

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“FACTIBILIDAD TÉCNICA - ECONÓMICA DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN LONGWALL MINING PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN ANTRACITA EN LA MINA PIÑIPATA - 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Wilson Ernesto Rojas Vigo

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca - Perú

2019



DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada con todo mi amor y cariño a mi madre, abuela y hermana, que son las personas más importantes en mi vida y a quienes agradezco, su sacrificio, motivación y apoyo incondicional.

De igual manera a mis demás familiares y más sinceros amigos, que son lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme guiado y brindado fortaleza a lo largo de mi carrera profesional. Gracias a mis padres por apoyarme y luchar junto conmigo para lograr todos mis objetivos.

Agradezco a mis maestros y en especial a mi asesor el Ing. Elmer Ovidio Luque Luque, por su gran apoyo y tiempo brindado para la realización y culminación de esta tesis.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Hipótesis	15
1.4.1. Hipótesis general	15
1.4.2. Hipótesis específicas	15
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	16
2.1. Tipo de investigación.....	16
2.2. Población y muestra.....	16
2.2.1. Población.....	16
2.2.2. Muestra.....	16
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	17
2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
2.3.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos.....	18
2.4. Procedimiento.....	18
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	20
3.1. Descripción de área del proyecto.....	20
3.1.1. Ubicación y accesibilidad.....	20
3.1.2. Concesión minera.....	22
3.1.3. Fisiografía.....	22
3.1.4. Geología local.....	23
3.1.5. Geología regional.....	24
3.1.5.1. Grupo Goyllarisquizga.....	24
3.1.5.2. Formación Chimú.....	25

3.1.6. Mineralización.....	25
3.2. Determinación del nivel de ejecución de la cortada.....	26
3.3. Costo de operación para la ejecución de la cortada.....	29
3.4. Diseño del método de explotación Longwall Mining en la Mina Piñipata.....	31
3.4.1. Fase inicial.....	31
3.4.2. Fase de preparación.....	33
3.4.3. Equipos a utilizar.....	33
3.4.4. Fase de explotación.....	35
3.5. Determinación de reservas de carbón en la Mina Piñipata.....	36
3.6. Estimación de costos de desarrollo.....	37
3.7. Costos de la aplicación del método Longwall Mining en la Mina Piñipata.....	43
3.8. Evaluación económica de la aplicación del método de explotación Longwall Mining en la Mina Piñipata.....	45
3.8.1. Determinación de la vida útil (V.U.) de la mina Piñipata.....	45
3.8.2. Precio por tonelada métrica (TM) de carbón.....	45
3.8.3. Determinación de la tasa de descuento (k).....	45
3.8.4. Determinación del valor actual neto (VAN).....	46
3.8.5. Estimación de la tasa interna de retorno (TIR).....	47
3.8.6. Determinación del periodo de recuperación del capital (Payback).....	49
3.8.7. Determinación de la relación beneficio - costo (R B/C).....	50
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	52
REFERENCIAS	54
ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Métodos, instrumentos y materiales de recolección de datos en campo.....	17
Tabla 2 Rutas y accesos a la Mina Piñipata	20
Tabla 3 Coordenadas UTM de la concesión en el sistema WGS84.....	22
Tabla 4 Ángulo de inclinación y distancia inclinada de la labor principal.....	26
Tabla 5 Datos para interceptar el manto de carbón en la labor principal.....	27
Tabla 6 Distancias horizontales de cortadas en función de la altura.....	27
Tabla 7 Costos de ejecución de la cortada convencional de sección 7'x 8'.....	29
Tabla 8 Longitud y costo de ejecución de cortada del nivel 2053.....	30
Tabla 9 Potencia promedio del manto de carbón	36
Tabla 10 Costos de operación para la construcción de niveles de extracción.....	37
Tabla 11 Costos de operación para la construcción de chimeneas y subniveles.....	39
Tabla 12 Tonelajes de carbón a mover por tipo de desarrollo	41
Tabla 13 Costo total para construcción de desarrollos	42
Tabla 14 Costos de la aplicación del método de explotación Longwall Mining.....	43
Tabla 15 Flujos de caja del proyecto	46
Tabla 16 Tasa de descuento vs valor actual neto	48
Tabla 17 Flujos netos actualizados y acumulados del proyecto	50
Tabla 18 Flujos netos actuales del proyecto	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Condiciones actuales de explotación en la Mina Piñipata.....	11
Figura 2 Mapa de ubicación del proyecto	21
Figura 3 Mapa fisiográfico del área de estudio	23
Figura 4 Paso del Río Llaucano por el área del proyecto.....	28
Figura 5 Paneles de extracción del método Longwall Mining	32
Figura 6 Área de los paneles.....	32
Figura 7 Perforadora Jack Leg.....	33
Figura 8 Pick Hammer Neumático.....	34
Figura 9 Carro Minero U – 35.....	34
Figura 10 Wood pack.....	35
Figura 11 Flujo de caja neto por año.....	47

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Determinación de la distancia horizontal (longitud de la cortada).....	26
Ecuación 2 Determinación de la altura para la construcción de la cortada.....	26
Ecuación 3 Determinación de la extracción anual de carbón.....	45
Ecuación 4 Determinación de la vida útil de la mina Piñipata	45
Ecuación 5 Estimación del valor actual neto.....	47

RESUMEN

La presente investigación se basa en determinar la factibilidad técnica - económica de la aplicación del método de explotación Longwall Mining para incrementar la producción de carbón antracita en la mina Piñipata, ubicada entre las provincias de Hualgayoc y Chota, región Cajamarca.

El levantamiento topográfico de la labor principal de la mina, permitió determinar las principales características del manto de carbón, así como la toma de decisiones para una adecuada construcción de la cortada en el nivel 2053, cuyo objetivo será interceptar dicha mineralización y tendrá un costo de construcción total de US\$63,666.32.

Posteriormente se realizó el diseño del método de explotación, teniendo como objetivo de producción 60 TM/día, por esto se trabajarán cuatro paneles de extracción, lo que a su vez implica la construcción de desarrollos, tales como dos niveles de extracción, tres chimeneas de ventilación y 4 subniveles; cuya inversión estimada es de US\$197,858.76, mientras que el costo de operación del método Longwall Mining es de 42.40 US\$/TM.

Finalmente se realizó la evaluación económica logrando obtener resultados óptimos como un VAN de US\$290,441.49, una TIR de 78.82%, el Payback de 13.65 meses y la Relación Beneficio/Costo de 2.11, los cuales indican que el proyecto es netamente viable.

Palabras clave: Manto de carbón, método de explotación, Longwall Mining, evaluación técnica – económica.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Después de que un depósito mineral ha sido descubierto, explorado, delimitado y cubicado, el siguiente paso será la selección del método de explotación, que es la estrategia técnica que permite la excavación y extracción de un cuerpo mineralizado del modo técnico y económico más eficiente.

Desde el punto de vista económico, el mejor método de explotación deberá ser aquel que proporcione la mayor producción de mineral al menor costo posible. Adicionalmente, el método seleccionado deberá satisfacer condiciones de máxima seguridad y permitir un ritmo óptimo de extracción bajo las condiciones geológicas particulares del depósito.

La pequeña minería en nuestro país desarrolla sus actividades utilizando métodos empíricos y herramientas básicas para la extracción de los minerales, en esta escala de minería continua la falta de orden y tecnología en sus operaciones mineras, en muchos casos no cuentan con un método adecuado de explotación del mineral y carecen de un planeamiento de minado, sistemas de control de costos, implementación de sistemas de seguridad, etc. generando una pésima productividad y agotamiento prematuro de recursos mineros (Cueva & Rojas, 2018).

Entre los distritos de Bambamarca y Paccha, provincias de Hualgayoc y Chota, región Cajamarca, se encuentra ubicada la Mina Piñipata, dedicada a la extracción de minerales no metálicos como el carbón antracítico; donde se desconoce los parámetros técnicos y características esenciales del manto de carbón, además del uso métodos de explotación subterránea y sus principales criterios de aplicación.

Carecer de asesoramiento técnico, conlleva a una explotación desordenada, una inadecuada construcción de las labores mineras, las cuales se caracterizan por ser muy estrechas y presentar gran pendiente negativa, lo que dificulta el ingreso y salida de los trabajadores y equipos, y por ende la extracción del carbón antracita (ver Figura 1); en resumen dichas labores no satisfacen los niveles máximos de seguridad, no generan un ritmo óptimo de producción ni permiten el máximo aprovechamiento de los recursos minerales.



Figura 1. Condiciones actuales de explotación en la Mina Piñipata.

Fuente: Elaborado por el autor.

Ante ésta problemática la presente investigación determinará la factibilidad técnica - económica de la aplicación del método de explotación Longwall Mining para incrementar la producción de carbón antracita en la Mina Piñipata, ya que dicho método se acomoda perfectamente a las características y condiciones del manto de carbón presente en la mina, de esta manera se pretende optimizar la productividad de

las operaciones, generar un ambiente de trabajo que cumpla con los índices más altos de seguridad, aumentar el aprovechamiento de los recursos, incrementar las reservas minerales y determinar la rentabilidad económica del proyecto minero.

El método de minado “Longwall” es aplicado generalmente en los yacimientos de carbón, donde se corta en rebanadas de 60 m a 150 m al mineral.

Tamaño del Yacimiento. Debe ser lo suficientemente grande para que justifique la inversión de capital y en el equipamiento, así como en el desarrollo.

Potencia de Veta. La potencia del mineral el cual será exitosamente minado por el método Longwall varía en un rango de 0.60 m a más de 6.00 m y estas deben ser de forma tabular.

Buzamiento. Las vetas deben tener un buzamiento de 0° a 45, para permitir que el mineral fluya con facilidad.

Tipo de Roca. Características físico-mecánicas del mineral y roca de caja relativamente buena (roca competente). (Ramírez, 2010)

El tajeo por Longwall es un método de alta producción y a un bajo costo, que mejora los rendimientos, las eficiencias, tal como se desarrolla y explica en el presente capítulo al compararlo con el actual método de explotación utilizado en Marsa del Corte y Relleno Ascendente; ya que la llave para minimizar los costos de explotación es optimizar la utilización de los equipos de limpieza (winches) y esto hace que se minimice el esfuerzo de los trabajadores y utilizarlo en una mayor selectividad del mineral, antes de realizar el análisis económico en la explotación del bloque 658, determinaremos la longitud de corte de explotación óptima, dilución, así como la comparación de rendimientos entre los dos métodos. (Ramírez, 2010)

(Aliaga, 2009) En su tesis “Aplicación del método Longwall en la mina de Carbón Chimú para incremento de la producción” concluye que por la bondad de la formación del yacimiento, que es un manto uniforme con una potencia de 4.0 m. de carbón es fácil la variación del método de explotación de short wall por Longwall.

El método de explotación de Longwall, ha sido diseñado para incrementar sucesivamente la producción, esto gracias a la toma de datos, como presiones de caja techo, presiones del piso, resistencia de los pilares de carbón y de la caja techo, durante casi cuatro años de operaciones mineras, además que con este método el costo de sostenimiento es menor al del short wall, por el motivo que disminuye el consumo de madera en la explotación.

(Ramírez, 2010) en su tesis “Aplicación del método de explotación Longwall en vetas auríferas angostas en la zona de Patrick – Marsa”, concluye que el tajeo por Longwall es un método de alta producción y a un bajo costo, que mejora los rendimientos, las eficiencias; se logra un mayor volumen de producción mensual, mejor rentabilidad ya que la explotación se da en un menor tiempo; además resalta que usando el método Longwall obtenemos US\$ 83 260.71 más de utilidad que si usáramos el método de Corte y Relleno.

(De La Cruz, 2014) en su tesis “Optimización económica aplicando el método de explotación Longwall Mining frente al método Corte y Relleno Ascendente en Cía. Minera Poderosa S.A. Unidad Santa María”, concluye que el análisis económico de los costos de explotación determina que es más económico explotar por el método Longwall Mining, en comparación del método Corte y Relleno Ascendente Convencional, significando un ahorro de S/47.16/m³; además afirma que al aplicar el

método de Longwall Mining se incrementó la valorización mensual en tajos de la veta San Vicente, el cual en promedio significa un aumento de S/. 15 266.76 por tajo explotado.

