de transporte diferente o se descarga a través de una Chimenea de Mineral o buzón (ore pass). Desde este lugar, se transporta a la superficie o a su destino previsto.

Según el tamaño de los fragmentos del material y el equipo de transporte, el material se transporta directamente a la superficie o se maneja primero

con una trituradora. Hay diferentes equipos disponibles para manejar las diversas posibilidades de transporte de materiales y, por lo general, requieren equipos adicionales para completar el ciclo de transporte, por ejemplo, equipos de carga y descarga (LHD).(Pierre, 2018).

El presente trabajo describe una de las alternativas a tomar para el incremento de producción de la mina Tambomayo tal es el caso que, al mismo tiempo se tiene el reto de no aumentar los costos operativos, por ello se planteó evaluar la capacidad de los equipos de transporte de mineral, la infraestructura de la mina presente, los costos unitarios y el tiempo de ejecución de la mejora.

Es pertinente tener en cuenta los atributos que tendrán una contribución positiva al rendimiento general de los equipos de transporte de material. El propósito de la selección de equipos es determinar las maquinarias más óptimas con un costo mínimo, (Lizotte, 1988). El costo del equipo seleccionado también debe considerar el mantenimiento esperado y el costo de funcionamiento. Sin embargo, los factores específicos de la mina y no las generalidades impulsan la selección de maquinaria y equipos mineros. (Akande, 2005).

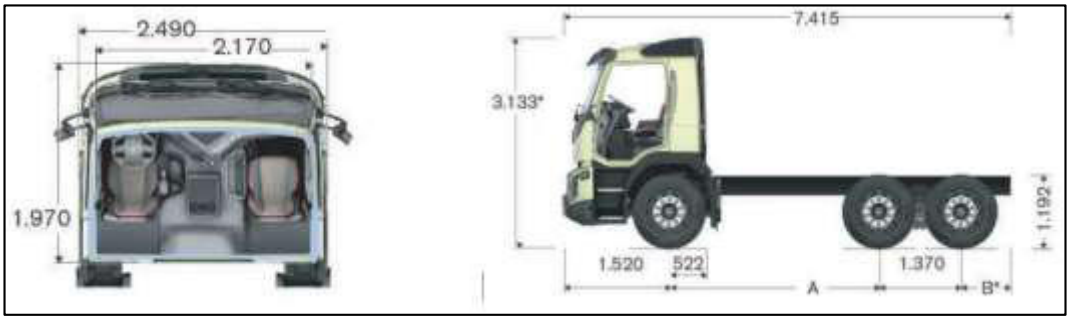
La selección adecuada del equipo reduce los costos de minería e incluso puede cambiar los límites de la mina optimizados, por lo tanto, la optimización del equipo y la optimización de la mina están fuertemente interrelacionadas.(Ebrahimi, 2002).

Para el presente informe también es necesario tener en conocimiento las características y dimensiones de los equipos de transporte de material que la mina Tambomayo tiene y los equipos que se necesitan para el incremento de producción.

2.2.1. Equipos actuales en la mina Tambomayo

Volquetes Volvo FMX 6x4

Figura 14. Dimensiones de Volquetes Volvo FMX 6x4.

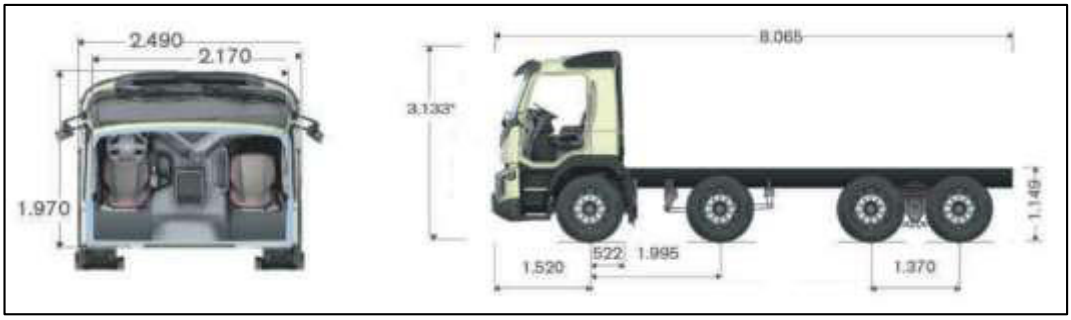


Fuente: *Ficha Técnica, Web Volvo.*

2.2.2. Equipos requeridos para el incremento de producción

Volquetes Volvo FMX 8x4

Figura 15. Dimensiones de Volquetes Volvo FMX 8x4.



Fuente: *Ficha Técnica, Web Volvo.*

2.2.3. Capacidades y características de los equipos en evaluación.

Figura 16. Diferencias entre los Volquetes Volvo, FMX 6x4 y FMX 8x4.





ITEM		UND	VOLQUETE FMX 6x4
Capacidad de diseño.		m^3	15
Capacidad 85%		m^3	12.75
Radio de giro Diseño		m	22
Potencia de motor		hp	480
Longitud	Largo	m	8.5
	Ancho	m	2.6
	Alto	m	3.1
Numero de ejes		und	3

ITEM		UND	VOLQUETE FMX 8x4
Capacidad de diseño.		m^3	22
Capacidad 85%		m^3	18.7
Radio de giro Diseño		m	25
Potencia de motor		hp	520
Longitud	Largo	m	9.5
	Ancho	m	2.6
	Alto	m	3.1
Numero de ejes		und	4

Fuente: *Ficha Técnica, Web Volvo.*

Por lo tanto bajo conocimiento teóricos y experiencias recogidas por distintos empleados de la unidad minera Tambomayo se propuso dos alternativas para la reducción de costos operativos para el transporte de material.

CAPITULO III

FORUMALACIÓN DEL DISEÑO

El presente informe está enfocado en la descripción del proceso para cambiar la Flota de Volquetes de la mina Tambomayo y además demostrar las oportunidades de mejora que se puede obtener con el ingreso de volquetes con mayor capacidad de carga. Así mismo se mencionara las limitaciones y condicionales que se presentaron durante su evaluación.

3.1. Evaluación de rendimientos entre Volquetes propuestos.

Para la evaluación y selección del equipo más óptimo es necesario definir las necesidades que va a cubrir, como por ejemplo: Cumplimiento de producción de mineral y Cumplimiento del programa de avances de la mina (Evacuación de material estéril), por tal motivo es necesario evaluar rendimientos tanto en producción de Mineral y Desmonte.

3.1.1. Oportunidad de ahorro en costos de transporte en Mineral.

La mina Tambomayo tiene una producción mensual de 48600 Tn húmedas que castigando por el Factor de humedad de 8% se tiene una producción mensual de 45000 Tn secas, para lograr este objetivo diariamente se debe cumplir una producción de 1620 Tn húmedas, la extracción de mineral es netamente producida por los tajeos y transportado en Volquetes. En la *Tabla 3* se detalla la producción mensual que la Mina Tambomayo cumple.

Tabla 3. Producción de Mineral - Unidad Tambomayo.

Producción Mensual Tn (Secas)	Producción Mensual Tn (Húmedas)	Producción de Mineral Tn / Día	Producción de Mineral Guardia Tn / Gdia
45000	48600	1620	810

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente definiendo la producción de mineral que se debe cumplir se realiza la evaluación de rendimientos y costos de equipos, cabe mencionar que los rendimientos tomados fueron controlados desde la cámara de carguío principal de la Mina Tambomayo (Cámara 4640) que tiene una longitud de 6 km hasta la cancha de mineral y un tiempo de recorrido por volquete de 1 hr con 12min. En la *Tabla 4* se puede apreciar la diferencia de rendimientos entre los Volquetes Volvo FMX 6x4 y FMX 8x4.

Tabla 4. Datos Técnicos y Rendimientos de Volquetes.

ITEM	UND	Volquete FMX 6x4	Volquete FMX 8x4
Costo de Volquete (P.U.)	$ / hr	41.2	45.0
Capacidad nominal de la Tolva	m^3	15	22
Capacidad real de la Tolva (85%)	m^3	12.8	18.7
Capacidad de la Tolva	Tn	21.2	31.0
Potencia de equipo	Hp	480	520
Horas Trabajadas en la Guardia	hr / Gdia	9	9
Tiempo de recorrido por Viaje	hr	1.2	1.3

Nota 1: Los datos de la tabla fueron recopilados de la Ficha técnica de Volvo y rendimientos tomados en campo y comprobados con la data del área de Mina.

***Fuente:** Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

Para el dimensionamiento de la flota de volquetes es necesario enfocarlo al objetivo principal de la necesidad, en este caso es referido al tonelaje de producción mensual de mineral que es 48600 Tn húmedas. Conociendo la capacidad de acarreo de los equipos y el tiempo de recorrido se puede determinar el número de Volquetes necesarios. En *Tabla 5* se determinó la flota necesaria en ambos casos de Volquetes.

Tabla 5. Cálculo de Flota necesaria para Mineral.

