



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“PROPUESTA TÉCNICA DE APLICACIÓN DEL MÉTODO
DE EXPLOTACIÓN LONGWALL MINING EN LA MINA
PIÑIPATA – BAMBAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de minas

Autores:

Diana Katherine Cueva Quispe

Kevin Ulises Rojas Atalaya

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca - Perú

2018

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Ing. Elmer Ovidio Luque Luque, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA DE MINAS**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Cueva Quispe, Diana Katherine
- Rojas Atalaya, Kevin Ulises

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: Propuesta técnica de aplicación del método de explotación Longwall Mining en la mina Piñipata – Bambamarca para aspirar al título profesional de: Ingeniero de minas por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** a los interesados para su presentación.

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Diana Katherine Cueva Quispe & Kevin Ulises Rojas Atalaya para aspirar al título profesional con la tesis denominada: Propuesta técnica de aplicación del método de explotación Longwall Mining en la mina Piñipata – Bambamarca.

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán
Jurado
Presidente

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León
Jurado

Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza
Jurado

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis padres Marco y Cecilia por haberme dado la vida y ser mi fortaleza, por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos y por inculcarme valores para ser una persona de bien y que con su esfuerzo y trabajo me han ayudado a cumplir mis objetivos. A toda mi familia que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio. A mi novio Kevin por su amor, comprensión y su apoyo en todo este tiempo cual pido Dios siempre lo bendiga. Y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

Cueva Quispe, Diana Katherine

Dedico esta tesis a Dios por haberme dado salud, sabiduría y guiarme para poder lograr mis objetivos. A mis padres Juan y Eulalia por su incondicional apoyo y ser el pilar fundamental en todo lo que soy; A mis hermanos por haberme apoyado en todo momento, por la motivación que me ha permitido ser una persona de bien, en especial a mi hermana Lily por inculcarme siempre que el estudio es la mejor carta para materializar los sueños de una manera más fácil. A mis tíos Absalón y Elvira por su apoyo sus consejos y sus valores. A mi novia Diana por su comprensión, pero más que nada, por su amor.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Rojas Atalaya, Kevin Ulises

AGRADECIMIENTO

Le agradecemos a Dios sobre todas las cosas por brindarnos la salud, tranquilidad, bienestar y bendiciones cada día; por fortalecer nuestro espíritu en cada momento de debilidad; por la oportunidad de vivir y poder realizar uno de nuestros más anhelados sueños.

A la ilustre Universidad Privada Del Norte a sus profesores por darnos la oportunidad de formar parte de ella y habernos formado como profesionales.

Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Elmer Ovidio Luque Luque por su amistad, su apoyo, su tiempo, por los conocimientos transmitidos y sus sabios consejos.

A nuestros amigos y todas aquellas personas que fueron parte de nuestros crecimientos profesionales y que colaboraron en la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDOS	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN.....	10
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema.....	15
1.3. Objetivos	15
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	15
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	15
1.4. Hipótesis	15
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	16
2.1. Población y muestra	16
2.1.1. <i>Población</i>	16
2.1.2. <i>Muestra</i>	16
2.2. Materiales, instrumentos y métodos de recolección de datos	16
2.3. Materiales, instrumentos y métodos del análisis de datos	16
2.3.1. <i>Métodos</i>	16
2.3.2. <i>Materiales</i>	17
2.3.3. <i>Instrumentos</i>	17
2.3.3.1. <i>Metodología de selección del método de explotación mediante el análisis numérico de Llanque Maquera y otros, (1999)</i>	17
2.3.3.2. <i>Programas y softwares</i>	18
2.4. Procedimiento	18
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	20
3.1. Descripción del área del proyecto.....	20
3.1.1. <i>Ubicación y accesibilidad</i>	20
3.1.2. <i>Concesión minera</i>	21
3.1.3. <i>Fisiografía</i>	22
3.1.4. <i>Condiciones geológicas</i>	22
3.1.4.1. <i>Geología local</i>	22
3.1.4.2. <i>Geología regional</i>	23

3.1.4.3.	<i>Grupo Goyllarisquizga</i>	23
3.1.4.4.	<i>Formación chimú</i>	24
3.1.4.5.	<i>Mineralización</i>	24
3.2.	Características geométricas y geomecánicas del yacimiento de carbón de la mina Piñipata.	25
3.2.1.	<i>Geometría del yacimiento</i>	25
3.2.1.1.	<i>Forma</i>	26
3.2.1.2.	<i>Potencia</i>	27
3.2.1.3.	<i>Inclinación</i>	28
3.2.1.4.	<i>Distribución de la ley</i>	30
3.2.2.	<i>Características geomecánicas del yacimiento</i>	31
3.2.2.1.	<i>Resistencia de la matriz rocosa</i>	32
3.2.2.1.1	<i>Roca techo y roca piso</i>	32
3.2.2.1.2	<i>Estructura mineralizada</i>	34
3.2.2.2.	<i>Espaciamiento entre fracturas</i>	36
3.2.2.3.	<i>Resistencia de las discontinuidades</i>	39
3.3.	Elección del método de explotación Longwall Mining mediante el análisis numérico.....	41
3.4.	Diseño del método de explotación Longwall Mining.....	45
3.4.1.	<i>Preparación</i>	46
3.4.2.	<i>Equipos a utilizar</i>	47
3.4.3.	<i>Explotación</i>	47
3.4.4.	<i>Control del método</i>	48
3.4.5.	<i>Seguridad</i>	48
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		51
4.1.	Discusión.....	51
4.2.	Conclusiones.....	52
REFERENCIAS		53
ANEXOS		56