(Quispe, 2014) en sus tesis “Análisis de producción y costos del método Long Wall Mining sobre el método corte y relleno ascendente para su aplicación en U.E.A. minera aurífera retamas S.A.”, concluye que aplicando el método Long Wall Mining en la explotación de la veta Esperanza, el costo de operación (minado) disminuye en un 18 %, en relación a la explotación aplicando el método Corte y relleno ascendente. Debido a que en el método Long Wall Mining se ha implementado el uso de equipos; tales como el winche eléctrico para la limpieza, sierra neumática y gatas mecánicas para el sostenimiento con la finalidad de incrementar la velocidad de minado, logrando realizar dos disparos por guardia.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la factibilidad técnica - económica de la aplicación del método de explotación Longwall Mining para incrementar la producción de carbón antracita en la Mina Piñipata?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la factibilidad técnica - económica de la aplicación del método de explotación Longwall Mining para incrementar la producción de carbón antracita en la Mina Piñipata.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los costos de operación de la cortada de la mina Piñipata.

- Realizar el diseño del método de explotación Longwall Mining para la mina Piñipata.
- Determinar los costos totales para la construcción de desarrollos de la mina Piñipata.
- Determinar los costos de extracción del método Longwall Mining en la mina Piñipata.
- Analizar la rentabilidad de la aplicación del método Longwall Mining en la mina Piñipata.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La factibilidad técnica y económica de la aplicación del método de explotación Longwall Mining permitirá incrementar la producción de carbón antracita en la Mina Piñipata.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Es factible determinar los costos de operación de la cortada de la mina Piñipata.
- Es posible realizar el diseño del método de explotación Longwall Mining para la mina Piñipata.
- Es posible determinar los costos totales para la construcción de desarrollos en la mina Piñipata.
- Es viable determinar los costos de operación del método Longwall Mining en la mina Piñipata.
- Es factible analizar la rentabilidad de la aplicación del método Longwall Mining en la mina Piñipata.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según (Vargas, 2009), la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación.

Para (Escamilla, 2010), una investigación no experimental, es aquel que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se basa fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para después analizarlos; mientras que en una investigación descriptiva, se seleccionan una serie de cuestiones, conceptos o variables y se mide cada una de ellas independientemente de las otras, con el fin, precisamente, de describirlas (Cazau, 2006).

En consideración a lo expuesto anteriormente, el presente trabajo es una investigación aplicada, no experimental y descriptiva, ya que a partir de datos reales conocidos y adquiridos durante la investigación, se pretende mejorar las condiciones técnicas y económicas de la mina Piñipata aplicando el método de explotación Longwall Mining, permitiendo así el incremento de producción de carbón antracita; además las variables fueron medidas y descritas independientemente.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Labores mineras de la Concesión Mina Cajamarca de Paccha.

2.2.2. Muestra

Labor minera del Nivel 2128 de la Concesión Mina Cajamarca de Paccha.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó a través de las siguientes técnicas:

- Análisis documental (libros, artículos, páginas web, etc.).
- Observación de imágenes satelitales a través del programa informático Google Earth.
- Obtención de datos geológicos y litológicos, e información de concesiones mineras a través del Sistema de Información Geológico y Catastral Minero (GEOCATMIN).
- Observación en campo y registros fotográficos de la zona de investigación.
- Levantamiento topográfico; utilizando brújula, plomada, flexómetro, GPS y plantillas impresas para la toma de datos.

Los instrumentos de recolección de datos en campo se detallan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1
Métodos, instrumentos y materiales de recolección de datos en campo

Métodos	Instrumentos	Materiales
	Guías de observación	Libreta de apuntes.
Observación de campo	Fichas de registro de datos	Formato de levantamiento topográfico.

Fuente: Elaborado por el autor.

El formato de levantamiento topográfico se puede apreciar en el anexo n.º 1.

2.3.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos

El análisis de los datos obtenidos se realizó a través de hojas de cálculo de excel, mientras que la elaboración de planos fue mediante el uso de software como: AutoCAD, ArcGIS y ArchiCAD.

2.4. Procedimiento

- En la primera etapa, se analizó bibliografía concerniente a estudios técnicos y económicos de la aplicación del método de explotación Longwall Mining; además se revisó imágenes satelitales e información catastral para obtención de permisos y determinación de las rutas de acceso a la zona de investigación.
- En una segunda etapa se hizo una visita de campo, a fin de realizar un levantamiento topográfico de la labor minera principal presente en la Mina Piñipata; además de recopilación de información y registros fotográficos para la elaboración de planos de dicha zona.
- Los datos obtenidos en campo mediante el levantamiento topográfico, se procesaron a través de hojas de cálculo de excel, donde se determinó la longitud e inclinación de la labor minera; mientras que los planos en planta y de perfil de dicho levantamiento se realizaron usando el software AutoCAD.

Las fotografías y otros datos recopilados sirvieron para la realización de planos geológicos, topográficos, etc. utilizando el software ArcGIS.

- Para la realización de planos y el modelamiento 3D del diseño del método de explotación Longwall Mining en la mina Piñipata, se utilizó el software ArchiCAD 22 – BIM INSIDE & OUT; mientras que para el renderizado se usó el software LUMION 9.

- La edición del video explicativo del diseño del método de explotación, se realizó mediante el uso del software Camtasia Studio 7.
- La estimación y evaluación de costos para la construcción de la cortada, costos de operación de la aplicación del método de explotación Longwall Mining, costos de desarrollos y el análisis de rentabilidad económica de ésta, se realizaron a través de hojas de cálculo en excel, utilizando tablas dinámicas y gráficas estadísticas para su mejor interpretación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Descripción de área del proyecto

3.1.1 Ubicación y accesibilidad

La Mina Piñipata se encuentra ubicada en los distritos de Bambamarca y Paccha, provincias de Hualgayoc y Chota, región Cajamarca (ver anexo n.º 2); con una altitud aproximada que va desde los 2000 m.s.n.m a los 2300 m.s.n.m., se localiza dentro de la concesión minera “Mina Cajamarca de Paccha”, como se muestra en la Figura 2. La Mina se encuentra a 957.1 Km de la ciudad de Lima, a 136 km de la ciudad de Cajamarca y a 23 Km del distrito de Bambamarca tomando la carretera en dirección al distrito de Paccha (ver anexo n.º 3); para poder acceder a ella se puede tomar las siguientes rutas, que se detallan a continuación en la tabla 2.

Tabla 2
Rutas y accesos a la Mina Piñipata

Rutas	Localidades	Distancia (Km)	Tipo de vía
	Cajamarca – Hualgayoc	88.4	Asfaltada
1	Hualgayoc – Bambamarca	24.6	Asfaltada
	Bambamarca – Mina Piñipata	23	Trocha carrozable
	Lima – Chilete	773	Asfaltada
	Chilete – San Pablo	28.5	Asfaltada
2	San Pablo – Hualgayoc	108	Asfaltada
	Hualgayoc – Bambamarca	24.6	Asfaltada
	Bambamarca – Mina Piñipata	23	Trocha carrozable

Fuente: Elaborado por el autor.

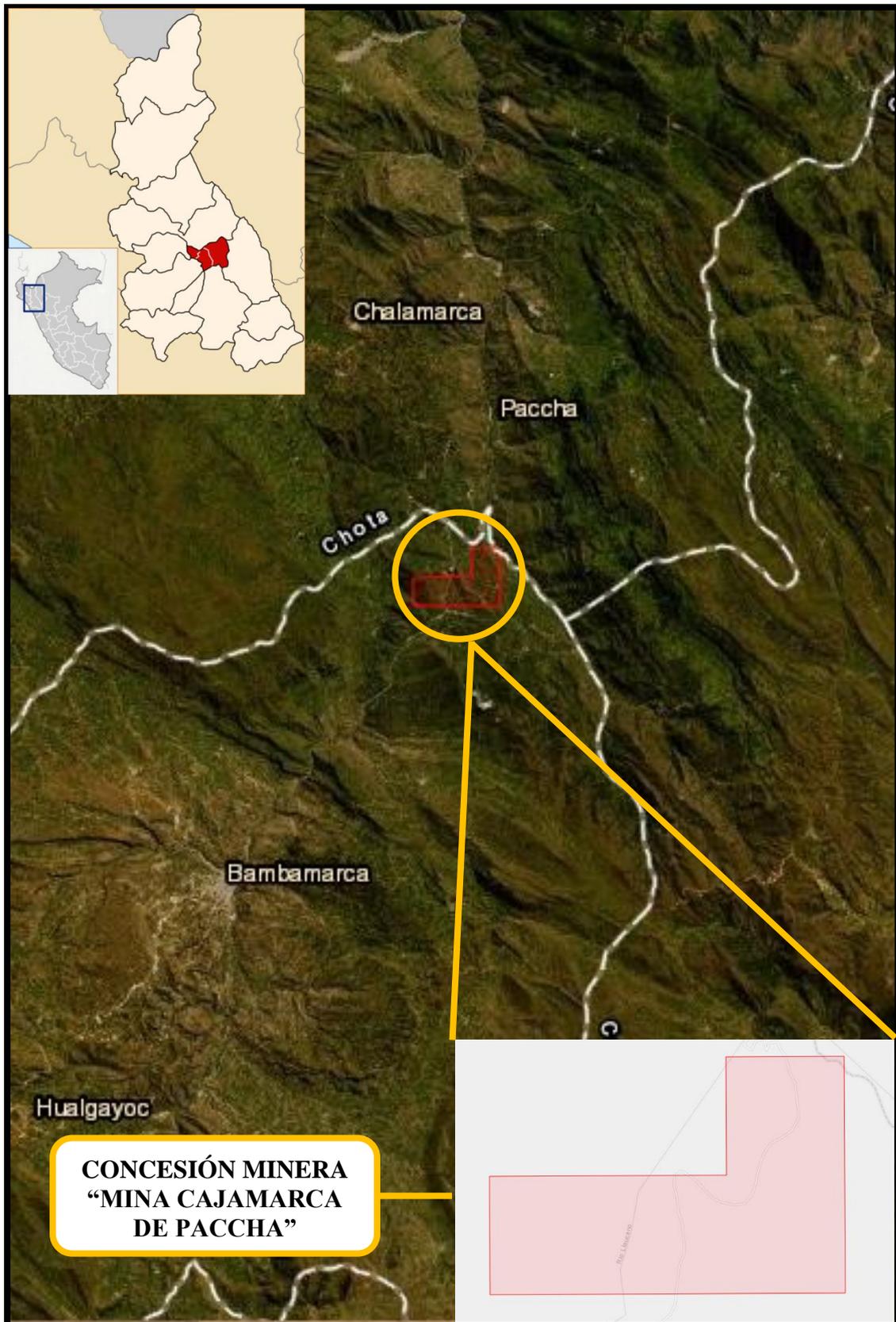


Figura 2. Mapa de ubicación del proyecto.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.1.2 Concesión minera

Mina Cajamarca de Paccha es la concesión minera que alberga a la Mina Piñipata (ver anexo n.º 4), cuenta con una extensión de 4 cuadrículas de 100 hectáreas cada una, pertenece a la zona 17, cuadrángulo geológico de Celendín – hoja 14-g. Su código es el 010078811 y el titular es la Calera Bendición de Dios E.I.R.L. Las coordenadas UTM en el sistema WGS84 se observan en la tabla 3.

Tabla 3
Coordenadas UTM de la concesión en el sistema WGS84

Vértice	Norte	Este
1	9 272 637.35	783 743.58
2	9 270 637.36	783 743.58
3	9 270 637.32	780 743.63
4	9 271 637.32	782 743.63
5	9 271 637.34	782 743.60
6	9 272 637.34	782 743.60

Fuente: Ingemmet

3.1.3 Fisiografía

Las características topográficas del área de estudio, corresponden a superficies fuertemente empinadas (ver Figura 3), que presentan pendiente accidentada con altitudes que van desde los 2 000 m.s.n.m. a 2 300 m.s.n.m. (ver anexo n.º 5).