ITEM	UND	Volquete FMX 6x4	Volquete FMX 8x4
Capacidad de la Tolva	Tn	21.2	31.0
Horas Trabajadas en la Guardia	hr	9	9
Tiempo de recorrido por Viaje	hr	1.2	1.3
Producción Mensual	Volq / Mes	2296	1566
Producción por Guardia	Volq / Gdia	38	26
Viajes del Volq en la Guardia	Viajes	8	7
Volquetes Necesarios	Volq	5	4

Nota 1: Los resultados de la tabla fueron desarrollados en Gabinete y comprobados con la data del área de Mina.

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

Los costos operativos son determinantes para calcular el costo mensual en los equipos de transporte (Volquetes), con los datos obtenidos de la *Tabla 5* se puede determinar los indicadores operativos. Ver *Tabla 6*.

Tabla 6. Costos Operativos e Indicadores de Rendimiento en los Volquetes Volvo FMX.

ITEM	UND	Volquete FMX 6x4	Volquete FMX 8x4
Costo de Volquete (P.U.)	$ / hr	41.2	45.0
Capacidad real de la Tolva (85%)	m^3	12.8	18.7
Capacidad de la Tolva	Tn	21.2	31.0
Tiempo de recorrido por Viaje	hr	1.2	1.3
Costo operativo m^3	$ / m^3	3.9	3.1
Costo operativo Tn	$ / Tn	2.3	1.9
Costo mensual	$	113,536.5	90,179.8
KPi de equipo	M^3 / hr	10.6	14.6
Kpi de equipo	Tn / hr	17.6	24.3

Nota 1: Los resultados de la tabla fueron desarrollados en Gabinete y comprobados con la data del área de Mina.

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

Finalmente determinando el costo mensual de transporte para cada tipo de Volquete se puede concluir que para la extracción mineral se puede ahorrar hasta 21 % del costo mensual que normalmente se paga. Proyectando la oportunidad de beneficio a un plazo de un año se obtiene un monto total de ahorro de 298 060 Dólares. Ver *Tabla 7*

Tabla 7. Costos Proyectados a un Año de Producción.

Mes	**Producción Mensual**	**Volquete FMX 6x4**		**Volquete FMX 8x4**	
	Toneladas (Tn)	Tiempo Ciclo (hr)	Costo ($)	Tiempo Ciclo (hr)	Costo ($)
Mes 1	48 600	1.20	113,536	1.28	90,180
Mes 2	48 600	1.21	114,798	1.29	91,182
Mes 3	48 600	1.23	116,074	1.31	92,195
Mes 4	48 600	1.24	117,363	1.32	93,219
Mes 5	48 600	1.25	118,667	1.34	94,255
Mes 6	48 600	1.27	119,986	1.35	95,302
Mes 7	48 600	1.28	121,319	1.37	96,361
Mes 8	48 600	1.30	122,667	1.38	97,432
Mes 9	48 600	1.31	124,030	1.40	98,514
Mes 10	48 600	1.33	125,408	1.41	99,609
Mes 11	48 600	1.34	126,801	1.43	100,716
Mes 12	48 600	1.36	128,210	1.45	101,835
TOTAL	583 200		1,448,860		1,150,801

Nota 1: El ejercicio fue desarrollado en base a los costos operativos de la Tabla 6, el tiempo de ciclo aumento 3% cada mes debido a que la mina tiende a desarrollarse por lo tanto la distancia de acarreo también se incrementa.

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

Respecto al margen de ahorro en el costo de transporte se calculó con la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Oportunidad de Ahorro (Mineral).

$$A = C1 - C2$$

Siendo:

- Oportunidad de Ahorro, Dólares (A)
- Costo total de transporte Volquete FMX 6x4 (C1)
- Costo total de transporte Volquete FMX 8x4 (C2)

La oportunidad de ahorro tiene un impacto directo en la reducción de costos unitarios en el área de mina, por ello se representa por la siguiente ecuación.

Ecuación 2. Ahorro de Costo Unitario (Mineral)

$$Costo\ Unitario = \frac{Oportunidad\ de\ Ahorro\ (Total\ \$)}{Producción\ de\ Mineral\ Anual}$$

En conclusión el resultado del ejercicio respecto en la evaluación de equipos entre Volquetes Volvo FMX 6x4 y FMX 8x4 nos indica que si se reemplazan los equipos de transporte por uno de mayor capacidad, en el caso de Mineral este tendrá un margen de ahorro de 0.51 $/Tn.

3.1.2. Oportunidad de ahorro en costos de transporte de Desmonte.

La mina Tambomayo tiene una programación mensual de 1200 m de avance lineal que corresponde para al desarrollo y preparación de la Mina. Así mismo la sección típica de la mina es de 4.0 m x 4.0 m, para el lograr este objetivo diariamente se produce voladuras en los frentes de avance y a la vez se realiza la limpieza de mismo, aplicando un factor de sobre rotura de 5% y esponjamiento de 35% esto genera un volumen total de 27216 m^3 de material estéril.

En la *Tabla 8* se detalla el volumen mensual de material estéril generado de la Mina Tambomayo.

Tabla 8. Tabla de Material Estéril Generado.

Avance	Sección	Volumen roto (m^3)	Sobre rotura 5% (m^3)	Volumen esponjado 35% (m^3)
1200	4.0 X 4.0	19 200	20 160	27 216

Fuente: *Elaboración propia.*

Seguidamente se realiza la evaluación de rendimientos y costos de equipos, cabe mencionar que los rendimientos tomados fueron controlados desde la cámara de carguío principal de la Mina (Ca 4640) que tiene una longitud de 6.1 km hasta el depósito de material estéril (DME) y un tiempo de recorrido por volquete de 1h con 18min.

Tabla 9. Datos Técnicos y Rendimientos de los Volquetes

ITEM	UND	Volquete FMX 6x4	Volquete FMX 8x4
Costo de Volquete (P.U.)	$ / hr	41.2	45.0
Capacidad nominal de la Tolva	m^3	15	22
Capacidad real de la Tolva (85%)	m^3	12.8	18.7
Potencia de equipo	Hp	480	520
Horas Trabajadas en la Guardia	hr / Gdia	9	9
Tiempo de recorrido por Viaje	hr	1.3	1.4

Nota 1: Los datos de la tabla fueron recopilados de la Ficha técnica de Volvo y rendimientos tomados en campo y comprobados con la data del área de Mina.

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

Conociendo la capacidad de acarreo de los equipos y el tiempo de recorrido por cada viaje de material se puede determinar el número de Volquetes necesarios para para lograr el objetivo mensual. En la *Tabla 10* se determinó la flota necesaria en ambos casos de Volquetes.

Tabla 10. Tabla de Cálculo de Flota necesaria para Material Estéril

ITEM	UND	Volquete FMX 6x4	Volquete FMX 8x4
Capacidad de la Tolva (85%)	m3	12.8	18.7
Horas Trabajadas en la Guardia	hr	9	9
Tiempo de recorrido por Viaje	hr	1.3	1.4
Programa de avance Mensual	Volq / Mes	2135	1455
Avance por Guardia	Volq / Gdia	36	24
Viajes del Volq en la Guardia	Viajes	7	7
Viajes necesarios	Volq	5	4

Nota 1: Los datos de la tabla fueron recopilados de la Ficha técnica de Volvo y rendimientos tomados en campo y comprobados con la data del área de Mina.

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

Con los datos obtenidos se puede determinar los indicadores operativos para simulaciones futuras, en la *Tabla 11* se verifica los costos operativos proyectos a un mes para ambos tipos de Volquetes.

Tabla 11. Costos Operativos e Indicadores de Rendimiento en los Volquetes Volvo FMX

ITEM	UND	Volquete FMX 6x4	Volquete FMX 8x4
Costo de Volquete (P.U.)	$ / hr	41.2	45.0
Capacidad real de la Tolva (85%)	m^3	12.8	18.7
Capacidad de la Tolva	Tn	21.2	31.0
Tiempo de recorrido por Viaje	hr	1.3	1.4
Costo operativo (m^3)	$ / m^3	4.2	3.3
Costo operativo (Tn)	$ / Tn	2.5	2.0
Costo mensual	$	114,338.8	90,380.4
KPi de equipo	m^3 / hr	10.6	14.6
Kpi de equipo	Tn / hr	17.6	24.3

Nota 1: Los datos de la tabla fueron recopilados de la ficha técnica de volvo y rendimientos tomados en campo y comprobados con la data del área de Mina.

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

Finalmente determinando el costo mensual de transporte para cada tipo de Volquete se puede concluir que para la evacuación de material estéril se puede ahorrar hasta 21 % del costo mensual que normalmente se paga.

Proyectando la oportunidad de beneficio a un plazo de un año se obtiene un monto total de ahorro de 346 530 dólares. Este ejercicio se aplicó para cada tipo de Volquete, en la *Tabla 12* se puede determinar el costo total en un año de trabajo.