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Materiales, instrumentos y métodos de recolección de datos</i>	16
<i>Tabla 2 Rutas y accesos a la mina Piñipata</i>	20
<i>Tabla 3 Coordenadas UTM de la concesión en el sistema WGS 84</i>	22
<i>Tabla 4 Forma del yacimiento</i>	26
<i>Tabla 5 Espesor promedio del manto</i>	27
<i>Tabla 6 Potencia del manto</i>	27
<i>Tabla 7 Ángulo de inclinación del manto</i>	29
<i>Tabla 8 Inclinación del manto</i>	29
<i>Tabla 9 Características del carbón de Piñipata</i>	30
<i>Tabla 10 Distribución de leyes del manto</i>	31
<i>Tabla 11 Geometría y distribución de leyes del yacimiento de la mina Piñipata</i>	31
<i>Tabla 12 Análisis de comprensión triaxial de las rocas encajonantes</i>	33
<i>Tabla 13 Resistencia a la comprensión simple de la roca caja techo</i>	34
<i>Tabla 14 Resistencia a la comprensión simple de la roca caja piso</i>	34
<i>Tabla 15 Análisis de carga puntual de la roca mineralizada</i>	35
<i>Tabla 16 Resistencia a la comprensión simple de la roca mineralizada</i>	35
<i>Tabla 17 Número de discontinuidades de las estructuras rocosas.</i>	36
<i>Tabla 18 Espaciamiento entre facturas zona caja techo</i>	36
<i>Tabla 19 Espaciamiento entre facturas zona mineral</i>	36
<i>Tabla 20 Espaciamiento entre facturas zona caja piso</i>	37
<i>Tabla 21 Resistencia de las discontinuidades zona caja techo</i>	40
<i>Tabla 22 Resistencia de las discontinuidades zona caja piso</i>	40
<i>Tabla 23 Resistencia de las discontinuidades zona mineral</i>	40
<i>Tabla 24 Características geomecánicas del yacimiento de la mina Piñipata</i>	41
<i>Tabla 25 Asignación de valores a los métodos de explotación en función de la geometría y distribución de leyes</i>	42
<i>Tabla 26 Asignación de valores a los métodos de explotación en función a sus características geomecánicas-zona mineral</i>	42
<i>Tabla 27 Asignación de valores a los métodos de explotación en función a sus características geomecánicas-zona caja techo</i>	43
<i>Tabla 28 Asignación de valores a los métodos de explotación en función a sus características geomecánicas-zona caja piso</i>	43
<i>Tabla 29 Valoración total y selección del método de explotación</i>	44
<i>Tabla 30 Métodos de explotación de mayor a menor puntuación</i>	44

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Condiciones de explotación en el área de estudio</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. Mapa de ubicación del proyecto</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3. Evidencia del yacimiento de 0.9 y 2 metros de potencia.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 4. Forma del yacimiento.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 5. Toma de las medidas del espesor del manto.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 6. Toma de datos de la inclinación del manto.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Identificación y conteo de las discontinuidades en las estructuras rocosas.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 8. Evaluación de la resistencia de las discontinuidades en las estructuras rocosas.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9. Pick - Hammer.....</i>	<i>47</i>

RESUMEN

La presente investigación titulada “Propuesta Técnica de Aplicación del Método de Explotación Longwall Mining en la Mina Piñipata”, se realiza considerando el método inadecuado en la extracción del carbón tipo antracita; nuestra investigación nos permitió evaluar características geométricas y geomecánicas del yacimiento con el fin de determinar el método apropiado para su explotación, considerando el análisis de procedimiento numérico de selección propuesto por los autores del libro “Explotación Subterránea Métodos y Casos Prácticos”, el diseño técnico nos permitió determinar que este método es más operativo y seguro realizando una extracción adecuada del mineral. Permittiéndonos una extracción de 90 a 100 %, recuperándose de manera eficiente las reservas en comparación a otros métodos de explotación subterránea.

Palabras clave: (Método de explotación, carbón, Longwall Mining)

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Los minerales no metálicos en su mayoría son de uso industrial y desempeñan un rol primordial para el desarrollo de la industria, son sustancias minerales que se usan en procesos industriales, directamente o mediante una preparación adecuada. La pequeña minería en nuestro país desarrolla sus operaciones 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. En la actualidad la pequeña minería, en especial las que se dedican a la explotación de carbón en Cajamarca distrito de Bambamarca mina Piñipata desconocen los parámetros y características del yacimiento, métodos de explotación subterránea y sus criterios de aplicación, esta falta de conocimiento es por no contar con un asesoramiento técnico, esto les conlleva a una explotación desordenada, sin contar con un método de explotación adecuado para el desarrollo apropiado de sus operaciones, a esto hay que sumarle que el personal trabaja sin equipos de protección personal y en condiciones infrahumanas al no existir dirección técnica en la extracción del mineral. Ver Figura 1.