El área donde se desarrolla el proyecto es una ladera de fuerte pendiente que está hacia los costados de las labores antiguas, es decir son mantos paralelos a los ya extraídos. Las características fisiográficas del área de estudio presentan un orden que van desde colinas bajas, colinas moderadas, montaña alta, hasta un acantilado en la parte alta. (Cueva & Rojas, 2018)

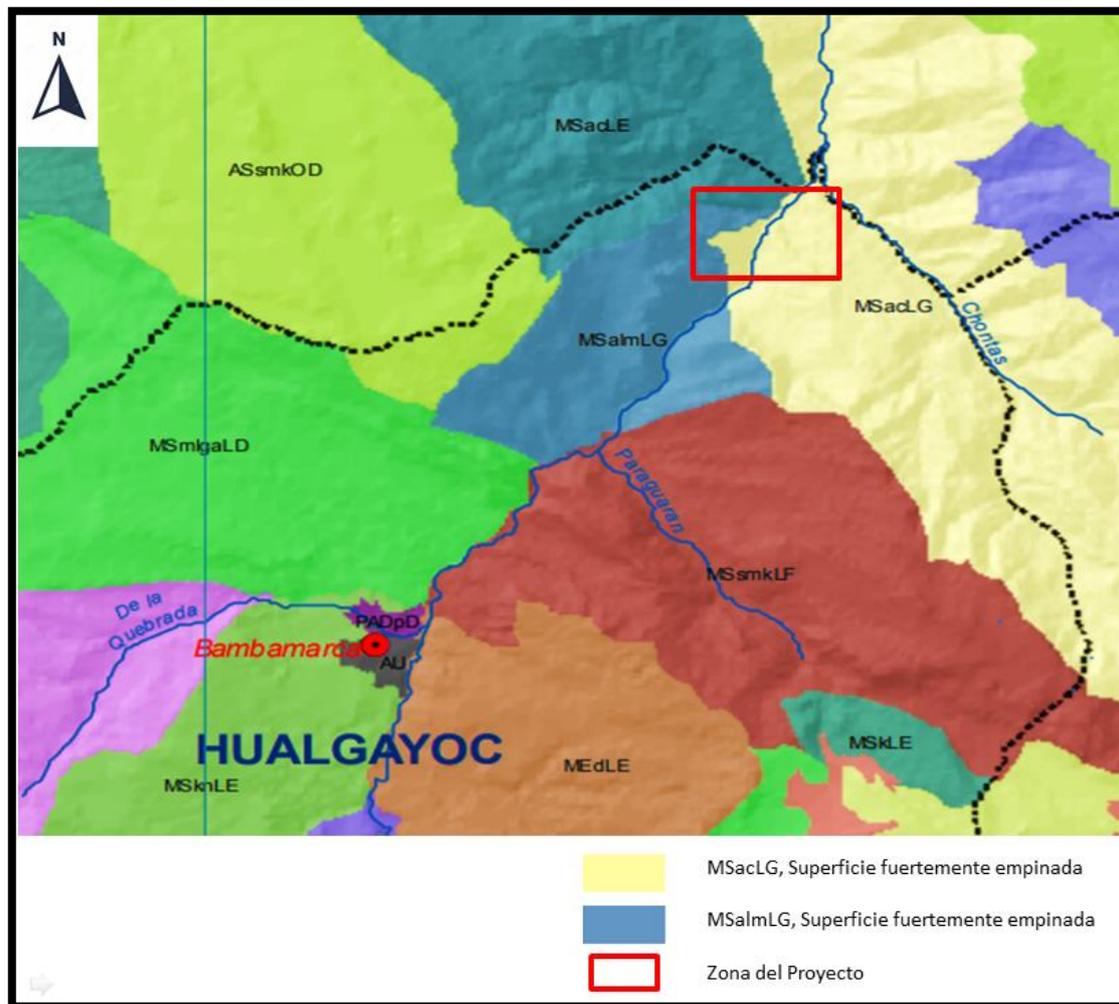


Figura 3. Mapa fisiográfico del área de estudio.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.1.4 Geología local

En la zona de investigación, apreciamos el afloramiento de la Formación Chimú, compuesta por areniscas de grano fino a medio, en contacto con depósitos aluviales y deluviales en varios sectores, los espesores de los mantos de carbón varían según la estratigrafía y topografía de la zona, pues van desde 0.5 m a 1 m. La intercalación de la secuencia sedimentaria de dicha formación está dada por areniscas, lutitas y mantos de carbón. Cerca

al área del proyecto al este de la concesión se encuentra el eje del anticlinal (Cueva & Rojas, 2018)

3.1.5 Geología regional

La Mina Piñipata está ubicada en una zona caracterizada por la presencia del grupo Goyllarisquizga, como se muestra en la Figura 2, el cual está formado por estratos de areniscas cuarzosas bien clasificadas de grano medio a grueso y algunas capas son conglomerados.

En los alrededores también tenemos la presencia de las formaciones Chimú, Santa, Cajamarca, Farrat e Inca (ver anexo n.º 6).

3.1.5.1 Grupo Goyllarisquizga

El grupo Goyllarisquizga es una secuencia de 650 m. de grosor, constituida por estratos macizos de 20 a 80 cm. De grosor de areniscas cuarzosas bien clasificadas de grano medio a grueso, algunas capas son conglomerados con guijarros pequeños de cuarzo. Presentan una coloración gris clara a blanca ligeramente amarillenta que por meteorización toman colores amarillentos, rojizos debidos al material ferruginoso que contiene. (Cruzado, 2009)

En el área de estudio, el grupo Goyllarisquizga se observa a algunos cientos de metros al este, donde comienzan las calizas del grupo Pucará e infrayace, concordante, pudiendo ser discordancia paralela en otros lugares.

Litológicamente consiste en cuarcitas blancas masivas y areniscas generalmente de grano medio y color blanquecino, en la parte inferior,

con interrelaciones delgado de lutitas marrones y grises en la parte superior.

Su grosor oscila entre los 200 y 500 m, con tendencia a adelgazarse hacia el oeste. (Cueva & Rojas, 2018)

3.1.5.2 Formación Chimú

La formación Chimú consiste en una alternancia de areniscas cuarzosas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso. Tiene un grosor aproximado de 600 m. (Cruzado, 2009)

Constituye estructuras bien definidas, como estratificación cruzada, habiendo funcionado como roca competente que dio lugar a perfectos anticlinales y sinclinales. (Cueva & Rojas, 2018)

3.1.6 Mineralización

El área de investigación está conformada por un manto de carbón emplazado entre areniscas de grano medio a grueso. Según la genética del yacimiento se clasifica en un depósito estratiforme, ya que su distribución es paralela a la distribución de la roca encajonante. La mineralización está constituida por acumulación de carbón a lo largo de todo el manto, presentándose consolidaciones muy sólidas y consolidaciones muy finas de grano muy delgado. (Cueva & Rojas, 2018)

3.2 Determinación del nivel de ejecución de la cortada

La construcción de la cortada tendrá como objetivo interceptar el manto de carbón e incrementar las reservas minerales, para esto se realizó un levantamiento topográfico de la labor principal (ver anexo n.º 8), que permitió determinar el ángulo de inclinación promedio del manto y el avance actual de la labor (distancia inclinada) tal y como se observa en la tabla 4.

Tabla 4
Ángulo de inclinación y distancia inclinada de la labor principal

Ángulo de Inclinación Promedio	Distancia Inclinada (di)
16°	66.80 m

Fuente: Elaborado por el autor.

Considerando dichos datos y utilizando razones trigonométricas, se determinó la distancia horizontal (dh) o la longitud de la cortada (ver ecuación 1) y la altura mínima (ver ecuación 2) que se necesita para interceptar el manto de carbón, ver tabla 5.

Ecuación 1

Determinación de la distancia horizontal (longitud de la cortada)

$$\text{Distancia horizontal (dh)} = \frac{\text{Altura}}{\tan(\text{Ángulo de inclinación promedio})}$$

Ecuación 2

Determinación de la altura para la construcción de la cortada

$$\text{Altura} = \text{sen}(\text{Ángulo de inclinación promedio}) \times \text{Distancia inclinada}$$

Tabla 5

Datos para interceptar el manto de carbón en la labor principal

Ángulo de Inclinación Promedio	di (m)	Altura mínima (m)	Longitud de la cortada (m)
16°	66.80	18.41	64.21

Fuente: Elaborado por el autor.

Conociendo la altura mínima, a continuación se detalla la distancia inclinada y la longitud de la cortada para otras posibles alturas mayores a 18.41 metros (ver tabla 6).

Tabla 6
Distancias horizontales de cortadas en función de la altura

Ángulo de Inclinación Promedio	h (m)	di (m)	dh (m)
16°	18,41	66.80	64.21
16°	20	72.56	69.75
16°	25	90.70	87.19
16°	30	108.84	104.62
16°	35	126.98	122.06
16°	40	145.12	139.50
16°	45	163.26	156.93
16°	50	181.40	174.37
16°	55	199.54	191.81
16°	60	217.68	209.25
16°	65	235.82	226.68
16°	70	253.96	244.12
16°	75	272.10	261.56
16°	80	290.24	278.99
16°	85	308.38	296.43
16°	90	326.52	313.87
16°	95	344.66	331.30

16°	100	362.80	348.74
-----	-----	--------	--------

Fuente: Elaborado por el autor.

Si consideramos una altura de 80 metros a más, es totalmente complicada la construcción de la cortada, ya que aproximadamente a ese nivel se encuentra el paso del río Llaucano (ver Figura 4), cuya cercanía involucra un gran volumen de infiltración de agua en la labor minera, por lo tanto, se tendría que realizar el bombeo de la misma y por ende habría un aumento significativo en los costos de operación.

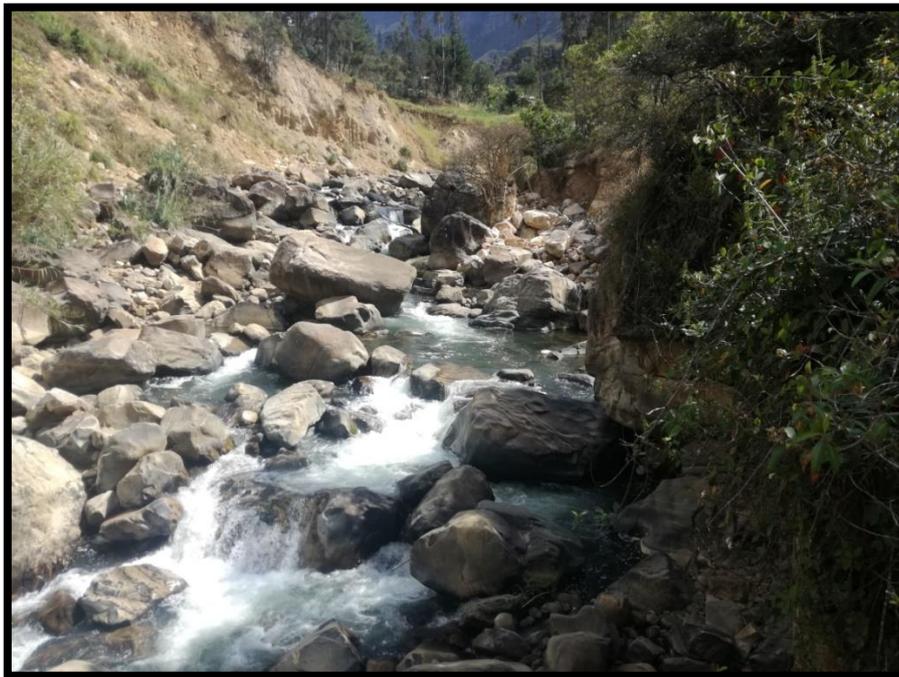


Figura 4. Paso del Río Llaucano por el área del proyecto.

Fuente: Elaborado por el autor.

En consideración a lo antes mencionado es recomendable realizar la ejecución de la cortada a una altura de 75 m, es decir en el nivel 2053; por lo tanto la distancia horizontal o longitud de la de cortada para dicha altura será de 261.56 m.

3.3 Costo de operación para la ejecución de la cortada

El tipo de cambio (T.C.) utilizado para la obtención de costos es de S/. 3.330, que corresponde al valor promedio de lo que va del 2019 (ver anexo n.º 11).

El costo por metro de avance de la ejecución de la cortada convencional de sección 7'x 8', se detalla a continuación en la tabla 7.