Tabla 12. Costos de Transporte Proyectados a un Año de evacuación de Material Estéril

Mes	**Producción Mensual**		**Volquete FMX 6x4**		**Volquete FMX 8x4**	
	Avance Mensual (m)	Material estéril (m^3)	Tiempo Ciclo (hr)	Costo ($)	Tiempo Ciclo (hr)	Costo ($)
Mes 1	1200	27 216	1.30	114,339	1.38	90,380
Mes 2	1200	27 216	1.34	118,150	1.43	93,393
Mes 3	1200	27 216	1.39	122,088	1.47	96,506
Mes 4	1200	27 216	1.43	126,158	1.52	99,723
Mes 5	1200	27 216	1.48	130,363	1.57	103,047
Mes 6	1200	27 216	1.53	134,709	1.63	106,482
Mes 7	1200	27 216	1.58	139,199	1.68	110,031
Mes 8	1200	27 216	1.64	143,839	1.74	113,699
Mes 9	1200	27 216	1.69	148,634	1.79	117,489
Mes 10	1200	27 216	1.75	153,588	1.85	121,405
Mes 11	1200	27 216	1.80	158,708	1.92	125,452
Mes 12	1200	27 216	1.86	163,998	1.98	129,634
TOTAL	14400	326 592		1,653,773		1,307,244

Nota 1: El ejercicio fue desarrollado en base a los costos operativos de la Tabla 11, el tiempo de ciclo aumentó 3% cada mes debido a que la mina tiende a desarrollarse por lo tanto la distancia de acarreo también se incrementa.

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

Respecto al margen de ahorro en el costo de transporte se calculó con la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Oportunidad de Ahorro (Material Estéril).

$$A\ C1 - C2$$

Siendo:

- Oportunidad de Ahorro, dólares (A)
- Costo total de transporte Volquete FMX 6x4 (C1)
- Costo total de transporte Volquete FMX 8x4 (C2)

La oportunidad de ahorro tiene un impacto directo en la reducción de costos unitarios en el área de mina, por ello se representa por la siguiente ecuación.

Ecuación 4. Ahorro de Costo Unitario (Material Estéril).

$$Costo\ Unitario = \frac{Oportunidad\ de\ Ahorro\ (Total\ \$)}{Producción\ de\ Mineral\ Anual}$$

En conclusión el resultado del ejercicio respecto en la evaluación de equipos entre Volquetes Volvo FMX 6x4 y FMX 8x4 nos indica que si se reemplazan los equipos de transporte por uno de mayor capacidad, en el caso de desmonte este tendrá un margen de ahorro de 0.59 $/Tn.

3.1.3. Beneficio de ahorro.

Con los datos obtenidos para una mejor evaluación a continuación se representará la comparación de ahorro para ambos tipos de volquetes. Ver *Tabla 13* y *Tabla 14*.

Tabla 13. Evaluación de Costos Proyectados con Volquetes FMX 6x4, Mineral y desmonte.

Mes	Producción Mensual (Tn)	Desmonte ($)	Mineral ($)	Costo ($)
Mes 1	48600	114,339	113,536	227,875
Mes 2	48600	118,150	114,798	232,948
Mes 3	48600	122,088	116,074	238,162
Mes 4	48600	126,158	117,363	243,521
Mes 5	48600	130,363	118,667	249,031
Mes 6	48600	134,709	119,986	254,695
Mes 7	48600	139,199	121,319	260,518
Mes 8	48600	143,839	122,667	266,506
Mes 9	48600	148,634	124,030	272,664
Mes 10	48600	153,588	125,408	278,996
Mes 11	48600	158,708	126,801	285,509
Mes 12	48600	163,998	128,210	292,208
TOTAL				**3,102,634**

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

Tabla 14. Evaluación de Costos Proyectados con Volquetes FMX 8x4, Mineral y desmonte.

Mes	Producción Mensual (Tn)	Desmonte ($)	Mineral ($)	Costo ($)
Mes 1	48600	90,380	90,180	180,560
Mes 2	48600	93,393	91,182	184,575
Mes 3	48600	96,506	92,195	188,701
Mes 4	48600	99,723	93,219	192,942
Mes 5	48600	103,047	94,255	197,302
Mes 6	48600	106,482	95,302	201,784
Mes 7	48600	110,031	96,361	206,393
Mes 8	48600	113,699	97,432	211,131
Mes 9	48600	117,489	98,514	216,004
Mes 10	48600	121,405	99,609	221,015
Mes 11	48600	125,452	100,716	226,168
Mes 12	48600	129,634	101,835	231,469
TOTAL				**2,458,044**

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

Analizando la *Tabla 13 y Tabla 14* se puede concluir que existe un margen de ahorro significativo si se cambia la flota de volquetes sin variar el costo operativo. Ver la *Tabla 15.*

Tabla 15. Análisis de Beneficio de ahorro Proyectado en un Año de producción.

Mes	Producción Mensual (Tn)	Costo Volquetes FMX 6x4 ($)	Costo Volquetes FMX 8x4 ($)	Beneficio
Mes 1	48600	227,875	180,560	47,315
Mes 2	48600	232,948	184,575	48,373
Mes 3	48600	238,162	188,701	49,461
Mes 4	48600	243,521	192,942	50,579
Mes 5	48600	249,031	197,302	51,728
Mes 6	48600	254,695	201,784	52,910
Mes 7	48600	260,518	206,393	54,125
Mes 8	48600	266,506	211,131	55,375
Mes 9	48600	272,664	216,004	56,660
Mes 10	48600	278,996	221,015	57,982
Mes 11	48600	285,509	226,168	59,341
Mes 12	48600	292,208	231,469	60,739
TOTAL		**3,102,634**	**2,458,044**	**644,589**

Nota 1: Los costos calculados fueron desarrollados en base a los resultados de mineral y desmonte.

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

3.2. Propuesta N° 1: Desquinche de radios de giro en la Rampa 100.

La propuesta 1 consiste en habilitar la Rp 100 para el tránsito de volquetes mediante la ampliación de sección en los radios de giros, la Rp 100 como estructura inicial fue diseñada y desarrollada con un radio de giro de 22 m, por tal motivo los volquetes FMX 8x4 no pueden transitar porque necesitan un radio de giro mayor.

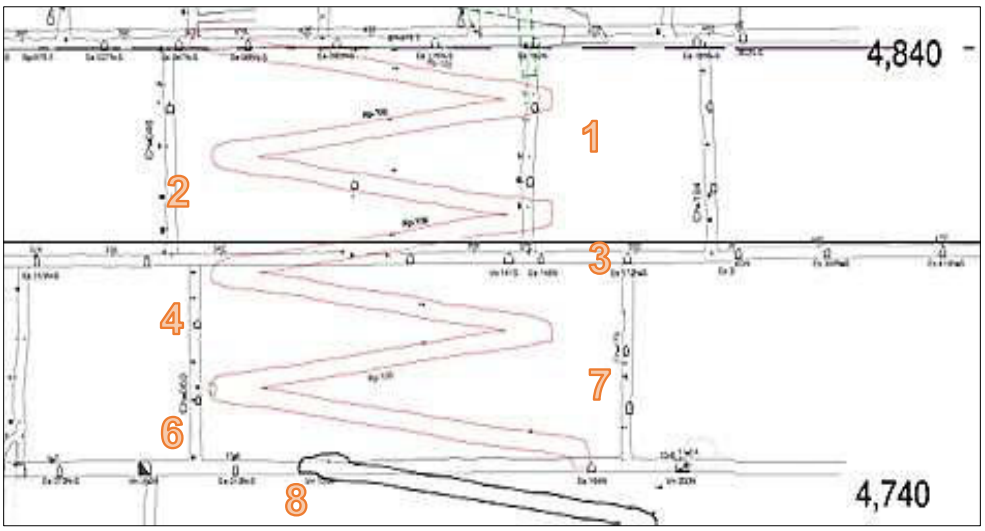
La propuesta 1 comprende las siguientes Etapas: Evaluación e identificación de las zonas a ampliar, simulación y ejecución de la ampliación y por último la evaluación económica del proyecto.

3.2.1. Evaluación e identificación de las zonas para ampliar.

Como primer paso se evaluó las zonas que requerían ampliar la sección para el tránsito del volquete puesto que, como radio de giro mínimo esta debía tener un diseño de 25 m. Para la identificación de las zonas de desquinche se tuvo la participación de las áreas de Planeamiento, Geomecánica, Seguridad, Medio ambiente y Mantenimiento Mina, esto debido a que se necesitaba el involucramiento y el visto bueno de las áreas en mención.

En la *Figura 17* se puede apreciar la zona que se necesita ampliar y el número de Curvas que son necesarias para que los volquetes FMX 8x4 transiten.