Figura 1. Condiciones de explotación en el área de estudio

Fuente: Elaborado por los autores.

Para Gago (1996) Ingeniero de Minas, considera que se deben de estudiar como parámetros fundamentales la geometría del yacimiento, la distribución de leyes, las resistencias de la roca y la estructura mineralizada, adicionalmente se tiene que considerar los costos de producción, la recuperación, las condiciones ambientales y la seguridad como parámetros para la selección numérica del método de explotación minera. Sugiere que los parámetros deben ser examinados con bastante rigurosidad

para efectos de evaluación, revisión y selección del método apropiado para la explotación.

Según Cabello (2008) las condiciones geológicas, geométricas e hidrogeológicas y el análisis geomecánico de la veta Piedad sirvieron como base para la selección técnica de los métodos aplicables para la explotación de la veta Piedad. Posteriormente estos métodos se evalúan bajo ciertas consideraciones económicas como: dilución, recuperación de reservas geológicas, valor del mineral y costo de producción. Con estas consideraciones se realiza la evaluación económica empleando los criterios del “VAN” y “TIR” con este análisis finalmente permitirá seleccionar el método más óptimo para la explotación de la veta Piedad.

Para Aquino y Pastor (2008) la aplicación del Método de Longwall Mining en al primer manto antracítico, en la Mina Magia Blanca, aumenta la productividad, reduce los costos operativos y aumenta la producción significativamente.

Aliaga (2009) concluye que el método de explotación de Longwall, en la mina de carbón Chimú ha ido incrementando la producción sucesivamente en comparación al método de cámaras y pilares, esto es gracias a la toma de datos, como presiones roca techo, presiones de roca piso, resistencia de los pilares de carbón y del mineral, durante cuatro años de operaciones mineras. El costo de minado y sostenimiento es menor en comparación con el método de cámaras y pilares.

Para Ramírez (2010) el cambio del método de explotación de la mina el Gigante, de corte y relleno ascendente a Longwall Mining. En el tajo piloto 658 se logró US\$ 83 260.71 más de utilidad, El valor presente neto fue de 361 440.56 mayor que el corte y relleno ascendente, esta diferencia es el resultado del mayor ritmo de producción

mensual (486 tms/mensual más), un menor tiempo de explotación y el costo de producción del método de corte y relleno ascendente era de 154.75 US\$/tms, con el método Longwall es 149.12 US\$/tms. Con el nuevo método se cumplió la producción de tajos de manera más óptima, mayor producción por cada bloque de mineral, es decir mejoraron los rendimientos, las eficiencias; se logró un mayor volumen de producción mensual, mejor rentabilidad ya que la explotación se da en un menor tiempo y a bajo costo.

De La Cruz (2014) demuestra que aplicando el método de Longwall Mining en 10 tajos de la veta San Vicente en Minera Poderosa existe un ahorro sustancial de S/ 47.16/m³ de mineral en comparación al método de corte y relleno ascendente. Los costos del método Longwall Mining está en un costo promedio de S/ 218.58/m³ de mineral y el de corte y relleno ascendente está en un promedio de S/ 265.74/m³ de mineral.

Para Bravo (2017) las operaciones con el método de explotación Longwall Mining son: rápidas, efectivas y de menor costo operativo además de brindar la seguridad para un desempeño seguro de los trabajadores, con respecto a la perforación y voladura en este método es controlado ya que se utiliza explosivo de baja potencia. El costo por m³ de mineral con el método Longwall es de 176.82 Soles en la minera Retamas Marsa.

Romero-Gélvez, Cortes-Aldana, y Franco-Sepúlveda (2015) consideraron que la selección del método extractivo es el mayor problema de decisión técnica. Para solucionar estos inconvenientes, este artículo propone el método de VIKOR. La metodología propuesta en este artículo se aplica en yacimiento de carbón. Finalmente

llegan a la conclusión que el método VIKOR (tajo largo, cámaras y pilares, cámaras por subniveles) forman un conjunto de alternativas de compromiso, por lo cual cualquiera de las tres alternativas planteadas anteriormente es sugerida para extraer el depósito mineral de carbón.

1.2. Formulación del problema

¿Es posible aplicar el método de explotación Longwall Mining en la mina Piñipata de acuerdo a los parámetros y características del yacimiento?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

Elaborar una propuesta técnica para la aplicación del método de explotación Longwall Mining en la mina Piñipata – Bambamarca.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Describir las características geológicas del área del proyecto.
- Evaluar las características geométricas y geomecánicas del yacimiento de carbón de la mina Piñipata.
- Determinar técnicamente que el método de explotación Longwall Mining es aplicable en el yacimiento de la mina Piñipata.
- Diseñar el método de explotación Longwall Mining para su aplicación en la mina Piñipata.

1.4. Hipótesis

El método de explotación Longwall Mining es aplicable en la mina Piñipata.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Población y muestra

2.1.1. Población.

Los paneles de explotación de la mina Piñipata.

2.1.2. Muestra.

2 paneles de explotación de la mina Piñipata.

2.2. Materiales, instrumentos y métodos de recolección de datos

En la presente investigación se utilizaron los siguientes métodos, instrumentos y materiales para la recolección de datos, ver Tabla 1.