Tabla 7
Costos de ejecución de la cortada convencional de sección 7' x 8'

RUBRO	Costo/disparo
1. Mano de obra	128.55
2. Perforación	51.14
3. Voladura	43.74
4. Limpieza	9.86
5. Aire comprimido	40.00
6. Materiales para sostenimiento	27.92
7. Implementos de seguridad	7.73
8. Herramientas	2.19
COSTO DIRECTO POR DISPARO (US\$)	311.13
Imprevistos	3% 9.33
Gastos administrativos y generales	20% 62.23
Utilidad	10% 31.11
COSTO TOTAL POR DISPARO (US\$)	413.80
AVANCE POR DISPARO	1.7
COSTO POR METRO DE AVANCE (US\$)	243.41

Fuente: Elaborado por el autor.

Después de haber determinado la longitud de la cortada (261.56 m) y su costo por metro de avance (US\$ 243.41), se procede a estimar el costo total que implica su ejecución, tal y como se observa a continuación en la tabla 8.

Tabla 8
Longitud y costo de ejecución de la cortada del nivel 2053

Longitud de la cortada (m)	Costo/metro avance	Costo Total (\$)
261.56	US\$ 243.41	US\$ 63,666.32

Fuente: Elaborado por el autor.

3.4 Diseño del método de explotación Longwall Mining en la Mina Piñipata

3.4.1 Fase inicial

- Se iniciará con la construcción de la cortada en el nivel 2053, que tendrá como objetivo interceptar el manto de carbón, cuya longitud es de 261.56 m y su sección de 7' x 8', además se realizará la construcción de cunetas de 0.20 x 0.20 m.
- Una vez interceptado el manto de carbón, se construirá un nivel 1 de sección de 7' x 8', para la extracción del mineral a través de línea decauville con trocha de 500 mm.
- Posteriormente se construirá el nivel 2 de extracción, cuya sección es de 6' (1.83 m) x 1.70 m.
- En ambos niveles desarrollados se construirán chimeneas cada 100 metros con una sección de 1.50 m x 1.70 m.
- A continuación, se realizará subniveles con una sección de 1.50 m x 1.70 m.
- Se formarán 4 paneles, los cuales estarán limitados por los niveles de extracción y las chimeneas de ventilación (ver Figura 5).
- La dirección de avance de cada panel será entre chimenea y chimenea, a lo largo de la pared.
- Los cuatro paneles de extracción tendrán un área de 11 109 m² (ver Figura 6).

El diseño del método de explotación Longwall Mining se puede visualizar de manera más completa en los anexos n.º 20 y 21.

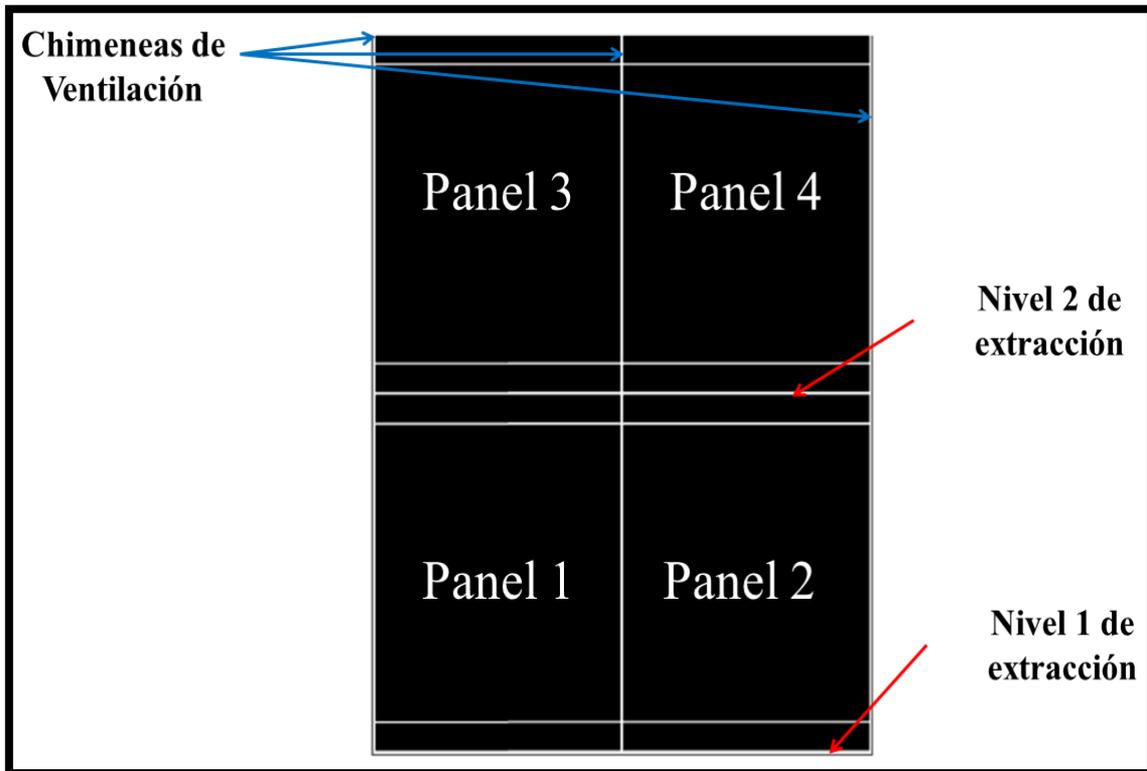


Figura 5. Paneles de extracción del método Longwall Mining.
Fuente: Elaborado por el autor.

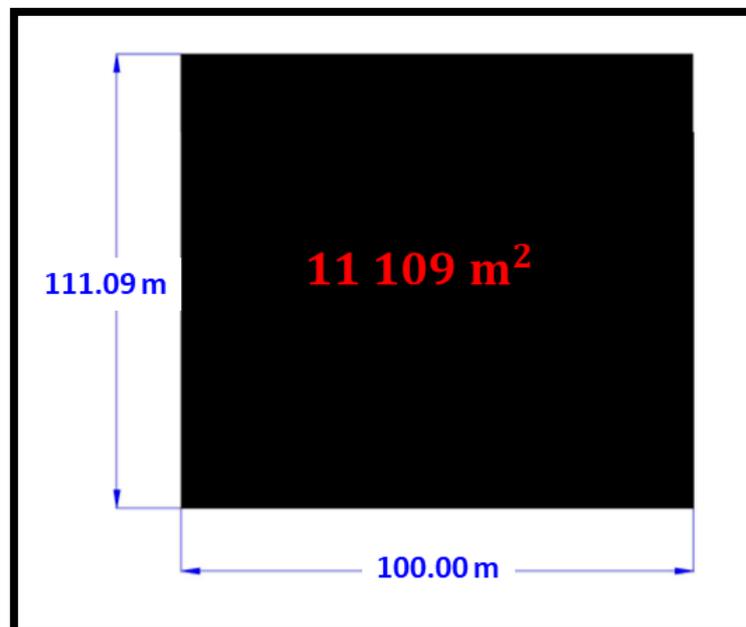


Figura 6. Área de los paneles.
Fuente: Elaborado por el autor.

3.4.2 Fase de preparación

- Se empezará con la construcción de subniveles paralelos a los niveles principales de extracción, dejando pilares naturales de 10 metros en ambos lados.
- El sostenimiento será con puntales redondos de 7” a 10” de diámetro en línea y espaciados a cada 1.2 metros, además de contará con plantilla de madera en el techo de 2”X8”X24”.
- El arranque del carbón se realizará mediante martillos picadores denominados Pick Hammer.

3.4.3 Equipos a utilizar

- **Equipo de perforación en material estéril:** se realizará a través de la perforadora Jack Leg.



Figura 7. Perforadora Jack Leg.

Fuente: (Atlas Copco, 2019).

- **Equipo para el arranque del carbón:** se utilizará pick hammer neumático.



Figura 8. Pick Hammer Neumático.
Fuente: (Atlas Copco, 2019)

- **Equipos de carguío y limpieza:** palanas carboneras y carretillas tipo buggy.
- **Equipo de extracción:** locomotora accionada por batería y carros mineros tipo U-35, cuya capacidad es de 1 TM.

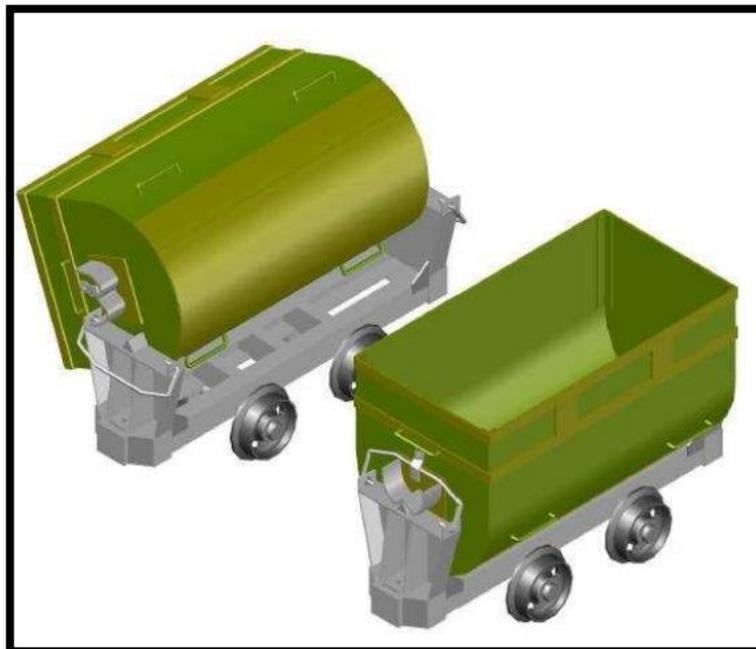


Figura 9. Carro Minero U - 35.
Fuente: (Formin).

3.4.4 Fase de explotación

- Cada rebanada de carbón tendrá una longitud de 111.09 m y un ancho de 1.2 m.
- El carbón roto será palaneado por el picador y su ayudante a la carretilla que trasladará dicho material a la tolva de transferencia, para posteriormente ser movilizado mediante carros mineros hacia el exterior.
- La cuadrilla de sostenimiento se encargará de colocar puntales en línea pegados a la nueva pared descubierta (ver anexo n.º 22).
- En el caso de encontrarse con zonas inestables o de material incompetente, se usarán wood pack a fin de soportar las presiones generadas por la caja techo.

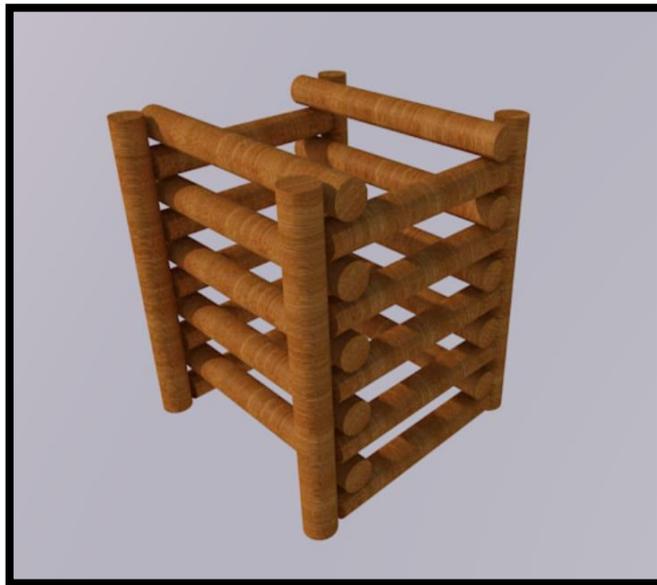


Figura 10. Wood pack.
Fuente: Elaborado por el autor.

3.5 Determinación de reservas de carbón en la Mina Piñipata

Conociendo las áreas correspondientes de cada panel, podemos hallar su volumen al multiplicar el área por la potencia promedio del manto de carbón (ver tabla 9).

Tabla 9
Potencia promedio del manto de carbón

Potencia del manto de carbón	
N° de Estación	Medida (m)
1° estación	1.63
2° estación	1.99
3° estación	1.43
4° estación	1.48
5° estación	1.46
Potencia Promedio	1.598 ≈ 1.60

Fuente: Elaborado por el autor.

$$\text{Volumen de Paneles} \rightarrow 11\,109 \text{ m}^2 \times 1.60 \text{ m} = \mathbf{17\,774.4 \text{ m}^3}$$

(Carrascal, Matos, & Oscar, 2000) en su investigación “Carbón en el Perú”, consideran que el carbón que se encuentra en mina Piñipata es un carbón tipo antracita, con un poder calorífico de 6 400 a 7 600 Kcal/Kg y que posee una densidad de 0.8 T/m³.