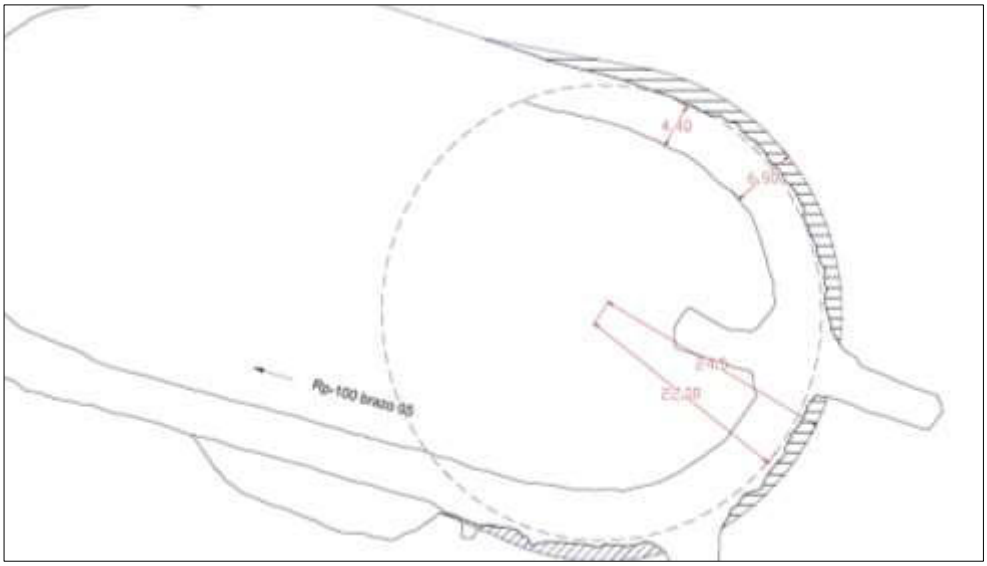
Figura 17. Sección longitudinal de la Rap 100.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo.*

Así mismo; en la *Figura 18* se puede observar que, como diseño inicial los radios de giro de la Rp 100 tiene un ancho de 4.5 m, para lo cual se necesita un ancho de mayor para el tránsito de los volquetes FMX 8x4.

Figura 18. Vista en Planta Topográfica de los Radio de Giro, Rp 100.



Fuente: *Área Planeamiento, Mina Tambomayo.*

3.2.2. Restricciones de proyecto.

Una de las restricciones que presento el proyecto fue retirar las conexiones de aire y agua mientras se realizaba las ampliaciones de los radios de giro de la Rp.

3.2.3. Simulación y ejecución del proyecto.

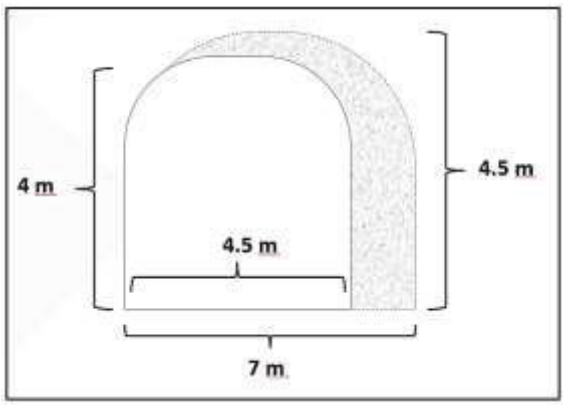
En la Segunda etapa se hicieron cálculos de simulación de costo, procesos operativos y tiempo de inversión.

- **Cálculos de costo de desquinches.**

  La Rp 100 cuenta con un total de 8 curvas que comprenden desde el Nv 4740 al Nv 4840, cada curva tiene una longitud de 60 m con una sección de 4.0 m x 4.0 m, teniendo identificado las medida de la curvas de la rampa se procedió a calcular el volumen de la ampliación.

En la *Figura 19* se puede apreciar las medidas de la labor actual y la longitud que se necesita ampliar para el tránsito de los volquetes FMX 8x4.

Figura 19. Sección transversal de proyecto de desquinche de los radios de giro de la Rampa 100.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo.*

Para el cálculo del volumen de la ampliación y su costo, primero fue necesario calcular el área que necesita desquinche, al simular la operación el resultado fue 11.25 m^2, calculando por la longitud de la curva que es igual a 60 m por el número de curvas del proyecto da como resultado el volumen total de desquinche (5400 m^3), cabe señalar que por precio unitario de desquinche es de 56.51 S/. / m^3. En la *Tabla 16* se aprecia el costo del proyecto de desquinche.

Tabla 16. Costo Total de Desquinche.

	Avance (m)	Sección actual	Sección propuesta	Volumen desq (m^3)	Costo en Soles	Costo en Dólares
Propuesta 1	480	4.0 x 4.0	4.5 x 4.5	5400	305 154.00	94 183.0

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

- **Cálculo de costo de sostenimiento.**

  En la unidad Tambomayo los trabajos operativos tales como: Limpieza, perforación, ventilación y sostenimiento los ejecuta la

empresa contratista JRC S.A, como tal para el proyecto de desquinche de las curvas de la Rampa 100, es necesario aplicar un sostenimiento que según la recomendación geomecánica en tipos de Roca IVA se debe colocar: Perno helicoidal + Malla electro soldada por cada metro avanzado.

Cabe señalar que en cada metro de sostenimiento se usa 5 pernos helicoidales y 6 m^2 de malla electrosoldada, en la *Tabla 17* detalla el costo por unidad y la cantidad necesaria para el sostenimiento que el proyecto requiere.

Tabla 17 Costo Total de Sostenimiento.

ITEM	Cant	PU (Soles)	Sub total
Pernos Helicoidales (und)	5	90.0	S/.450.0
Malla electro soldada (m^2)	6	39.0	S/.234.0
		Costo sostenimiento por metro	S/.684.0
Avanece Lineal (m)	480		
		Costo total del proyecto (S/.)	**S/. 328,320.0**
		Tipo de cambio	3.24
		Costo total del proyecto (US$)	**$ 101,133.0**

Fuente: *Área de operaciones, Mina Tambomayo.*

- **Cálculos de costo de acarreo**

Para el cálculo del costo de transporte se sub dividió en dos operaciones: La primera que es el costo de acarreo con equipos Dumper y la segunda que es el costo de acarreo con Volquetes.

Esto debido por su accesibilidad y la única cámara de carguío existente en el Nv 4840 es decir, los equipos de limpieza debían acarrear el material hasta la cámara más cercana que se encuentre y seguidamente este transportarlo en volquetes hasta la zona de depósito de material estéril.

- **Calculo del costo de acarreo con Volquete FMX 6X4**

Para del cálculo de costos de transporte de material con volquete se consideró todos los datos que intervienen en la operación: Capacidad de Tolva, Velocidades promedio de subida (con carga), Velocidad promedio de Bajada (sin carga), tiempo durante el carguío, tiempo durante la descarga y tiempos muertos que en la operación se tiene tales como espera de equipos u otros.

En la *Tabla 18* se detalla datos necesarios para el cálculo del costo del volquete FMX 6x4.

Tabla 18 Datos para el Cálculo del Costo de Volquetes FMX

ITEM	CANT	UND
Costo Volquete FMX 6X4 (P.U.)	41.2	$ / hr
Capacidad nominal de la Tolva	15	m^3
Capacidad real de la tolva (85%)	12.8	m^3
Factor de Esponjamiento	35	%
Velocidad Promedio de Subida	6	km / hr
Velocidad Promedio de Bajada	8	km / hr
Tiempo de Carguío al Volquete	9	min
Tiempo de Descarga del Volquete	1	min
Tiempos muertos en operación	4	min
Tiempo Total	0.23	hr

Nota 1: Datos recogidos de campo, Velocidad de transporte y tiempos de operación.

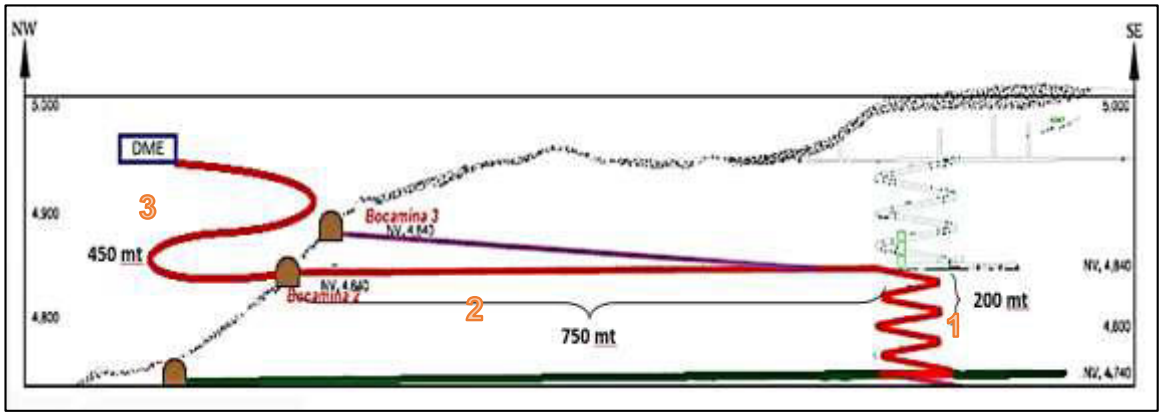
Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

De la misma forma es necesario identificar la distancia que recorrerá el Volquete para la extracción del material desquinchado.