Tabla 1

Materiales, instrumentos y métodos de recolección de datos

Métodos	Instrumentos	Materiales
Observación De campo	Guías de observación	Libreta de apuntes
	Fichas de observación	Formato de campo

Fuente: Elaborado por los autores.

2.3. Materiales, instrumentos y métodos del análisis de datos

2.3.1. Métodos.

El procesamiento de datos se ejecutó en forma manual y electrónica, luego del acopio realizado mediante observación en campo y en laboratorio cuyas respuestas fueron ordenados clasificados y cuantificados, esto se plasmó con la ayuda de hoja de cálculos que es algo trascendente en este tipo de investigación.

2.3.2. Materiales.

Se usaron los registros de la observación de campo y los resultados del análisis de laboratorio.

2.3.3. Instrumentos.

En la presente investigación para el procesamiento y su posterior análisis de datos se utilizó los siguientes instrumentos:

- Metodología de selección del método de explotación mediante el análisis numérico de Llanque Maquera y otros, (1999).
- Programas y software.

A continuación, se detalla cada uno de los instrumentos utilizados.

2.3.3.1. *Metodología de selección del método de explotación mediante el análisis numérico de Llanque Maquera y otros, (1999).*

Según Llanque Maquera, et al., (1999) La geometría del yacimiento se define a través de su forma general, potencia, inclinación, profundidad y distribución de leyes.

La geometría del yacimiento influye en la selección del método de explotación sustancialmente y queda caracterizada por los parámetros indicados en el Anexo n. ° 1.

El comportamiento geomecánico de los diferentes materiales depende básicamente de: la resistencia de la roca, el grado de fracturación del macizo rocoso y la resistencia de las discontinuidades. Los parámetros se detallan en el Anexo n. ° 2.

El procedimiento numérico de selección del método de explotación consiste en asignar a cada uno de estos, calificaciones individuales en función de las características y parámetros que presentan los yacimientos. En el Anexo n. ° 3, se dan las puntuaciones de cada uno de los métodos mineros atendiendo a la geometría del depósito y distribución espacial de las leyes. En el Anexo n. ° 4, se observa la puntuación, atendiendo a las características geomecánicas zona mineral, en los Anexos n. ° 5 y 6 se recogen igualmente esas puntuaciones, referidas a las propiedades geomecánicas de las masas rocas adyacentes del techo y del muro. Después de totalizar las puntuaciones, los métodos que presentan las mayores probabilidades de aplicación son los que tienen la mayor puntuación.

2.3.3.2. *Programas y softwares.*

Los programas y software que se utilizaron son los siguientes:

- Hojas de cálculo de Excel
- Geocatmin
- AutoCAD
- Sketchup

2.4. Procedimiento

- En primer lugar, se revisó bibliografía con respecto a la elección del método de explotación, posteriormente se recopiló la información necesaria.
- En la segunda etapa, se realizó una visita a campo para determinar los principales factores que intervienen en la elección del método de explotación,

de acuerdo al análisis numérico propuesto por (Llanque Maquera, et al., 1999), posteriormente se identificaron muestras para su análisis de carga puntal en el laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Privada del Norte. Ver Anexos n. ° 7 y 8.

- En la tercera etapa, se recopiló los resultados del análisis de las muestras a la comprensión triaxial en los laboratorios de mecánica de rocas de la Universidad Nacional de Ingeniería. Adjunto en anexo n. ° 9.
- En la cuarta etapa, con la información obtenida en campo y con los resultados obtenidos en los laboratorios ingresamos los valores en el método numérico establecido por Llanque Maquera, et al., (1999) con el empleo de hojas de cálculo de Excel.
- Finalmente se elaboró el diseño del método de explotación Longwall Mining mediante AutoCAD para el método de extracción del carbón en la mina Piñipata

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

3.1. Descripción del área del proyecto.

3.1.1. Ubicación y accesibilidad.

La mina Piñipata está ubicada en los caseríos del Naranjo y la Unión, jurisdicción de los distritos de Bambamarca y Chalamarca respectivamente, provincias de Hualgayoc y Chota región Cajamarca con una altitud que oscila entre los 2 000 y 2 300 m.s.n.m., está dentro de la concesión minera Alcones de Santa Rosa VI. En la Figura 2 se puede ver la ubicación del proyecto.

El proyecto se encuentra a 133 Km de la ciudad de Cajamarca para poder acceder al lugar del proyecto se puede realizar la siguiente ruta, la cual se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2
Rutas y accesos a la mina Piñipata

Ruta	Localidades	Km	Tipo de vía
1	Cajamarca - Hualgayoc	85	Asfaltada
	Hualgayoc – Bambamarca	25	Asfaltada
	Bambamarca – Naranjo	18	Trocha carrozable
	Naranjo – Proyecto	5	Trocha carrozable

Fuentes: Elaborado por los autores.