Conociendo dicha característica, a continuación se determinará el tonelaje de cada panel, multiplicando el volumen por la densidad del carbón.

$$\text{Reservas de Carbón en el Panel 1} \rightarrow 17\,774.4 \text{ m}^3 \times 0.8 \text{ T/m}^3 = \mathbf{14\,219.52 \text{ TM}}$$

$$\text{Reservas de Carbón en el Panel 2} \rightarrow 17\,774.4 \text{ m}^3 \times 0.8 \text{ T/m}^3 = \mathbf{14\,219.52 \text{ TM}}$$

$$\text{Reservas de Carbón en el Panel 3} \rightarrow 17\,774.4 \text{ m}^3 \times 0.8 \text{ T/m}^3 = \mathbf{14\,219.52 \text{ TM}}$$

$$\text{Reservas de Carbón en el Panel 4} \rightarrow 17\,774.4 \text{ m}^3 \times 0.8 \text{ T/m}^3 = \mathbf{14\,219.52 \text{ TM}}$$

RESERVA TOTAL DE CARBÓN = 56 878.08 TM

3.6 Estimación de costos de desarrollo

Hablar de costos de desarrollo hace referencia a los costos de ejecución de infraestructura necesaria para realizar la explotación; dentro de los cuales se estima la construcción de 2 niveles de extracción, 3 chimeneas y 4 subniveles; los cuales permitirán un excelente ritmo de producción y el máximo aprovechamiento de las reservas de carbón presentes en mina Piñipata.

A continuación se detallan los costos de operación para cada tipo de desarrollo.

3.6.1 Costos de operación para la construcción de niveles de extracción

Rendimiento por Guardia (TM/gdia): 5
Rendimiento por Día (TM/día): 10

Nº de guardias por día: 2
hh/gdia: 12

Tabla 10

Costos de operación para la construcción de niveles de extracción

	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
1.- MANO DE OBRA						
Capataz	0.25	0.6	hh	2.75	1.65	
Maestro Picador	1	2.4	hh	2.29	5.50	
Maestro Enmaderador	0.5	1.2	hh	2.29	2.75	
Ayudante de Picador	1	2.4	hh	1.82	4.37	
Ayudante Enmaderador	0.5	1.2	hh	1.82	2.18	
Bodeguero/ Almacenero	0.25	0.6	hh	1.82	1.09	
Carrero / Palanero	0.5	1.2	hh	1.82	2.18	
Carrillano / Tubero	0.25	0.6	hh	1.82	1.09	
Lamparero	0.25	0.6	hh	1.82	1.09	
						21.91
	Cantidad	Vida útil (horas)	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
2.- PERFORACIÓN						
Pick Hammer	1	10,000.00	Unid.	400.00	0.48	
						0.48

	Cantidad	Vida útil (días)	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
3.- IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						
Casco minero	9	360	Unid.	11.87	0.03	
Mameluco de DENIM 14 Onz.	9	180	Unid.	25.22	0.13	
Botas de jebe con p/acero	9	120	Unid.	22.26	0.17	
Guantes de cuero cortos	9	30	Unid.	2.08	0.06	
Ropa de jebe	9	120	Unid.	7.42	0.06	
Respirador con filtro	9	150	Unid.	16.32	0.10	
Lámpara eléctrica	9	350	Unid.	45.05	0.12	
Lentes de perforación	9	60	Unid.	5.34	0.08	
Tapón de oídos	9	30	Unid.	0.59	0.02	
Orejas	9	360	Unid.	5.04	0.013	
						0.76
	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
4.- LIMPIEZA						
Carro Minero U-35 + línea cauville	1	0.20	Hora	0.017	0.0035	
Locomotora + batería	1	0.20	Hora	4.86	0.9720	
						0.98
	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
5.- AIRE COMPRIMIDO						
Compresora 450 cfm	1	0.65	Hora	18	11.70	
						11.70
	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
6.- MATERIALES PARA SOSTENIMIENTO						
Puntal 6" Ø x 6' a 8'	2	0.4	Unid.	3.60	1.44	
Madera de 2"x 8"x 6'	1	0.2	Unid.	6.76	1.35	
						2.79
	Cantidad	Vida útil (días)	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
7.- HERRAMIENTAS						
Palana tipo cuchara	1	90	Unid.	7.72	0.0086	
Pico	1	90	Unid.	6.23	0.0069	
Comba de 10 lb	1	180	Unid.	20.77	0.0115	
Comba de 12 lb	1	180	Unid.	25.79	0.0143	

Wincha de 5 metros stanley	1	360	Unid.	5.91	0.0016
Carretilla tipo buggy	1	180	Unid.	52.20	0.0290
Arco de sierra	1	90	Unid.	7.98	0.0089
Nivel de 12" Stanley	1	360	Unid.	7.39	0.0021
Barretilla Corrugada 1" x 1,50 m	1	180	Unid.	11.84	0.0066
Atacador de madera	1	6	Unid.	2.37	0.0396
Llave stilson de 14"	1	360	Unid.	23.74	0.0066

0.14

SUB TOTAL COSTOS DIRECTOS

38.75

COSTOS INDIRECTOS

Imprevistos	3%				1.16
Gastos administrativos y generales	20%				7.75

8.91

TOTAL COSTO / TONELADA MÉTRICA (US\$/TM)

47.67

Fuente: Elaborado por el autor.

3.6.2 Costos de operación para la construcción de chimeneas y subniveles

Rendimiento por Guardia (TM/gdia): 20
Rendimiento por Día (TM/día): 40

Nº de guardias por día: 2
hh/gdia: 12

Tabla 11

Costos de operación para la construcción de chimeneas y subniveles

	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
1.- MANO DE OBRA						
Capataz	1	0.6	hh	2.75	1.65	
Maestro Picador	3	1.8	hh	2.29	4.12	
Maestro Enmaderador	2	1.2	hh	2.29	2.75	
Ayudante de Picador	3	1.8	hh	1.82	3.28	
Ayudante Enmaderador	2	1.2	hh	1.82	2.18	
Bodeguero/ Almacenero	1	0.6	hh	1.82	1.09	
Carrero / Palanero	1	0.6	hh	1.82	1.09	
Carrillano / Tubero	1	0.6	hh	1.82	1.09	
Lamparero	1	0.6	hh	1.82	1.09	
						18.35
	Cantidad	Vida útil (horas)	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
2.- PERFORACIÓN						
Pick Hammer	3	10,000.00	Unid.	400.00	1.44	
						1.44

	Cantidad	Vida útil (días)	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
3.- IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						
Casco minero	16	360	Unid.	11.87	0.01	
Mameluco de DENIM 14 Onz.	16	180	Unid.	25.22	0.06	
Botas de jebe con p/acero	16	120	Unid.	22.26	0.07	
Guantes de cuero cortos	16	30	Unid.	2.08	0.03	
Ropa de jebe	16	120	Unid.	7.42	0.02	
Respirador con filtro	16	150	Unid.	16.32	0.04	
Lámpara eléctrica	16	350	Unid.	45.05	0.05	
Lentes de perforación	16	60	Unid.	5.34	0.04	
Tapón de oídos	16	30	Unid.	0.59	0.01	
Orejas	16	360	Unid.	5.04	0.006	
						0.34
	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
4.- LIMPIEZA						
Carro Minero U-35 + línea cauville	3	0.15	Hora	0.017	0.0026	
Locomotora + batería	1	0.05	Hora	4.86	0.2430	
						0.25
	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
5.- AIRE COMPRIMIDO						
Compresora 450 cfm	1	0.65	Hora	18	11.70	
						11.70
	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
6.- MATERIALES PARA SOSTENIMIENTO						
Puntal 6" Ø x 6' a 8'	6	0.3	Unid.	3.00	1.44	
Madera de 2"X8"X24".	6	0.3	Unid.	1.00	1.35	
						1.20
	Cantidad	Vida útil (días)	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
7.- HERRAMIENTAS						
Palana tipo cuchara	3	90	Unid.	7.72	0.0064	
Pico	3	90	Unid.	6.23	0.0052	
Comba de 10 lb	1	180	Unid.	20.77	0.0029	
Comba de 12 lb	1	180	Unid.	25.79	0.0036	

Wincha de 5 metros stanley	3	360	Unid.	5.91	0.0012
Carretilla tipo buggy	3	180	Unid.	52.20	0.0217
Arco de sierra	2	90	Unid.	7.98	0.0044
Nivel de 12" Stanley	2	360	Unid.	7.39	0.0010
Barretilla Corrugada 1" x 1,50 m	3	180	Unid.	11.84	0.0049
Atacador de madera	3	6	Unid.	2.37	0.0297
Llave stilson de 14"	1	360	Unid.	23.74	0.0016

0.08

SUB TOTAL COSTOS DIRECTOS

33.36

COSTOS INDIRECTOS

Imprevistos	3%				1.00
Gastos administrativos y generales	20%				6.67

7.67

TOTAL COSTO / TONELADA MÉTRICA (US\$/TM)

41.03

Fuente: Elaborado por el autor.

Para estimar el costo total de desarrollos se calculó el tonelaje de carbón que se requiere mover para lo construcción de los mismos, tal y como se muestra a continuación en la tabla 12.

Tabla 12

Tonelajes de carbón a mover por tipo de desarrollo

Tipo de desarrollo	Ancho (m)	Altura (m)	Longitud (m)	Cantidad	Volumen (m3)	Densidad del carbón m3/TM	TONELAJE (TM)
Nivel 1	2.10	2.40	204.50	1	1030.68	0.8	824.54
Nivel 2	1.83	1.70	204.50	1	636.20	0.8	508.96
Chimeneas	1.50	1.70	268.17	3	2051.50	0.8	1641.20
Subniveles	1.50	1.70	200.00	4	2040.00	0.8	1632.00

Fuente: Elaborado por el autor.

Conociendo los tonelajes a mover por cada desarrollo se procede a determinar el costo para la construcción de uno de ellos, tal y como se aprecia en la tabla 13.

Tabla 13

Costo total para construcción de desarrollos

Tipo de desarrollo	Tonelaje (TM)	US\$/TM (US\$)	Costo (US\$)
Nivel 1	824.54	US\$ 47.67	US\$ 39,303.97
Nivel 2	508.96	US\$ 47.67	US\$ 24,260.84
Chimeneas	1641.20	US\$ 41.03	US\$ 67,335.71
Subniveles	1632.00	US\$ 41.03	US\$ 66,958.24
COSTOS DE TOTAL DE DESARROLLOS			US\$ 197,858.76

Fuente: Elaborado por el autor.