En la *Figura 20* se aprecia el recorrido del volquete y la distancia que tiene en diferentes tramos de su trayecto tales como: Distancia 1 (recorrido en la rampa), Distancia 2, (recorrido en el Nv 4840) y

Distancia 3 que comprende desde la salida del volquete de interior Mina hasta la zona de acumulación de Desmonte (DME).

Figura 20. Sección Longitudinal del Recorrido del Volquete.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo.*

Una vez identificado y definido las variables en el ciclo de transporte de material (Distancia, Velocidad y Tiempo), se procede a calcular el costo de transporte para la cual se utilizó la siguiente ecuación para encontrar el Tiempo total del ciclo.

Ecuación 5. Tiempo Total del Ciclo Del Volquete.

$$Tiempo\ total\ del\ Ciclo\ Volquete\ (hr) = Ts + \mathrm{Tb} + Tc + Td + Tm$$

Siendo:

- Tiempo de traslado con carga de Subida (Ts)
- Tiempo de traslado sin carga de Bajada (Tb)
- Tiempo de carguío (Tc)
- Tiempo de descarga (Td)
- Tiempos muertos (Tm)

Despejando variables que según la formula física del movimiento uniforme rectilíneo (1ra Ley de Newton), el tiempo es igual a la distancia sobre la velocidad:

$$Tiempo\ Total\ del\ C.Volquete\ (hr) = \frac{DT}{VS} + \frac{DT}{VB} + Tc + Td + Tm$$

Siendo:

- Distancia total de recorrido (DT) = 450 + 750 + 200 = 1.4 Km
- Velocidad promedio de Subida (VS)
- Velocidad promedio de Bajada (VB)
- Tiempo de carguío (Tc)
- Tiempo de Descarga (Td)
- Tiempos muertos (Tm)

$$Tiempo\ Total\ de\ C.Volquete\ (hr) = \frac{1.4}{6} + \frac{1.4}{8} + 0.15 + 0.2 + 0.7 = 0.64$$

Finalmente determinando el Tiempo Total del ciclo de acarreo y reemplazando valores se puede calcular el Costo operativo del transporte con Volquetes mediante la ecuación:

Ecuación 6. Costo de operación de acarreo con Volquetes

$$Costo\ de\ operación\ (\$/m^3) = CV \times \frac{TT}{CT}$$

Siendo:

- Costo de Volquete FMX 6x4 P.U. (CV)
- Tiempo Total del ciclo de acarreo (TT)
- Capacidad real de la Tolva (CT)

Despejando valores se obtiene un costo operativo de 2.1 $/m^3 en el transporte de volquetes para el proyecto de ampliación, seguidamente se puede calcular el costo total del transporte de acarreo.

En la *Tabla 19* Se resume los resultados del costo total del transporte de material con volquetes FMX 6x4

Tabla 19. Resultados Obtenidos Aplicando Ecuaciones 5 y 6.

Tramo	Distancia (km)	Tiempo Ciclo (hr)	Vol esp 35% (m^3)	Costo ($/$m^3$)	Costo Total $
(1), (2) y (3)	1.4	0.64	7,290	2.1	15'116.9

Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

- **Calculo del costo de acarreo con Dumpers**

  Para del cálculo de costos de transporte de material con Dumper se consideró todos los datos que intervienen durante su operación: Capacidad de Tolva, Velocidad promedio de subida (con carga), Velocidad promedio de Bajada (sin carga), Tiempo durante el carguío y tiempo durante la descarga de material en las cámaras de acumulación.

  En la *Tabla 20* se detalla datos necesarios para el cálculo del costo de Dumper.

Tabla 20. Datos para el Cálculo del Costo de Volquetes

ITEM	CANT	UND
Costo de Dumper (P.U.)	72	$/hr
Capacidad nominal de Tolva	6	m^3
Capacidad real de la tolva (85%)	5.1	m^3
Factor de Esponjamiento	35	%
Velocidad Promedio de Subida	5	km/hr
Velocidad Promedio de Bajada	6	km/hr
Tiempo de Carguío al Dumper	5.0	min
Tiempo de Descarga del Dumper	1.0	min
Tiempo Total	0.10	hr

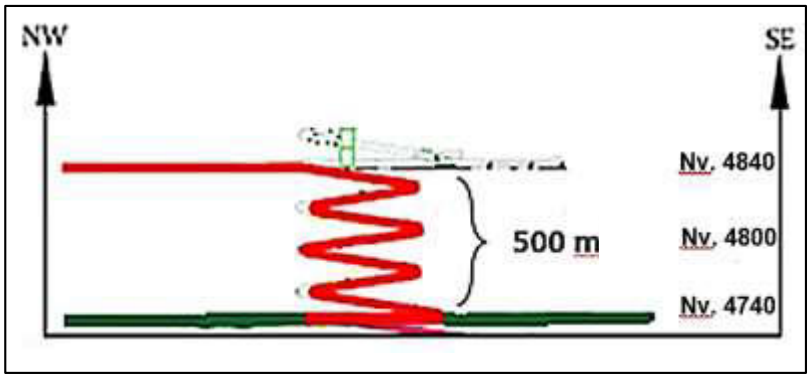
Nota 1: Datos recogidos de campo, Velocidad de transporte y tiempos de operación.

Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

Para el cálculo del costo de transporte del Dumper es necesario identificar la distancia que recorrerá el equipo para la evacuación del material desquinchado.

En la *Figura 21* se aprecia el recorrido del Dumper a través de la Rampa 100. Cabe resaltar que la longitud total de la Rp desde el Nv 4740 al Nv 4840 es de 769 m, por tal motivo se asumió un recorrido promedio del Dumper de 500 m hasta la cámara de acumulación más cercana.

Figura 21. Sección Longitudinal del Recorrido del Dumper.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo.*

Teniendo identificado las variables en el ciclo de transporte de material (Distancia, Velocidad y Tiempo), se procedió a calcular el costo de Transporte donde se utilizó la siguiente ecuación para encontrar el Tiempo total de recorrido del Dumper.

Ecuación 7. Tiempo Total del Ciclo Del Dumper.

$$Tiempo\ total\ del\ Ciclo\ del\ Dumper\ (hr) = Ts + \mathrm{Tb} + Tc + Td$$

Siendo:

- Tiempo de traslado con carga de Subida (Ts)
- Tiempo de traslado sin carga de Bajada (Tb)
- Tiempo de carguío (Tc)
- Tiempo de descarga (Td)

Despejando variables que según la formula física del movimiento uniforme rectilíneo (1ra Ley de Newton), el Tiempo es igual a la distancia sobre la velocidad, se obtiene:

$$Tiempo\ Total\ de\ Ciclo\ del\ Dumper\ (hr) = \frac{DT}{VS} + \frac{DT}{VB} + Tc + Td$$

Siendo:

- Distancia total de recorrido (DT) = 500 m = 0.5 km
- Velocidad promedio de Subida (VS)
- Velocidad promedio de Bajada (VB)
- Tiempos de carguío (Tc)
- Tiempo de Descarga (Td)

$$Tiempo\ Total\ de\ Ciclo\ del\ Dumper\ (hr) = \frac{0.5}{5} + \frac{0.5}{6} + 0.1 + 0.2$$
$$= 0.28$$

Finalmente determinando el Tiempo Total del ciclo de acarreo se procede a calcular el Costo operativo del Dumpers:

Ecuación 8. Costo de operación de acarreo con Dumpers.

$$Costo\ de\ operación\ (\$/m^3) = Cd \times \frac{Tt}{Ct}$$

Siendo:

- Costo de Dumper P.U. (Cd)
- Tiempo Total del ciclo de acarreo (Tt)
- Capacidad real de la Tolva (Ct)

Reemplazando valores se obtiene un costo operativo de 4.0 $/m^3 en el transporte de Dumpers para el proyecto de ampliación. En la *Tabla 21* se resume los resultados del costo total del transporte de material con Dumpers.

Tabla 21. Resultados Obtenidos Aplicando Ecuaciones 7 y 8.

Tramo	Distancia (km)	Tiempo Ciclo (hr)	Vol esp + 35% (m^3)	Costo ($/$m^3$)	Costo Total $
Rampa 100	0.5	0.28	7,290	4.0	29 160.0

Fuente: Área de Operaciones, Mina Tambomayo.

3.2.4. Evaluación Económica del Proyecto

Finalmente para concluir la propuesta de proyecto se hace la compilación de todos los costos calculados: Costo de Desquinche, Costo de Acarreo Volquete, Costo de Dumper y Costo de Sostenimiento para obtener el Costo Total de la inversión.