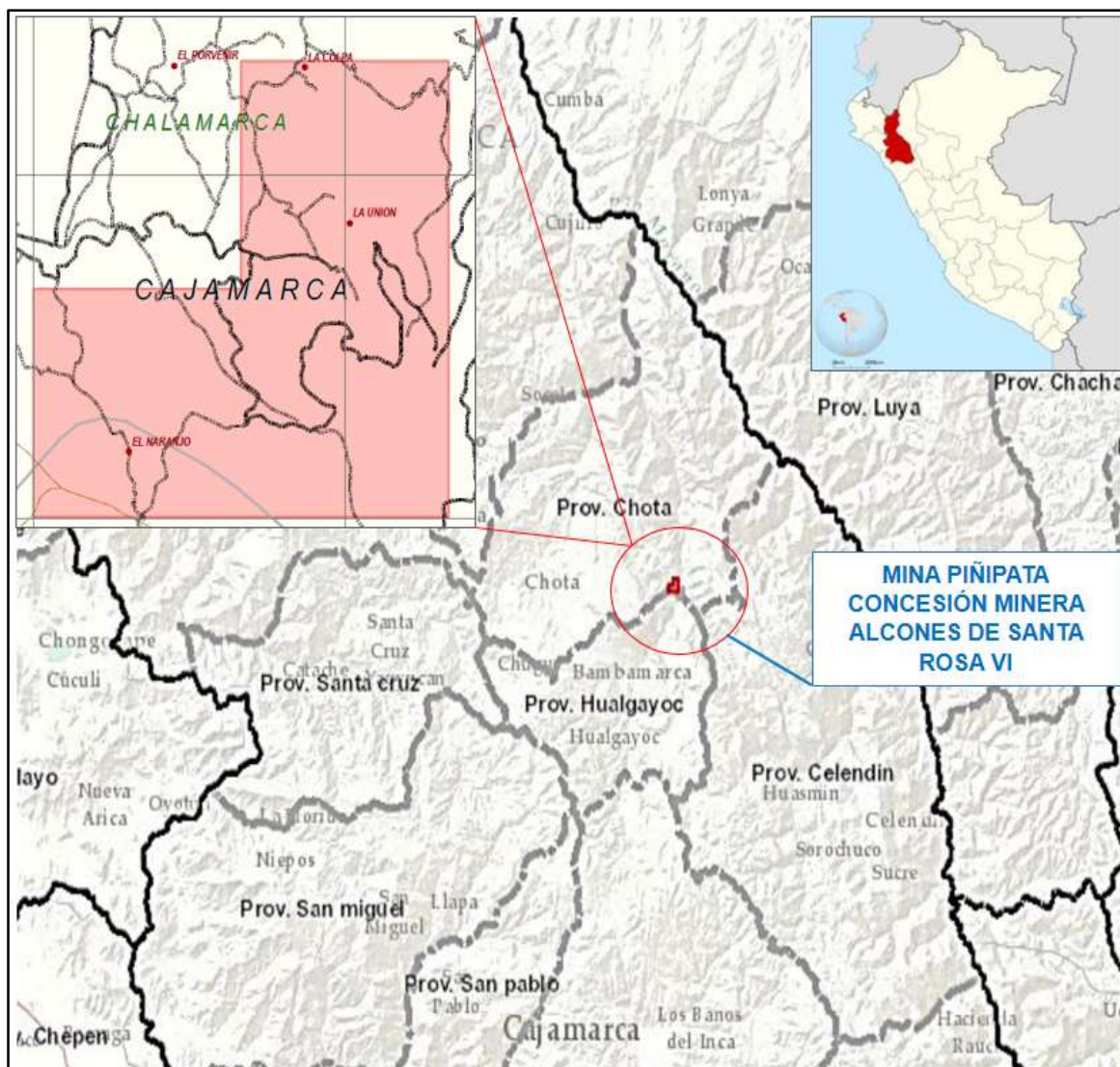


Figura 2. Mapa de ubicación del proyecto

Fuente: Elaborado por los autores.

3.1.2. Concesión minera.

Calera el Zasal E.I.R.L es el titular de la concesión minera “Alcones de Santa Rosa VI” de código 030016710 con una extensión de 3 cuadrículas de 100 hectáreas cada una. Cuyas coordenadas UTM en el sistema WGS 84 se puede ver en la Tabla 3, que pertenece a la zona 17, cuadrángulo geológico de Celendín – hoja 14g. Ver plano de concesiones. Anexo n. ° 10.

Tabla 3
Coordenadas UTM de la concesión en el sistema WGS 84

Vértices	Norte	Este
1	9 274 637,30	780 743,63
2	9 274 637,31	781 743.61
3	9 275 637,31	781 743,61
4	9 275 637,32	782 743,59
5	9 273 637,33	782 743,60
6	9 273 637,31	780 743,63

Fuentes: Ingemmet

3.1.3. Fisiografía.

El relieve topográfico de la zona en la cual está incluida el área de estudio correspondiente a una ladera del “Cerro Unión” por el lado este del mismo cerro, cuyas laderas son de pendiente accidentada cuya altitud oscila entre 2 000 m.s.n.m. a 2 300 m.s.n.m. constituidas por rocas pizarras en la cual se han observado labores mineras antiguas. El área donde se desarrollará 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 donde se desarrollará el proyecto son del orden que van desde colinas bajas, colinas moderadas, montaña alta hasta un acantilado en la parte alta. Ver plano topográfico anexo n. ° 11.