3.7 Costos de la aplicación del método Longwall Mining en la Mina Piñipata

Rendimiento por Guardia (TM/gdia): 30
Rendimiento por Día (TM/día): 60

Nº de guardias por día: 2
hh/gdia: 12

Tabla 14

Costos de la aplicación del método de explotación Longwall Mining

	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
1.- MANO DE OBRA						
Capataz	1	0.4	hh	2.75	1.10	
Maestro Picador	4	1.6	hh	2.29	3.66	
Maestro Enmaderador	2	0.8	hh	2.29	1.83	
Ayudante de Picador	4	1.6	hh	1.82	2.91	
Ayudante Enmaderador	2	0.8	hh	1.82	1.46	
Bodeguero/ Almacenero	1	0.4	hh	1.82	0.73	
Carrero / Palanero	2	0.8	hh	1.82	1.46	
Carrillano / Tubero	1	0.4	hh	1.82	0.73	
Lamparero	1	0.4	hh	1.82	0.73	
						14.60
	Cantidad	Vida útil (horas)	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
2.- PERFORACIÓN						
Pick Hammer	4	10 000.00	Unid.	400.00	1.92	
						1.92
	Cantidad	Vida útil (días)	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
3.- IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD						
Casco minero	18	360	Unid.	11.87	0.01	
Mameluco de DENIM 14 Onz.	18	180	Unid.	25.22	0.04	
Botas de jebe con p/acero	18	120	Unid.	22.26	0.06	
Guantes de cuero cortos	18	30	Unid.	2.08	0.02	
Ropa de jebe	18	120	Unid.	7.42	0.02	
Respirador con filtro	18	150	Unid.	16.32	0.03	
Lámpara eléctrica	18	350	Unid.	45.05	0.04	
Lentes de perforación	18	60	Unid.	5.34	0.03	
Tapón de oídos	18	30	Unid.	0.59	0.01	
Orejeras	18	360	Unid.	5.04	0.004	
						0.25

	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
4.- LIMPIEZA						
Carro Minero U-35	4	0.13	Hora	0.02	0.0023	
Locomotora + batería (alquiler)	1	0.03	Hora	4.86	0.1620	
						0.16
	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
5.- AIRE COMPRIMIDO						
Compresora 450 cfm	1	0.85	Hora	18	15.30	
						15.30
	Cantidad	Incidencia	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
6.- MATERIALES PARA SOSTENIMIENTO						
Puntal 6" Ø x 6'	12	0.4	Unid.	3	1.20	
Madera de 2"X8"X24"	12	0.4	Unid.	1	0.40	
						1.60
	Cantidad	Vida útil (días)	Unidad	Precio Unitario US\$	Subtotales (US\$)	Total (US\$/TM)
7.- HERRAMIENTAS						
Palana tipo cuchara	4	90	Unid.	7.72	0.0057	
Pico	4	90	Unid.	6.23	0.0046	
Comba de 10 lb	2	180	Unid.	20.77	0.0038	
Comba de 12 lb	2	180	Unid.	25.79	0.0048	
Wincha de 5 metros stanley	4	360	Unid.	5.91	0.0011	
Carretilla tipo buggy	4	180	Unid.	52.20	0.0193	
Arco de sierra	4	90	Unid.	7.98	0.0030	
Nivel de 12" Stanley	2	360	Unid.	7.39	0.0007	
Barretilla Corrugada 1" x 1,50 m	4	180	Unid.	11.84	0.0044	
Atacador de madera	4	6	Unid.	2.37	0.0264	
Llave stilson de 14"	2	360	Unid.	23.74	0.0022	
						0.08
SUB TOTAL COSTOS DIRECTOS						33.92
COSTOS INDIRECTOS						
Imprevistos	5 %					1.70
Gastos administrativos y generales	20%					6.78
						8.48
TOTAL COSTO / TONELADA MÉTRICA (US\$/TM)						42.40

Fuente: Elaborado por el autor.

3.8 Evaluación económica de la aplicación del método de explotación Longwall Mining en la Mina Piñipata

3.8.1 Determinación de la vida útil (V.U.) de la mina Piñipata

Ecuación 3

Determinación de la extracción anual de carbón

$$\text{Extracción Mina (TM/año)} = 60 \frac{\text{TM}}{\text{día}} \times 30 \times 12$$

$$\text{Extracción Mina (TM/año)} = 21\ 600$$

Ecuación 4

Determinación de la vida útil de la mina Piñipata

$$\text{V.U. (años)} = \text{Reservas (TM)} / \text{Extracción Mina (TM/año)}$$

$$\text{V.U. (años)} = 56\ 878.08 \text{ (TM)} / 21\ 600 \text{ (TM/año)}$$

$$\text{V.U.} = 2.63 \approx 3 \text{ años}$$

3.8.2 Precio por tonelada métrica (TM) de carbón

El precio estimado para la venta por tonelada de carbón de acuerdo a la oferta y demanda en la zona será de US\$ 60. Es importante considerar que dicho precio puede variar dependiendo de la temporada del año.

3.8.3 Determinación de la tasa de descuento (k)

Es importante resaltar que los costos de inversión (CAPEX) estimados para el proyecto son de US\$ 261,525.08, que es el costo total que se necesita para la construcción de la cortada en el nivel 2053 y de los desarrollos mineros; dicho capital se obtendrá a partir de un préstamo bancario en la entidad Mi Banco, cuya tasa efectiva anual (TEA) es del 14% (ver anexo n.º 23), la cual se amortizará en un periodo de 3 años (ver anexo n.º 24).

3.8.4 Determinación del valor actual neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión, que nos permite determinar la viabilidad de nuestro proyecto. Si tras medir los flujos de los futuros ingresos y egresos y descontar la inversión inicial queda alguna ganancia, el proyecto es considerado como viable.

A continuación, se realiza el cálculo del valor actual neto (ver Tabla 15) de nuestro proyecto de investigación, para lo cual tenemos que tomar en cuenta lo siguientes datos:

- Inversión para construcción de cortada = US\$ 63,666.32
- Inversión para construcción de desarrollos = US\$ 197,858.76
- Costo/TM de carbón = US\$ 42.40
- Precio/TM de carbón = US\$ 60.00
- Tasa (k) = 14%
- Vida útil de la mina = 3 años

Tabla 15
Flujos de caja del proyecto

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Producción Anual (TM/año)		21600	21600	13678.08
Inversión (\$)	\$ 261,525.08			
Flujo Beneficio (\$)		\$1,296,000.00	\$1,296,000.00	\$820,684.80
Flujo Costo (\$)		\$915,820.48	\$915,820.48	\$579,938.23
Flujo Neto (\$) antes del impuesto		\$380,179.52	\$380,179.52	\$240,746.57
Impuesto a la renta (30%)		\$114,053.85	\$114,053.85	\$72,223.97
Flujo de caja Neto (\$)	\$ -261,525.08	\$266,125.66	\$266,125.66	\$168,522.60

Fuente: Elaborado por el autor.

Ecuación 5

Estimación del valor actual neto

$$VAN = - \text{Inversión} + \frac{FC_1}{(1+k)} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+k)^n}$$

$$VAN = - \text{US\$ } 261\,525.08 + \frac{\text{US\$}266\,125.66}{(1+0.14)^1} + \frac{\text{US\$}266\,125.66}{(1+0.14)^2} + \frac{\text{US\$}168\,522.60}{(1+0.14)^3}$$

$$VAN = \text{US\$ } 290\,441.49$$

3.8.5 Estimación de la tasa interna de retorno (TIR)

La TIR es la tasa de interés a la que el valor actual neto de nuestros costos (los flujos de caja negativos) de la inversión es igual al valor presente neto de nuestros beneficios (flujos positivos de efectivo) de la inversión (Enciclopedia Financiera, 2018); es decir la TIR es la tasa que permite que el valor actual neto de nuestro proyecto sea igual a 0.

Para obtención de la TIR es necesario considerar nuestra inversión y los flujos netos generados durante los 3 años de nuestro proyecto, tal y como se observa a continuación en la Figura 11.

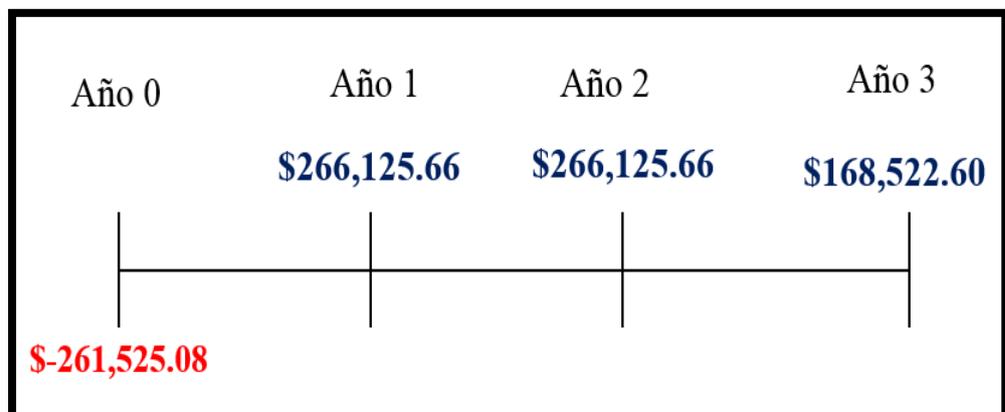


Figura 11. Flujo de caja neto por año.
Fuente: Elaborado por el autor.

Tomando en cuenta los datos mostrados en la figura anterior, se obtuvo como resultado para la tasa interna de retorno un valor de 78.82%; dicho porcentaje es tasa de interés que permite recuperar nuestra inversión, pero no genera ningún tipo de beneficio económico.

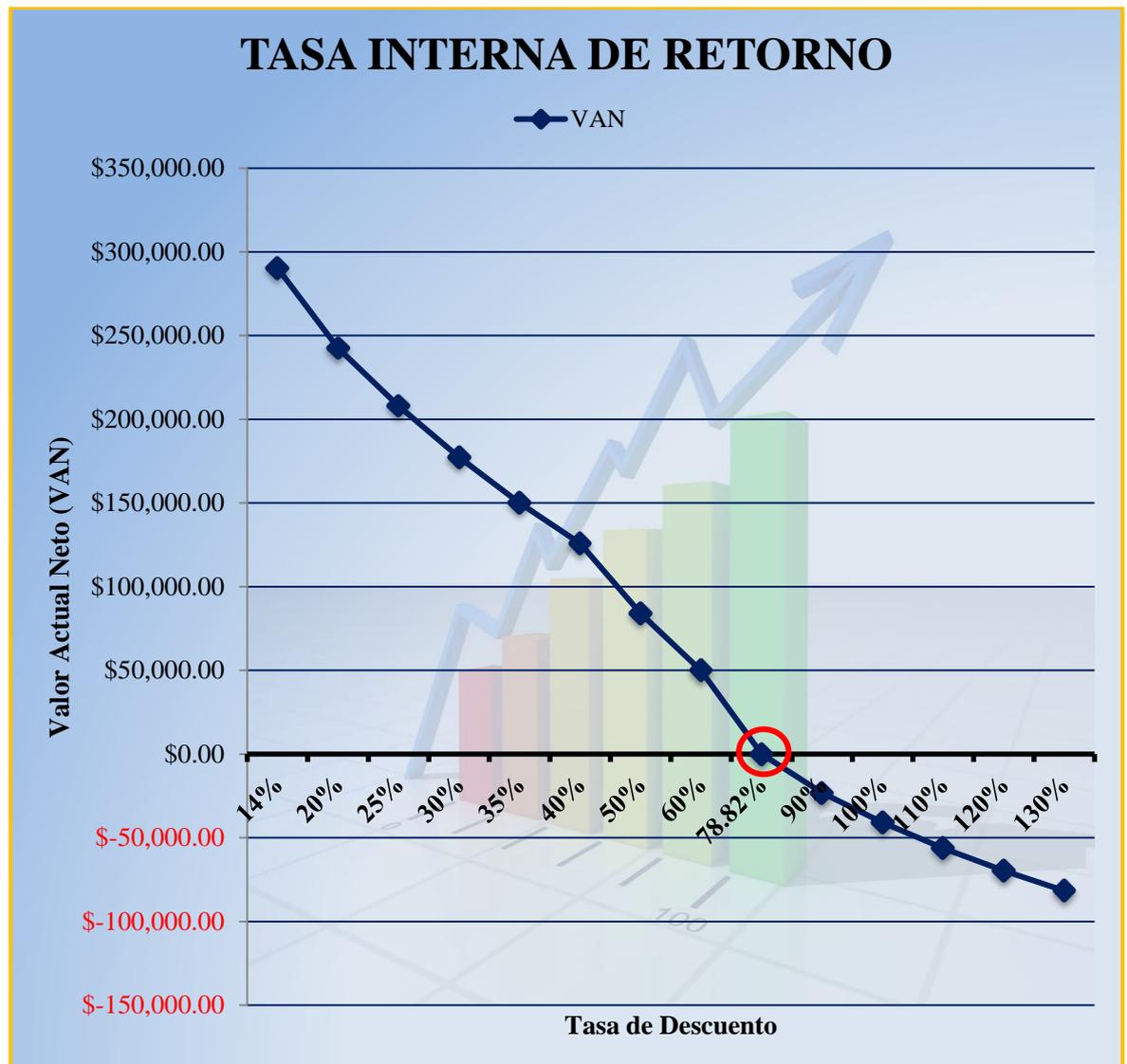
A continuación, en la Tabla 16, se muestra diferentes tasas de descuento, incluida nuestra TIR de 78.82% y sus respectivos valores actuales netos (VAN).