Tabla 22. Costo Total de Inversión

DESQUINCHE RADIO DE GIROS RP 100 (Nv 4740 - 4840)				
1. INVERSIÓN				
Descripción	**Cant**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Costo $**
Desquinche	5400	m^3	56.5	127,516.7
Acarreo Volquete	5400	m^3	2.1	11,197.7
Acarreo Dumper	5400	m^3	4.0	21,600.00
Sostenimiento	480	m^2		107,111.0
				267,425.49

Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

Con el apoyo de la contratista JRC encargada para ejecutar estos trabajos, se consideró algunas restricciones tales como: Disponibilidad de equipos, disponibilidad personal y materiales requeridos, por ello se estableció un plazo de 3 meses para el término del proyecto. En la *Tabla 23* se representa el tiempo de vida del proyecto y su recuperación para una inversión de 1 año.

Tabla 23. Tabla de Justificación de Proyecto

	Inversión			Beneficio	
Mes	**Costo Desquinche**	**Costo Acarreo**	**Costo Sostenimiento**	**Transp. con Volq FMX 8x4**	**Flujo de Caja**
Mes 1	*-31,394.4*	*-10,932.6*	*-33,777.8*		-76,104.8
Mes 2	*-31,394.4*	*-10,932.6*	*-33,777.8*		-76,104.8
Mes 3	*-31,394.4*	*-10,932.6*	*-33,777.8*		-76,104.8
Mes 4				*50,579.0*	50,579.0
Mes 5				*51,728.4*	51,728.4
Mes 6				*52,910.2*	52,910.2
Mes 7				*54,125.4*	54,125.4
Mes 8				*55,374.9*	55,374.9
Mes 9				*56,660.0*	56,660.0
Mes 10				*57,981.6*	57,981.6
Mes 11				*59,341.0*	59,341.0
Mes 12				*60,739.4*	60,739.4
					271,125.6

Nota 1: El ejercicio se proyectó simulando un tiempo de producción de un año, tener en consideración que la ganancia puede aumentar si el tiempo de vida de la Mina es mayor.

Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

Como evaluación final del proyecto se demuestra que económicamente se tiene una Taza interna de Retorno (TIR) de 15% y un Valor Actual Neto (VAN) de $ 86,701. En la *Tabla 26* se aprecia la evaluación Económica del proyecto.

Tabla 24. Evaluación económica del Proyecto.

EVALUACIÓN ECONOMICA CON VOLQUETES FMX 8x4		
Beneficio con transporte Volquete FMX 8x4	499,440.0	Dólares
Inversión desquinche a Sección 4.5 m x 4.5 m	228,314.4	Dólares
Margen de Ahorro	**271,125.6**	**Dólares**

EVALUACIÓN ECONOMICA CON VOLQUETES FMX 8x4		
Tiempo de vida proyecto	3.0	Meses
TEA	10%	
VAN	$ 86,701.0	
TIR	15%	

Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

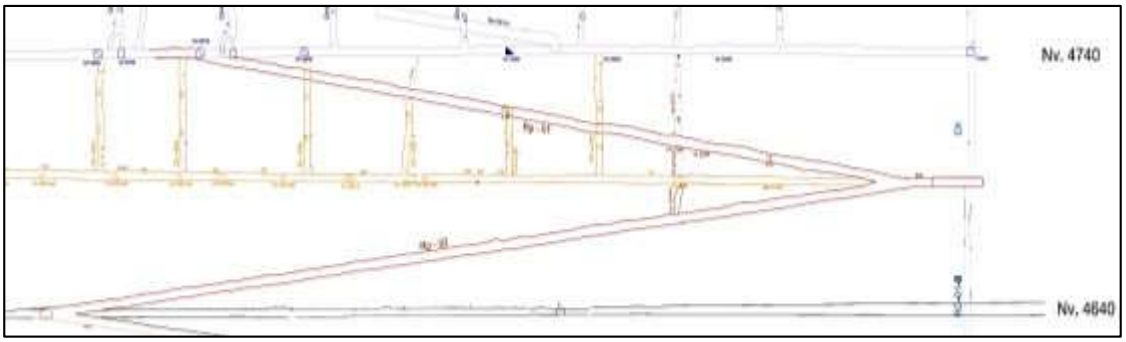
3.3. Propuesta N° 2: Ampliación de sección a 4.5m x 4.5m en la Rampa 970

La propuesta 02 consiste en la ampliación de la Rp 970 que tiene una sección típica de 3.5 m x 3.5 m que, para el ingreso de Volquetes Fmx 8x4 se necesita una sección de mínima de 4.5 m x 4.5 m por lo tanto es necesario la ampliación de la labor.

3.3.1. Evaluación e identificación de las zonas para ampliar.

Primeramente se evaluó las zonas que requieren ampliar la sección para el tránsito del volquete puesto que es necesario identificarlas y verificar sus dimensiones. En la *Figura 22* se puede apreciar las zonas que necesitan ampliar para el ingreso de los volquetes FMX 8x4.

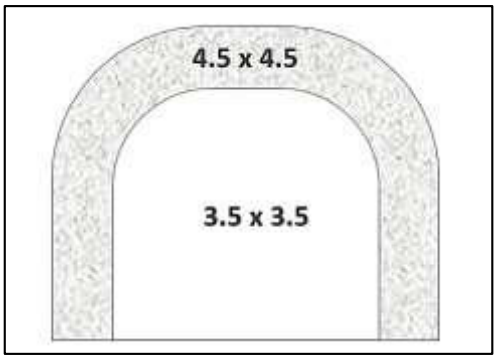
Figura 22. Sección longitudinal de la Rp 970.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo.*

Así mismo en la *Figura 23* se puede observar el diseño de la sección típica de la Rp 970, la cual tiene un ancho de 3.5 m y una altura de 3.5m.

Figura 23. Vista en Frontal Topográfica de la sección de la Rp 970.



Fuente: *Área de Planeamiento, Mina Tambomayo.*

3.3.2. Restricciones del proyecto.

La Rp 970 se desarrolla desde el Nv 4740 hasta el Nv 4440, este acceso cuenta con una sección típica de 3.5 m x 3.5 m la cual se viene usando como tránsito de equipos livianos: Dumper, Jumbos, Telehandler, Scaler, Scoop, Bolter y camionetas.

En el proceso de evaluación de las zonas de ampliación se evidenció que el 80% de los servicios de red de energía, red de aire, y red de Bombeo se encontraban en las labores que rodeaban la Rampa, por lo tanto esto fue una de las principales razones por lo que la propuesta 02 no continuo en su desarrollo, así mismo se menciona que el área de geomecánica y seguridad recomendó no continuar con la evaluación del proyecto.

CAPITULO IV

VIABILIDAD DEL PROYECTO

El presente trabajo tiene como propósito demostrar que existen métodos que pueden reducir los costos operativos de acarreo sin alterar el ritmo de producción en la mina, así mismo en un corto plazo de tiempo se puede evidenciar un ahorro significativo en los costos operativos, cabe mencionar que todo proyecto de mejora inicia con una etapa de evaluación, simulación, ejecución e inversión, tiempo de recuperación, y finalmente con la etapa de ganancia, por ello es de suma importancia establecer una línea base en todos los procesos operativos con la finalidad de poder identificar y evaluar mejoras, por tal motivo es importante determinar las metas y objetivos para lograrlo.

4.1. Objetivos

4.1.1. Objetivo general

- Reducir los costos operativos de acarreo de mineral y desmonte cambiando la flota de equipos de transporte en la Unidad Minera Tambomayo.

4.1.2. Objetivos específicos.

- Determinar el equipo de transporte adecuado para disminución de costos de acarreo en la Unidad Minera Tambomayo.

- Determinar la rentabilidad del proyecto de cambio de flota de los equipos de transporte de mineral y desmonte.

4.2. Resultados

- Los resultados del trabajo realizado fueron positivos debido a que se logró el ingreso de los volquetes Fmx 8x4 en un plazo menor al que se proyectaba, así mismo se logró reducir el costo operativo de transporte de material en 1.11 $/tn.
- La simulación de comparación de equipos de acarreo aportó una valiosa información para poder ejecutar este proyecto puesto que se tenía algunas dudas si la infraestructura de la mina era la adecuada para los equipos en propuestos.
- Como evaluación final del informe se demostró que el proyecto es económicamente rentable donde se obtuvo una Taza interna de Retorno (TIR) de 15% y un Valor Actual Neto (VAN) de $ 86,701. Por lo tanto el presente proyecto de mejora fue justificado, evaluado y ejecutado con las consideraciones simuladas en gabinete que se señalaron anteriormente, a la fecha la unidad minera Tambomayo tiene en cartera la evaluación de incrementar su producción de Mineral a 2000 Tn/día que representa una producción mensual de 60000 Tn.

CAPITULO V

RECOMENDACIONES

Para la evaluación de proyectos que involucran medianas y grandes inversiones, es necesario estudiar distintos escenarios posibles así sean negativos o positivos para la inversión, por lo general esto brinda al inversionista diferentes panoramas para la toma de decisiones, por tal motivo es de mucha importancia la recopilación de datos en campo para la identificación de aquellos puntos débiles en el cual uno debe de mejorar, tal es el caso para la reducción de costos de acarreo en la Unidad Minera Tambomayo.