3.1.4. Condiciones geológicas.

3.1.4.1. Geología local.

En la zona de estudio, apreciamos el afloramiento de la Formación Chimú, compuesta por areniscas de grano fino a medio,

en contacto con depósitos aluviales y coluviales en varios sectores, el espesor de los mantos de carbón varía según la estratigrafía y topografía de la zona, pues van desde 0.9 m a 2 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, las labores se ubicarán en el flanco izquierdo, donde se encuentran los estratos.

3.1.4.2. Geología regional.

El área de estudio mina Piñipata que se encuentra en la concesión minera “Alcones de Santa Rosa VI”, dedicada a la explotación subterránea de carbón, está ubicado en una zona caracterizada por la presencia del grupo Gollayrisquizga el cual está constituido por estratos de areniscas cuarzosas bien clasificadas de grano medio a grueso, algunas capas son conglomerados. Presentan una coloración gris clara a blanca ligeramente amarillenta que por meteorización toman colores amarillentos, rojizos debidos al material ferruginoso que contiene. Además, en los alrededores existe presencia de las Formaciones Chimú, Santa, Cajamarca, Farrat e Inca.

3.1.4.3. Grupo Goyllarisquizga.

El grupo Goyllarisquizga y en su fase de cuenca ha sido diferenciado en las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat. En el primer caso, su afloramiento se extiende ampliamente por la región.

En el área estudiada su verdadera posición 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 consista 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.

3.1.4.4. Formación chimú.

Compuesta por rocas areniscas, cuarcitas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos en la parte superior. Constituye estructuras bien definidas, como estratificación cruzada, habiendo funcionado como roca competente que dio lugar a perfectos anticlinales y sinclinales. Este tipo de formación se puede observar al Sur de la ciudad, hacia ambos márgenes de la carretera que conduce a Pacasmayo.

Las condiciones geológicas se pueden ver en el plano geológico. Anexos n. ° 12.

3.1.4.5. Mineralización.

El área de estudio está conformada por un manto de carbón emplazado entre areniscas de grano medio a grueso. Según la génesis 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. A esta clasificación se le denomina antracitas y hulla respectivamente. La antracita contiene un porcentaje hasta de 87% de carbón, mientras que la hulla solo presenta un valor máximo de 77%. El manto presenta un rumbo NO y una variación de 0.90 a 2 metros de potencia como se ve en las Figuras 3, datos importantes que evidencian en el terreno para el correcto diseño de labores.

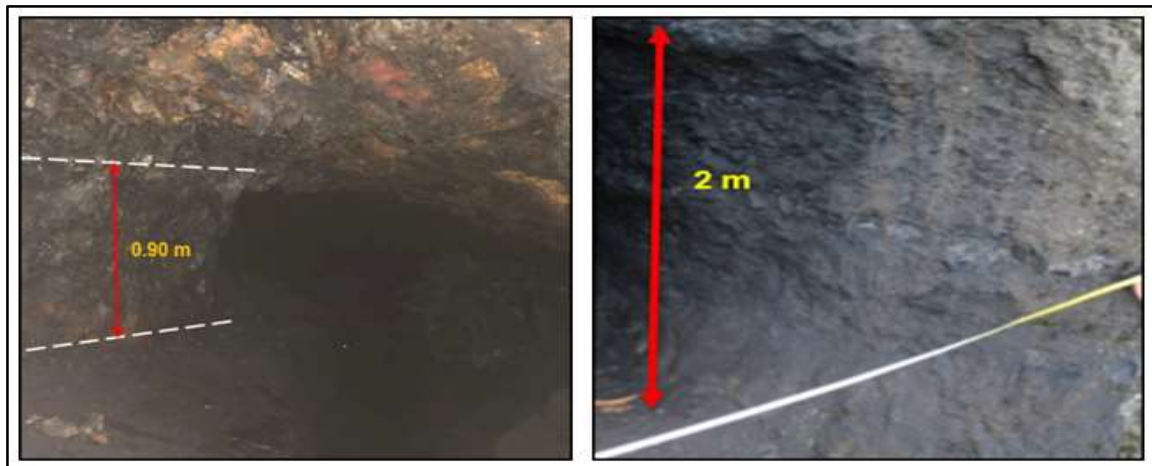


Figura 3. Evidencia del yacimiento de 0.9 y 2 metros de potencia.

Fuente: Elaborado por los autores.

3.2. Características geométricas y geomecánicas del yacimiento de carbón de la mina Piñipata.

3.2.1. Geometría del yacimiento.

Para determinar la geometría del yacimiento se utilizó los parámetros establecidos por Llanque Maquera, et al., (1999) los cuales se encuentran detallados en el anexo n.º 1.

3.2.1.1. Forma.

El yacimiento se presenta en tipo de manto, con presencia de carbón tipo antracita que varía sus medidas a distancias considerables y dos de ellas son mayor que la tercera, este manto se encuentra emplazado en rocas areniscas de grano medio a grueso. Como se puede ver en la Figura 4.

Tabla 4
Forma del yacimiento

Forma del yacimiento	Descripción
Equidimensional o masivo	Todas las dimensiones son similares en cualquier dirección.
Tabular	Dos de las dimensiones son mucho mayor que la tercera
Irregular	Las dimensiones varían a distancias muy pequeñas.