Tabla 16
Tasa de descuento vs valor actual neto

Tasa	VAN
14%	US\$ 290,441.49
20%	US\$ 242,580.44
25%	US\$ 207,979.44
30%	US\$ 177,363.55
35%	US\$ 150,122.03
40%	US\$ 125,758.02
50%	US\$ 84,102.72
60%	US\$ 49,902.01
78.82%	US\$ 0.00
90%	US\$ -23,170.36
100%	US\$ -40,865.51
110%	US\$ -56,255.60
120%	US\$ -69,747.54
130%	US\$ -81,660.17

Fuente: Elaborado por el autor.

Para un mejor entendimiento de los valores obtenidos en la tabla anterior, a continuación se los representa en la gráfica 1, donde se puede visualizar claramente que a partir de la tasa interna de retorno de 78.82 % el valor actual neto generado es de US\$ 0.00.



Gráfica 1. TIR vs. VAN

Fuente: Elaborado por el autor.

3.8.6 Determinación del periodo de recuperación del capital (Payback)

El payback o plazo de recuperación es un criterio para evaluar inversiones, el cual se define como el periodo de tiempo necesario para recuperar el capital inicial de una inversión.

Para el caso de nuestra inversión a continuación en la tabla 17 se muestra los flujos netos actualizados y acumulados, con los que se podrá calcular el payback.

Tabla 17

Flujos netos actualizados y acumulados del proyecto

Años	Flujos Netos	Flujos Actualizados	Flujo Neto Acumulado
0	US\$ -261,525.08		US\$ -261,525.08
1	US\$ 266,125.66	US\$ 233,443.56	US\$ -28,081.52
2	US\$ 266,125.66	US\$ 204,775.06	US\$ 176,693.54
3	US\$ 168,522.60	US\$ 113,747.95	US\$ 290,441.49

Fuente: Elaborado por el autor.

$$PB = \frac{US\$ 28,081.52}{(US\$ 28,081.52 + US\$ 176,693.54)} + 1$$

$$PB = 1.14 \text{ años} \approx 13.65 \text{ meses}$$

3.8.7 Determinación de la relación beneficio - costo (R B/C)

La relación beneficio – costo también conocida como el índice beneficio/costo (I B/C), compara directamente los beneficios y los costos de un proyecto para poder definir su viabilidad.

Para determinar la R B/C de nuestro proyecto, es necesario traer al valor presente los flujos netos de efectivo asociados con el proyecto (ver tabla 18).

Tabla 18

Flujos netos actuales del proyecto

Tasa = 14 %

Años	Flujos Netos	Flujo Neto Actual
0	US\$ -261,525.08	
1	US\$ 266,125.66	US\$ 233,443.56
2	US\$ 266,125.66	US\$ 204,775.06
3	US\$ 168,522.60	US\$ 113,747.95
Total		US\$ 551,966.57

Fuente: Elaborado por el autor.

$$R B/C = \frac{US\$ 551,966.57}{US\$ 261,525.08}$$

$$R B/C = 2.11$$

Según blog informativo (Conexión ESAN, 2017) considera que para saber si un proyecto es viable bajo este enfoque, se debe considerar la comparación de la relación B/C hallada con 1. Así:

- Si $B/C > 1$, esto indica que los beneficios son mayores a los costos. En consecuencia, el proyecto debe ser considerado.
- $B/C = 1$, significa que los beneficios igualan a los costos. No hay ganancias. Existen casos de proyectos que tienen este resultado por un tiempo y luego, dependiendo de determinados factores como la reducción de costos, pueden pasar a tener un resultado superior a 1.
- $B/C < 1$, muestra que los costos superan a los beneficios. En consecuencia, el proyecto no debe ser considerado.

En consideración lo expuesto anteriormente, podemos ratificar que nuestro proyecto es viable, ya que nuestra relación de beneficio – costo (2.11) es mayor a 1.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación, permiten demostrar que la factibilidad del método de explotación Longwall Mining en la Mina Piñipata, logrará optimizar la productividad de las operaciones, se generará mejores condiciones de trabajo que cumplan con los índices más altos de seguridad, se aumentará el aprovechamiento de los recursos e incrementará las reservas minerales.

De acuerdo a la tabla N° 6, la construcción de la cortada a una altura de 75 m (nivel 2053), que tiene como objetivo interceptar el manto de carbón, permitirá ganar una longitud de 272.10 m de mineral, de esta manera se amplía las reservas minerales y la vida de la mina a unos 3 años.

Las favorables características del manto de carbón y la adecuada construcción de los desarrollos mineros, aseguran un adecuado y seguro diseño del método de explotación, donde se trabajarán cuatro paneles de extracción que permitirá un ritmo óptimo de producción de 30 TM/gdia.

Económicamente el método de explotación Longwall Mining, genera una excelente rentabilidad tal y como se evidencia en el resultado obtenido del valor actual neto y de la relación beneficio – costo, esto nos permite concluir que es un proyecto netamente viable.

En consideración a lo antes mencionado, se acepta la hipótesis planteada: La factibilidad técnica y económica de la aplicación del método de explotación Longwall Mining permitirá incrementar la producción de carbón antracita en la Mina Piñipata.

4.2 Conclusiones

- El costo de capital (CAPEX) para la aplicación del método de explotación Longwall Mining en la mina Piñipata se determinó considerando el costo de construcción de la cortada del nivel 2053 (US\$ 63,666.32) cuya longitud es de 261.56 m y el costo de construcción de desarrollos (US\$ 197,858.76), lo que hace un total de US\$ 261,525.08.
- Se realizó el diseño del método de explotación, considerando 4 paneles de extracción de 14,219.52 TM cada uno, de esta manera se generará un ritmo de producción de 60 TM/día por un periodo aproximado de 3 años.
- Se estableció un costo de operación (OPEX) de 42.40 US\$/TM, para la explotación del manto de carbón en la mina Piñipata, empleando el método Longwall Mining.
- Se analizó la rentabilidad económica de la aplicación del método Longwall Mining en la mina Piñipata, teniendo como resultado un valor actual neto (VAN) de US\$ 290,441.49, una tasa interna de retorno (TIR) de 78.82%, un periodo de recuperación de capital (Payback) de 13.65 meses y una relación beneficio – costo (R B/C) de 2.11.

REFERENCIAS

- Aliaga, J. (2009). *Aplicación del método Long Wall en la mina de carbón Chimú para el incremento de la producción*. Obtenido de Repositorio Institucional - UNI: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/11441/1/aliaga_dj.pdf
- Atlas Copco. (2019). Obtenido de <https://www.atlascopco.com/es-pe/construction-equipment/products/handheld/rock-drills/pneumatic-rock-drills/BBC16W>
- Atlas Copco. (Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.atlascopco.com/es-pe/construction-equipment/products/handheld/hammers/pneumatic-hammers/DKR36-hammer>
- Cabello, N. (2008). *Selección del método de explotación para la veta Piedad en la Mina Catalina Huanca, Ayacucho*. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/2144/Cabello_cn.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carrascal, R., Matos, C., & Oscar, S. (Octubre de 2000). *Repositorio Institucional - INGEMMET*. Obtenido de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/browse?type=author&value=Carrascal+Miranda%2C+Rolando&sort_by=1&order=ASC&rpp=5&etal=5
- Cazau, P. (2006). Obtenido de <http://alcazaba.unex.es/asg/400758/MATERIALES/INTRODUCCI%C3%93N%20A%20LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20EN%20CC.SS..pdf>
- Conexión ESAN. (24 de Enero de 2017). Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/el-indice-beneficiocosto-en-las-finanzas-corporativas/>

Cruzado, G. (Junio de 2009). *Estudio Geológico del Departamento de Cajamarca*. Obtenido de <https://zeoot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/GEOLOGIA.pdf>

Cueva, D., & Rojas, K. (2018). *Propuesta técnica de la aplicación del método de explotación Longwall Mining en la mina Piñipata - Bambamarca*. Obtenido de Repositorio Institucional - UPN: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14188>

De La Cruz, E. (2014). *Optimización económica aplicando el método de explotación Long Wall Mining frente al método Corte y Relleno ascendente en Cía. Minera Poderosa S.A., Unidad Santa María*. Obtenido de Repository - UNCP: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3178/De%20La%20Cruz%20Alanya.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Enciclopedia Financiera. (03 de 15 de 2018). Obtenido de <https://www.encyclopediainanciera.com/finanzas-corporativas/tasa-interna-de-retorno.htm>

Escamilla, M. (2010). Obtenido de https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES38.pdf

Exsa. (Agosto de 2019). Obtenido de <https://www.exsa.net/es/productos/semexsa>

Formin. (s.f.). Obtenido de <http://www.formin.com.pe/assets/ficha-tecnica-rueda-u-352.pdf>

Quispe, J. (2014). *Análisis de producción y costos del método Long Wall Mining sobre el método corte y relleno ascendente para su aplicación en U.E.A. minera aurífera retamas S.A.* Obtenido de Repository - UNSA: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3917/MIquurjc078.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ramírez, J. (2010). *Aplicación del método de explotación Longwall en vetas auríferas angostas en la zona de Patrick – Marsa*. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1669/1/ramirez_gj.pdf

Romero, J. (2012). *Selección de métodos extractivos y su impacto en la productividad minera - estudio de caso en la minería de carbón colombiana* . Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/9090/1/02822204.2012.pdf>

SUNAT. (2019). Obtenido de <http://www.sunat.gob.pe/cl-at-ittipcam/tcS01Alias>

Vargas, Z. (2009). Obtenido de <https://es.calameo.com/read/000951076ee6364b45c06>

ANEXOS

ANEXO n.º 2. Plano de ubicación política.

ANEXO n.º 3. Plano de accesos.

ANEXO n. ° 4. Plano de concesiones mineras.

ANEXO n. ° 5. Plano topográfico.

ANEXO n. ° 6. Plano geológico.

ANEXO n.º 7. Fotografías del levantamiento topográfico.





ANEXO n.º 8. Tabla de datos del levantamiento topográfico.

Norte: 9270971		Este: 781660		Cota: 2128		Zona: 17			
Estación	Punto	Ang. Horizontal	Ang. Vertical	Di (m)	Dh (m)	DETALLES			
						Techo (m)	Piso (m)	Izquierda (m)	Derecha (m)
BM	1	N267W	32	2.03	1.59				
1	2	N255W	-15		3.33	0.50	1.07	0.52	0.60
					1.00	0.64	1.02	0.28	0.54
					2.00	0.92	1.09	0.45	0.85
					3.00	1.09	1.15	0.74	0.57
					8.40	1.07	0.57	0.80	0.64
2	3	N258W	-17		1.00	0.89	0.59	0.54	0.81
					2.00	0.94	0.46	0.51	0.87
					3.00	0.54	0.73	0.37	0.78
					4.00	0.37	0.82	0.48	0.79
					5.00	0.67	0.91	0.68	0.86
					6.00	0.39	0.79	0.45	0.92
					7.00	0.72	0.84	0.49	0.85
					8.00	1.28	0.77	0.72	1.19
3	4	N261W	-16		8.57	0.50	0.95	0.74	1.14
					1.00	0.41	0.96	0.84	1.07
					2.00	0.92	0.91	0.78	0.87
					3.00	0.71	0.99	0.80	0.72
					4.00	0.75	1.04	0.57	0.38
					5.00	0.83	1.16	0.71	0.49
					6.00	0.59	1.24	1.19	0.56
					7.00	0.56	1.28	1.09	0.75
4	5	N259W	-14		8.00	0.49	1.11	0.97	0.49
					15.00	0.50	0.80	0.76	0.70
					2.00	0.76	0.69	0.67	0.87
					4.00	0.65	0.74	0.72	0.92
					6.00	0.40	0.85	1.02	0.84
					8.00	0.72	0.65	0.91	0.70
					9.00	0.69	0.71	0.79	1.02
					10.00	0.57	0.75	0.65	1.29
	12.00	0.63	0.82	0.85	1.13				
	14.00	0.74	0.93	1.04	0.75				