Para el presente trabajo se recomienda realizar una reevaluación de los cálculos en gabinete ya que es importante continuar sincerando los rendimientos calculados en campo, esto ayudara a obtener un resultado más acertado.

Los resultados del proyecto son exclusivamente positivos por motivos que la unidad minera está dentro de los límites de profundidad de la mina, esto quiere decir que a mayor recorrido de los volquetes los costos operativos se elevaran, por consiguiente el presente proyecto solo es efectivo en minas de profundidad o distancias de acarreo relativas.

En caso de elevarse los costos operativos de acarreo mediante el traslado por volquetes, se recomienda el transporte de material mediante de un sistema de izaje (Piques), así mismo tener en cuenta que un sistema de izaje requiere una gran inversión por ello esto debe evaluarse con el tiempo de vida de la mina.

5.1. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

5.1.1. Cronograma de actividades

La programación de actividades se sub dividió en dos grupos.

- **Evaluación en Gabinete:** Comprendió el análisis de información, evaluación de costos, simulación de proyecto, evaluación geomecánica y Planificación de Desquinche.

- **Ejecución en Campo:** Corresponde los trabajos de Perforación, Voladura, Limpieza, Sostenimiento, retiro y colocación de Servicios (Aire, energía y Agua).

Finalmente se realizó el ingreso de los Volquetes Volvo Fmx 8x4 en los inicios de la primera semana del Cuarto Mes. Cabe resaltar que las fechas propuestas pueden variar por distintos factores (Seguridad, Macizo Rocoso, Disponibilidad de equipos, Disponibilidad de Personal u otros).

En la *Tabla 25* se detalla el cronograma de Actividades para el proyecto de mejora.

Tabla 25. Cronograma de Actividades de Proyecto de Mejora

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES														
N°	**Actividades de Ejecución del Proyecto**	**Mes 1**				**Mes 2**				**Mes 3**				**Mes 4**
		1° Sem	2° Sem	3° Sem	4° Sem	1° Sem	2° Sem	3° Sem	4° Sem	1° Sem	2° Sem	3° Sem	4° Sem	1° Sem
1	Evaluación de información	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	Evaluación de Costos	x				x				x				
3	Simulación de proyecto	x												
4	Evaluación Geomecánica	x												
5	Planificación de desquinche	x		x		x		x		x		x		
6	Perforación / Voladura		x		x		x		x		x		x	
7	Limpieza / Sostenimiento		x		x		x		x		x		x	
8	Instalación de Servicios			x		x		x		x		x		
9	Ingreso de Volquetes Fmx 8x4													x

Nota 1: Se asignó fechas tentativas para la ejecución del proyecto debido a que puede variar dependiendo a las diferentes restricciones que se mencionaron.

Fuente: *Elaboración propia.*

5.1.2. Presupuesto y Fuente de Financiamiento

Tabla 26. Presupuestos y Fuente de Financiamiento del Proyecto de Mejora

FUENTE DE FINANCIAMIENTO Y PRESUPUESTO								
ITEM	**EQUIPOS DE GABINETE**	**CANTIDAD**	**UND**	**PRECIO UNITARIO (S/.)**	**PRECIO UNITARIO ($)**	**COMENTARIOS**	**SIN COSTO ($)**	**COSTOS ASUMIDOS ($)**
1	Cámara Filmadora	1	und	320.0	98.8	Sin Costo para el Proyecto	98.8	
2	Cámara Fotográfica	1	und	250.0	77.2	Sin Costo para el Proyecto	77.2	
3	Laptop	1	und	2,100.0	648.1	Costo asumido por la Empresa		648.1
4	Conexión a Internet	1	und	210.0	64.8	Costo asumido por la Empresa		64.8
5	Impresora a Color Epson L110	1	und	120.0	37.0	Costo asumido por la Empresa		37.0
6	Distanciometro	1	und		320.0	Costo asumido por la Empresa		320.0
ITEM	**ACTIVIDADES EN CAMPO**	**CANTIDAD**	**UND**	**PRECIO UNITARIO (S/.)**	**PRECIO UNITARIO ($)**	**COMENTARIOS**	**SIN COSTO ($)**	**COSTOS ASUMIDOS ($)**
1	Desquinche	5400	m^3	56.5	17.4	Costo asumido por la Empresa		94,183.3
2	Acarreo Volquete	5400	$/$m^3$		2.1	Costo asumido por la Empresa		11,197.7
3	Acarreo Dumper	5400	$/$m^3$		4.0	Costo asumido por la Empresa		21,600.0
4	Sostenimiento	480	m			Costo asumido por la Empresa		101,333.3
	SUB TOTAL DE PRESUPUESTO						**189.8**	**229,384.4**
								229,574.19

Nota 1: El contenido de la Tabla de presupuesto fue extraído de los datos calculados que en el presente informe se hallaron, los materiales y equipos utilizados en gabinete fueron asumidos por la empresa Compañía de Minas Buenaventura.

Fuente: *Elaboración propia.*

COLABORADORES

Para el desarrollo y viabilidad del proyecto de mejora de Volquetes se tuvo la participación de distintas áreas que en la unidad Minera se tiene:

- Área de Planeamiento
- Área de Geología
- Área de Geomecánica
- Área de Seguridad
- Área de Mantenimiento Mina

Así mismo el proyecto de mejora no se hubiera logrado sin la participación colectiva de las empresas Contratistas.

- JRC Ingeniería y Construcción S.A.
- INCISUR E.I.R.L.
- Contratistas de Transportes

De igual manera se hace mención al grupo de profesionales que integran el área de Mina que con sus conocimientos y experiencias aportaron para la viabilidad del Proyecto de mejora.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Abubakary Salama (2014). Haulage System Optimization for Underground Mines A DiscreteEvent Simulation and Mixed Integer Programing Approach. *Doctoral's Thesis. Lulea University of Technology, Lulea, Suecia. 0*(0), 0-12.

Adebimpe, R. A., Akande, J. M, Arum C. Mine Equipment Selection for Ajabanoko Iron Ore Deposit, *Kogi State, Nigeria. Science Research. 0*(0), 25-30.

Akande. (2005). Selection of Mine Equipment and Machinery (Loading and Hauling) for Itakpe Iron Ore Mine. *International Research Journal in Engineering Science and Technology*, *0*(0), 57–67.

C. Buenaventura (2018). Plan de Minado 2018 Tambomayo. *Compañia de Minas Buenaventura - Tambomayo. 0(0). 15-30.*

Ebrahimi, E. .-. (2002). Economics of Scale in Surface Mining Industry. *University of British Columbia, Department of Mining Engineering.*, *0*(0), 1–22.

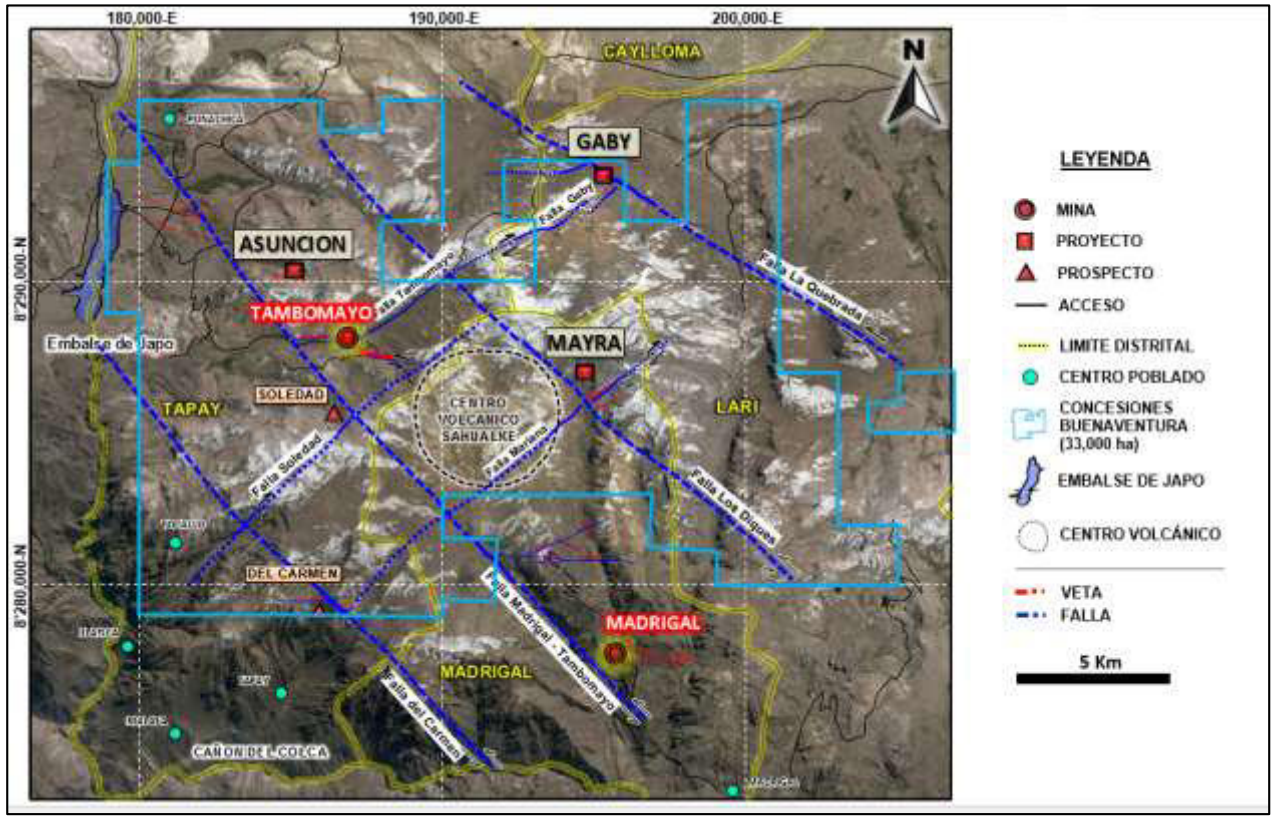
Lizotte, Y. (1988). Economic and Technical Relations Between Open Pit Designs and Equipment Selection. Mine Planning and Equipment Selection. *Mine Planning and Equipment Selection*, *0*(0), 3–4.