Fuente: Elaborado por los autores.

De acuerdo a la Tabla 4, se determinó que el manto de carbón de la mina Piñipata es de forma Tabular.

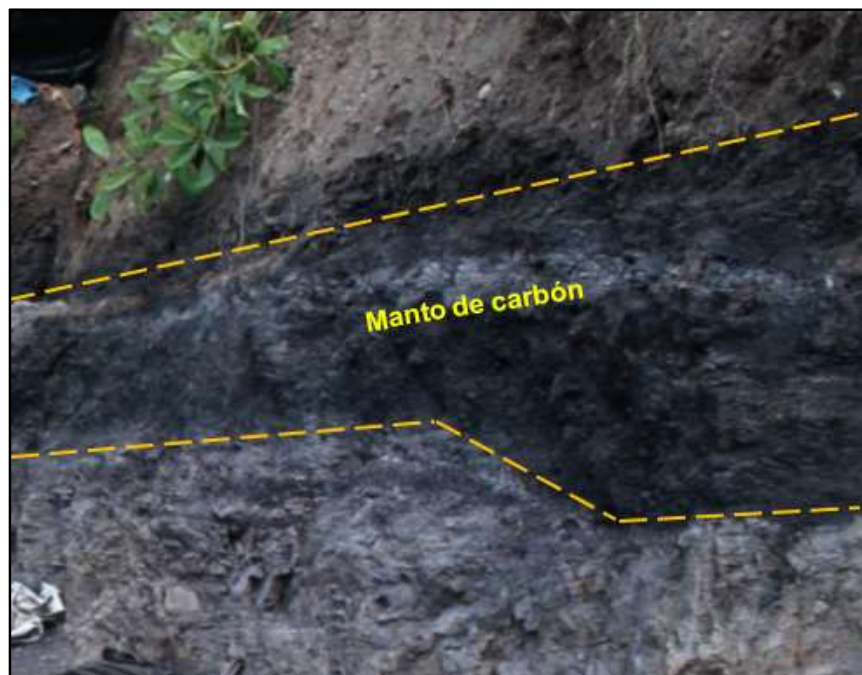


Figura 4. Forma del yacimiento.
Fuente: Elaborado por los autores.

3.2.1.2. *Potencia.*

Según los datos tomados en campo con respecto a la potencia del yacimiento en las zonas que presentan afloramiento, se aprecia variaciones de 0.90 a 2 metros de espesor, ver Tabla 5 tomando estas medidas como la mínima y máxima respectivamente.

Tabla 5
Espesor promedio del manto

Potencia de la mineralización	
Estación	Medida (m)
Primera estación	0.90
Segunda estación	1.65
Tercera estación	1.75
Cuarta estación	1.90
Quinta estación	2.00
Sexta estación	2.00
Potencia promedio	1.70

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 6
Potencia del manto

Potencia	Rango
Estrecha	< a 10 m
Intermedia	10 – 30 m
Potente	30 – 100 m
Muy potente	> a 100 m

Fuente: Elaborado por los autores.

De acuerdo a la Tabla 6, se estableció que el manto tiene una potencia estrecha.



Figura 5. Toma de las medidas del espesor del manto.

Fuente: Elaborado por los autores.

3.2.1.3. *Inclinación*

Habiendo visitado la zona de estudio se ha determinado que el manto de carbón presenta un rumbo de noroeste y un buzamiento suroeste. Al respecto se han observado zonas donde la inclinación presentaba variaciones ver Tabla 7 y la Figura 6.

Tabla 7
Ángulo de inclinación del manto

Punto	Buzamiento (°)
1	14° SW
2	16° SW
3	17° SW
4	18° SW
5	16° SW
6	15° SW
Promedio	16° SW

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 8
Inclinación del manto

Inclinación	Rango
Echado	< a 20°
Intermedio	20 – 55°
Inclinado	> a 55°

Fuente: Elaborado por los autores.

De acuerdo a la Tabla 8, se determinó que el manto tiene inclinación echado.



Figura 6. Toma de datos de la inclinación del manto.

Fuente: Elaborado por los autores.

3.2.1.4. Distribución de la ley.

Se observa que la estructura mineralizada se mantiene constante en cualquier punto, el contenido de carbón fijo y otros componentes se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9
Características del carbón de Piñipata

Características del carbón de Piñipata	
Tipo de carbón	Antracita
Carbón fijo	74 – 85 %
Contenido de cenizas	7 – 12 %
Contenido de azufre	0.6 – 1.2 %
Contenido de volátiles	4 – 8 %
Humedad	4.0 – 4.5 %
Poder calorífico	6 400 – 7 600 Kcal/kg
Densidad	1.5 T/m ³

Fuente: Gastañaga (1979) citado por Carrascal Miranda et al. (2000).

Tabla 10
Distribución de leyes del manto

Distribución de leyes	
Uniforme	La ley del yacimiento se mantiene prácticamente constante en cualquier punto del yacimiento mineralizado.
Graduado o diseminado	Las leyes tienen una distribución zonal, identificándose cambios graduales de un punto a otro.
Errático	No existe una relación entre las leyes, ya que estas cambian radicalmente de un punto a otro en distancias muy pequeñas.

Fuente: Elaborado por los autores.