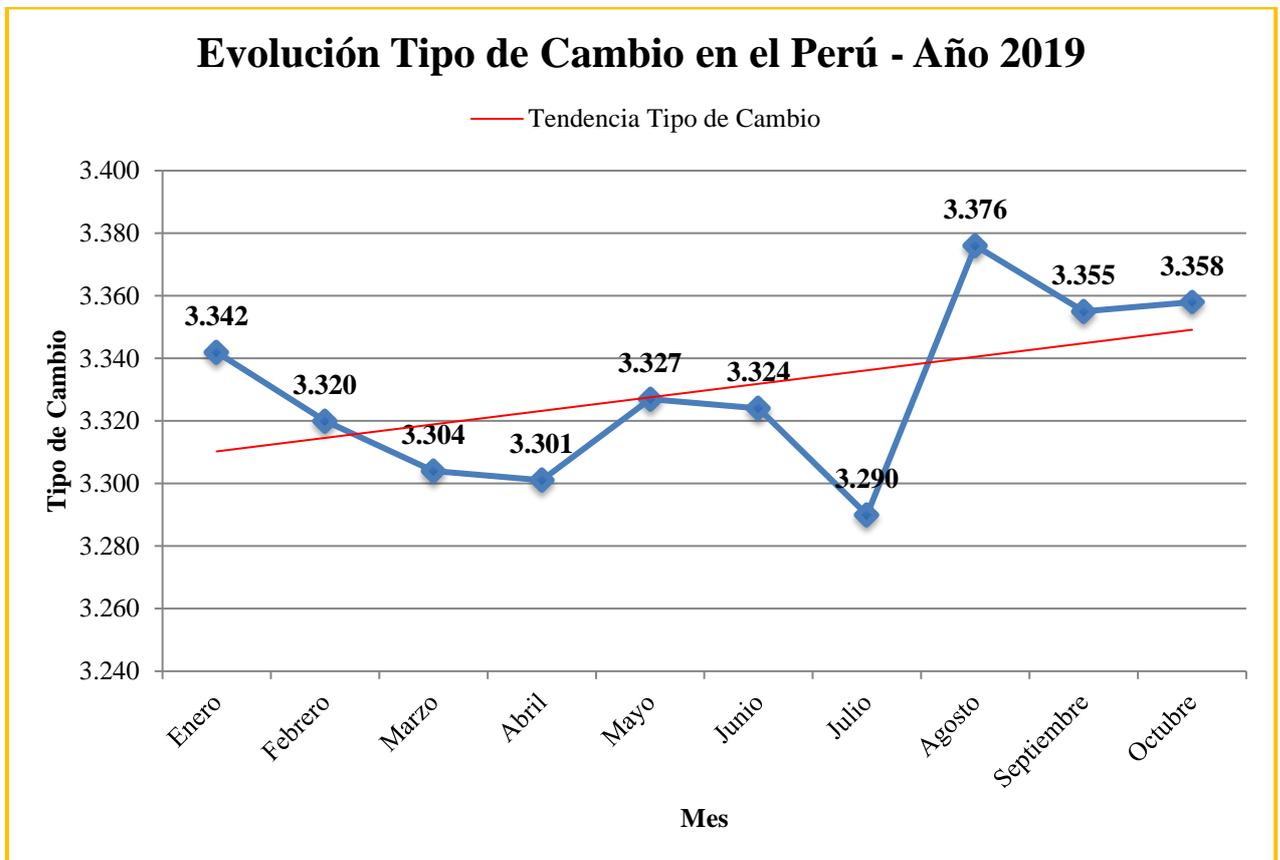
				15.00	0.50	1.03	0.58	1.15
				2.00	0.67	0.92	0.63	0.97
				4.00	0.75	0.79	0.74	0.89
5	6	N262W	-17	6.00	0.82	0.85	0.93	1.08
				8.00	0.73	0.78	0.96	0.85
				10.00	0.65	0.81	1.06	0.72
				12.00	0.71	0.93	1.17	0.78
				14.00	0.59	0.85	1.02	0.69
				16.50	0.50	0.92	0.87	0.96
				2.00	0.62	1.02	0.75	0.89
				4.00	0.73	0.95	0.98	0.77
6	7	N259W	-16	6.00	0.78	1.14	1.14	0.86
				8.00	0.58	1.02	0.98	0.92
				10.00	0.45	0.86	0.85	0.54
				12.00	0.68	0.73	0.92	0.67
				14.00	0.40	0.69	0.77	1.04
				16.50	0.50	0.54	0.79	1.08

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO n. ° 9. Plano vista en planta – Mina Piñipata.

ANEXO n. ° 10. Plano vista en perfil – Mina Piñipata.

ANEXO n.º 11. Valor promedio del tipo de cambio.



Fuente: (SUNAT, 2019)

Valor promedio del Tipo de Cambio (T.C.) = S/. 3.330

ANEXO n.º 12. Tablas de cálculo de costos de mano de obra de la cortada.

Cálculo de beneficios sociales (BB.SS.)

Descripción	%
ESSALUD	9
Gratificación	21.66
Vacaciones	10.83
C.T.S.	10.96
Asignación familiar	10
Dominicales	17.33
Feridos	3.61
S.C.T.R.	4
Total beneficios sociales	87.39

Fuente: Elaborado por el autor.

Clasificación por categoría

T.C. = 3.33					
Categoría	Descripción	Salario Básico (S/.)	BB. SS.	Costo por Tarea (S/.)	Costo por Tarea (US\$)
A	Capataz	58.75	51.34	110.09	33.06
B	Maestro Perforista Maestro Enmaderador	48.75	42.60	91.35	27.43
C	Carrilano/Tubero Bodeguero/Almacenero Ayudante de Perforista Ayudante Enmaderador Carrero/Palanero Lampero	38.75	33.86	72.61	21.81

Fuente: Elaborado por el autor.

Costo total de mano de obra

Personal	Incidencia	Salario + BB SS	Costo/ Disparo
Capataz	0.5	33.06	16.53
Maestro Perforista	1	27.43	27.43
Maestro Enmaderador	0.5	27.43	13.72
Ayudante Perforista	1	21.81	21.81
Ayudante Enmaderador	0.5	21.81	10.90
Bodeguero/ Almacenero	0.25	21.81	5.45
Carrero / Palanero	1	21.81	21.81
Carrillano / Tubero	0.25	21.81	5.45
Lamparero	0.25	21.81	5.45
Costo mano de obra		US \$	128.55

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO n.º 13. Tabla de cálculo de costos de perforación de la cortada.

Ítem	Cantidad	Vida útil (pp)	Precio Unitario		Costo / pp			Costo /disparo		
			S/.	US \$	S/. x pp	US\$ x pp	Nº taladros	Long. Taladros	S/. x disparo	US\$ x disparo
			T.C. = 3.33							
Máquina Perforadora Jack Leg	1	100,000.00	11,655.00	3,500.00	0.12	0.04	30	6	20.98	6.30
Barreno de 4"	1	1,000.00	266.40	80.00	0.27	0.08	30	6	47.95	14.40
Barreno de 6"	1	1,000.00	399.60	120.00	0.40	0.12	30	6	71.93	21.60
Piedra de esmeril tipo copa 1.25x2.5x5"	1	5,000.00	50.47	15.16	0.01	0.00303	30	6	1.82	0.55
Aceite para perforadora Rock Drill 100	1	800.00	13.93	4.18	0.02	0.00523	30	6	3.13	0.94
Manguera para agua de 1/2" de diam.	1	20,000.00	4.38	1.31	0.00	0.00007	30	6	0.04	0.01
Manguera para aire de 1" de diam.	1	20,000.00	8.40	2.52	0.00	0.00013	30	6	0.08	0.02
Afiladora de barrenos Marca Atlas Copco	1	50,000.00	6,772.50	2,033.78	0.14	0.04	30	6	24.38	7.32
Costo de perforación (US\$)										51.14

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO n.º 14. Tablas de cálculo de costos de voladura de la cortada.

Semexsa 65% x 7/8" x 7"	
Peso Neto (Kg)	25
UN/caja	308
Kg/cartucho	0.08

Fuente: Elaborado por el autor.

Nº taladros	30
Cartuchos/Taladro	6
Kg/cartucho	14.61

Fuente: Elaborado por el autor.

T.C. = 3.33

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Unitario (US\$)	Unidad	Costo/ disparo
Dinamita 65% x 7/8" x 7"	14.61	7.33	2.20	Kg	32.16
Fulminante N° 8	30	0.32	0.09	Pieza	2.84
Mecha rápida	60	1.35	0.12	pies	7.20
Mecha de seguridad	177.3	0.28	0.01	pies	1.54
Costo de voladura (US\$)					43.74

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO n.º 15. Tabla de cálculo de costos de implementos de seguridad para construcción de la cortada.

Ítem	Cantidad	Vida útil (días)	T.C. = 3.33			
			Precio Unitario		Costo por disparo	
			S/.	US \$	S/. / disparo	US\$ / disparo
Casco minero	9	360	40.00	12.01	1.00	0.30
Mameluco de DENIM 14 Onz.	9	180	85.00	25.53	4.25	1.28
Botas de jebe con p/acero	9	120	75.00	22.52	5.63	1.69
Guantes de cuero cortos	9	30	7.00	2.10	2.10	0.63
Ropa de jebe	9	120	25.00	7.51	1.88	0.56
Respirador con filtro	9	150	55.00	16.52	3.30	0.99
Lámpara eléctrica	9	350	150.00	45.05	3.86	1.16
Lentes de perforación	9	60	18.00	5.41	2.70	0.81
Tapón de oídos	9	30	2.00	0.60	0.60	0.18
Orejeras	9	360	17.00	5.11	0.43	0.13
Costo de implementos de seguridad (US\$)						7.73

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO n.º 16. Tabla de cálculo de costos para limpieza de la cortada.

Descripción	Cantidad	US\$/hora	Horas/ disparo	Costo/ disparo
Carro Minero U-35 + Línea cauville	4	0.02	2	0.14
Locomotora + batería (alquiler)	1	4.86	2	9.72
Costo de limpieza (US\$)				9.86

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO n.º 17. Tabla de cálculo de costos de aire comprimido para la construcción de la cortada.

Descripción	Cantidad	US\$/hora	Horas/disparo	Costo/disparo
Compresora 450 cfm	1	20	2	40
Costo de aire comprimido (US\$)				40

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO n.º 18. Tabla de cálculo de costos de materiales de sostenimiento para la construcción de la cortada.

Descripción	Cantidad	US\$	Unidad	Costo/disparo
Puntal 6" Ø x 8'	4	3.60	disparos	14.40
Tabla 2" x 8" x 6'	2	6.76	disparos	13.52
Costo de materiales para sostenimiento (US\$)				27.92

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO n.º 19. Tabla de cálculo de costos de herramientas para la construcción de la cortada.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario		Vida útil (días)	Unidad	Costo/disparo
		S/.	US \$			
Palana tipo cuchara	2	26	7.81	90	0.17	26
Pico	2	21	6.31	90	0.14	21
Comba de 10 lb	1	70	21.02	180	0.12	70
Comba de 12 lb	1	86.9	26.10	180	0.14	86.9
Wincha de 5 metros stanley	2	19.9	5.98	360	0.03	19.9
Carretilla tipo buggy	1	175.9	52.82	180	0.29	175.9
Arco de sierra	2	26.9	8.08	90	0.18	26.9
Nivel de 12" Stanley	1	24.9	7.48	360	0.02	24.9
Barretilla	3	39.9	11.98	180	0.20	39.9
Atacador de madera	2	8	2.40	6	0.80	8
Sacabarreno	1	10.5	3.15	180	0.02	10.5
Llave stilson de 14"	1	80	24.02	360	0.07	80
Costo de herramientas (US\$)						2.19

Fuente: Elaborado por el autor.

ANEXO n. °20. Plano vista en perfil del diseño del método de explotación Longwall Mining.

ANEXO n. °21. Plano vista en planta del diseño del método de explotación Longwall Mining.

ANEXO n. °22. Figuras 3D del sostenimiento.

ANEXO n. °23. Cotización de préstamo para inversión y estimación de la tasa de interés en la entidad bancaria Mi Banco.

ANEXO n. °24. Cuadro de amortización del crédito bancario.

Monto	US\$ -261,525.08	Cuota Anual	US\$ 112,647.08
Tasa	14%	Cuota Mensual	\$9,387.26
Años	3		

Periodo	Cuota (\$)	Interés (\$) 14%	Amortización Deuda (\$)	Saldo
Al Iniciar	-	-	-	\$261,525.08
Fin de año 1	\$112,647.08	\$36,613.51	\$76,033.57	\$185,491.51
Fin de año 2	\$112,647.08	\$25,968.81	\$86,678.27	\$98,813.23
Fin de año 3	\$112,647.08	\$13,833.85	\$98,813.23	\$0.00

Fuente: Elaborado por el autor.