Pierre, M. (2018). Evaluation and optimization of an underground haulage system using discrete event simulation. *Aalto University*, *0*(0), 12–15.

ANEXOS

ANEXO A

Figura 24. Ubicación de la Mina Tambomayo.



Fuente: *Área de Geología, Mina Tambomayo.*

ANEXO B

Figura 25. Hoja de cálculo (Excel) Cálculo de Rendimientos e indicadores.

Análisis de ahorro en avances lineales *(Material estéril)*

Avance programado	*1200 mt*	***Vol Roto***	*19200*
Sección	*4.0 x 4.0*	***Sobrerotura (m³)***	*20160*
Sobre excavación	*5%*	***Vol Esp. (m³)***	*27216*
Esponjamiento	*35%*		

	Volq. FMX 6x4	Volq. FMX 8x4
P.U. ($/hr)	41.2	45.0
Cap. (m^3)	15	22
Cap. 85% (m^3)	12.8	18.7
Cap. (Tn)	21.2	31.0
Potencia (hp)	440	520
hr/Gdia	9	9
Tiempo por Viaje (hr)	1.3	1.4
Volq / Mes	2135	1455
Volq / Gdia	*36*	*24*
Viajes/ (Volq - Gdia)	7	7
Volquetes Necesarios	*5*	*4*
Costo ($/$m^3$)	4.2	3.3
Costo ($/Tn)	2.2	2.0
Costo Mes ($)	*114,338.8*	*90,380.4*

Análisis de ahorro en Extracción de Mineral *(Mineral)*

Producción mes	*45000 TNS*	***Factor de Humedad***	*8%*
	48600 TNH		
Producción día	*1620 TNH*		
Producción Gdia	*810 TNH*		

	Volq. FMX 6x4	Volq. FMX 8x4
P.U. ($/hr)	41.2	45.0
Cap. (m^3)	15	22
Cap. 85% (m^3)	12.8	18.7
Cap. (Tn)	21.2	31.0
Potencia (hp)	440	520
hr/Gdia	9	9
Tiempo por Viaje (hr)	1.2	1.3
Volq / Mes	2296	1566
Volq / Gdia	*38*	*26*
Viajes/ (Volq - Gdia)	8	7
Volquetes Necesarios	*5*	*4*
Costo ($/$m^3$)	3.9	3.1
Costo ($/Tn)	2.3	1.9
Costo Mes ($)	*113,536.5*	*90,179.8*

Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

ANEXO C

Figura 26. Hoja de Cálculo (Excel) Oportunidad de Ahorro y Reducción en los costos unitarios de transporte.

Volq FMX 6x4	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	TOTAL
Prod. Mes (Tn)	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	**583200**
Costo ($)	227875	232948	238162	243521	249031	254695	260518	266506	272664	278996	285509	292208	**3,102,634**

Material Esteril + MINERAL

Volq FMX 8x4	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	TOTAL
Prod. Mes (Tn)	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	48600	**583200**
Costo ($)	180560	184575	188701	192942	197302	201784	206393	211131	216004	221015	226168	231469	**2,458,044**
												Oportunidad de Ahorro ($)	**-644,589**
												Reducción costo unitario ($/Tn)	**-1.11**

Beneficio (U$S)	47315	48373	49461	50579	51728	52910	54125	55375	56660	57982	59341	60739

Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

ANEXO D

Figura 27. Hoja de cálculo (Excel) Costos de Acarreo.

CÁLCULO TRANSPORTE VOLQUETE

ITEM	CANT	UND
P.U.	41.2	$/hr
Capacidad tolva	15	m^3
Cap. 85%	12.8	m^3
Vel. Subida	6	km/hr
Vel Bajada	8	km/hr
T. Carguío	9	min
T. Descarga	1	min
T. muertos	4	min
T. Carga+Descarga	0.23	hr
Factor Esp.	35%	

CÁLCULO TRANSPORTE DUMPER

ITEM	CANT	UND
P.U.	72	$/hr
Capacidad tolva	6	m^3
Cap. 85%	5.1	m^3
Vel. Subida	5	km/hr
Vel Bajada	6	km/hr
T. Carguío	5.0	min
T. Descarga	1.0	min
T. Carga+Descarga	0.10	min
		hr

VOLQUETE

LABOR	Distancia (km)	Tiempo Ciclo (hr)	Vol esp 35% (m^3)	Volquetes Necesarios	Ciclos Volq	m^3/hr	Costo ($/$m^3$)	Costo $
4840 - DME	1.4	0.64	7,290.00	572	891	11361.0	2.1	15116.9

DUMPER

LABOR	Distancia (km)	Tiempo Ciclo (hr)	Vol esp 35% (m^3)	Volquetes Necesarios	Ciclos Volq	m^3/hr	Costo ($/$m^3$)	Costo $
4740 - 4840	0.5	0.28	7,290.00	1429	5045	25729.4	4.0	29160.0
								44,276.91

Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

ANEXO E

Figura 28. Hoja de Cálculo (Excel) Costo de sostenimiento de la Rp 100.

PROPUESTA 1: SOSTENIMIENTO DE RADIO DE GIROS RP 100

Programa de avance: 480 m

ITEM	Cant	P.U. (Soles)	Sub total
Pernos / m	5	90.00	S/.450.00
m^2 de malla / m	6	39.00	S/.234.00
		Costo sostenimiento por metro	S/.684.00
		Costo total del proyecto (S/.)	S/. 328,320
		Tipo de cambio	3.24
		Costo total del proyecto (US$)	**$ 101,333**

Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*

ANEXO F

Figura 29. Hoja de Cálculo (Excel) Evaluación Económica de Proyecto

DESQUINCHE RADIO DE GIROS RP 100 (Nv 4740 - 4840)

1. INVERSIÓN

Descripción	Cant	Unidad	Precio unitario	Costo $
Desquinche	5400	m^3	56.50	94,183.3
Acarreo Volquete	5400	m^3	2.07	11,197.71
Acarreo Dumper	5400	m^3	4.00	21,600.00
Sostenimiento	480	m^2		101,333
				228,314.38

2. JUSTIFICIACIÓN

Tiempo vida proyecto 3 meses

	Inversión			Beneficio	
# Mes	Costo Desquinche	Costo Acarreo	Costo Sost.	Transp. con Volq FMX 8x4	Flujo de Caja
Mes 1	-31,394.4	-10,932.6	-33,777.8		-76,104.8
Mes 2	-31,394.4	-10,932.6	-33,777.8		-76,104.8
Mes 3	-31,394.4	-10,932.6	-33,777.8		-76,104.8
Mes 4				50,579.0	50,579.0
Mes 5				51,728.4	51,728.4
Mes 6				52,910.2	52,910.2
Mes 7				54,125.4	54,125.4
Mes 8				55,374.9	55,374.9
Mes 9				56,660.0	56,660.0
Mes 10				57,981.6	57,981.6
Mes 11				59,341.0	59,341.0
Mes 12				60,739.4	60,739.4
					271,125.6

3. EVALUACIÓN ECONOMICA EXTRACCIÓN CON VOLQUETES FMX 8X4

Beneficio con transporte Volquete FMX 8X4	499,440.0	Dolares
Inversión desquinche a Sección 4.5 x 4.5	228,314.4	Dolares
Margen de Ahorro	**271,125.6**	**Dolares**
Tiempo de vida proyecto	3.0	Meses

Tasa anual	10%
VAN	$ 86,701
TIR	15%

Fuente: *Área de Operaciones, Mina Tambomayo.*