De acuerdo a la Tabla 10, se estipuló que la distribución de leyes del manto es uniforme.

En la Tabla 11, se muestra el resumen de la geometría del yacimiento de la mina Piñipata, de acuerdo a los parámetros de Llanque Maquera, et al., (1999).

Tabla 11
Geometría y distribución de leyes del yacimiento de la mina Piñipata

Geometría del yacimiento y distribución de leyes	
Forma	Tabular
Potencia del mineral	Estrecha
Inclinación	Echado
Distribución de leyes	Uniforme

Fuente: Elaborado por los autores.

3.2.2. Características geomecánicas del yacimiento.

Las características geomecánicas del yacimiento se determinó de acuerdo a los parámetros del Anexo n. ° 2.

3.2.2.1. Resistencia de la matriz rocosa.

3.2.2.1.1 Roca techo y roca piso.

La resistencia a la comprensión simple de las rocas encajonantes tipo arenisca se determinó mediante ensayos de comprensión triaxial los cuales fueron solicitados por Calera el Zasal al laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Nacional de Ingeniería los mismos que se realizaron según la norma ASTM D2664, dando los siguientes resultados. Ver Tabla 12, y el anexo n. ° 9.

Tabla 12
Análisis de comprensión triaxial de las rocas encajonantes

Muestra	Coordenadas	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Confin. σ_3 (MPa)	Esfuerzo rotura σ_1 (MPa)	Resisten. Compres. Uniaxial (MPa)	Constante “mi”	Cohesión (MPa)	Ang. de Fricción Interno (°)
	782638E	4.43	9.06	2	50.94				
M – 1	9275348N	4.43	8.84	4	59.80	36.21	13.92	8.37	43.79
	Caja – piso	4.43	9.04	6	72.91				
	782638E	4.42	8.96	2	102.43				
M – 2	9275348N	4.42	9.09	4	122.10	84.27	18.83	15.75	50.66
	Caja – techo	4.42	8.91	6	133.74				

Fuente: Laboratorio de mecánica de rocas Universidad Nacional de Ingeniería, 2017.

Tabla 13
Resistencia a la compresión simple de la roca caja techo

Resistencia a la Compresión Uniaxial – roca techo	
84.27 MPa	
Parámetro	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Pequeña	< a 8
Media	8 – 15
Alta	> a 15

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 14
Resistencia a la compresión simple de la roca caja piso

Resistencia a la Compresión Uniaxial – roca piso	
36.21 MPa	
Parámetro	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Pequeña	< a 8
Media	8 – 15
Alta	> a 15

Fuente: Elaborado por los autores.

De conformidad con las Tablas 12, 13 y 14, se determinó la resistencia a la compresión simple de las rocas caja piso y caja techo respectivamente.

3.2.2.1.2 *Estructura mineralizada.*

Para determinar la resistencia a la compresión simple de la estructura mineralizada se realizó ensayos de carga puntual en el laboratorio de mecánica de rocas de la

Universidad Privada del Norte a solicitados de los
investigadores.

Obteniendo los siguientes resultados ver la Tabla 15.

Tabla 15
Análisis de carga puntual de la roca mineralizada.

Muestra	Tipo de roca	Medida	Is (MPa)	Promedio de Is (MPa)	UCS (MPa)
M1		Irregular	0.23		
M2	Antracita	Irregular	0.28	0.26	5 – 25
M3		Irregular	0.26		

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 16
Resistencia a la comprensión simple de la roca mineralizada

Resistencia a la Compresión Uniaxial – zona mineral	
5 MPa	
Parámetro	Resistencia a la comprensión simple (MPa)
Pequeña	< a 8
Media	8 – 15
Alta	> a 15

Fuente: Elaborado por los autores.

De acuerdo a la Tabla 16, se determinó la resistencia a la comprensión simple de la roca mineralizada.

3.2.2.2. *Espaciamiento entre fracturas.*

Primero se delimito un área de 1 m² en cada estructura para luego proceder con el conteo de las discontinuidades existentes en el área delimitada. Ver Imagen 7

Se obtuvo los siguientes resultados ver Tabla 17.

Tabla 17
Número de discontinuidades de las estructuras rocosas.

Estructura	Fracturas/m
Caja techo	11
Manto de carbón	20
Caja piso	5

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 18
Espaciamiento entre facturas zona caja techo

	Fracturas/m	RDD (%)
Muy pequeño	>16	0 – 20
Pequeño	10 - 16	20 – 40
Grande	3 - 6	40 – 70
Muy grande	3	70 – 100

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 19
Espaciamiento entre facturas zona mineral

	Fracturas/m	RDD (%)
Muy pequeño	>16	0 – 20
Pequeño	10 - 16	20 – 40
Grande	3 - 6	40 – 70
Muy grande	3	70 – 100

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 20
Espaciamiento entre fracturas zona caja piso

	Fracturas/m	RDD (%)
Muy pequeño	>16	0 – 20
Pequeño	10 - 16	20 – 40
Grande	3 - 6	40 – 70
Muy grande	3	70 – 100

Fuente: Elaborado por los autores.

De conformidad con las Tablas 18, 19 y 20, se estipuló el espaciamiento de las fracturas de las zonas caja techo, caja piso y zona mineral.

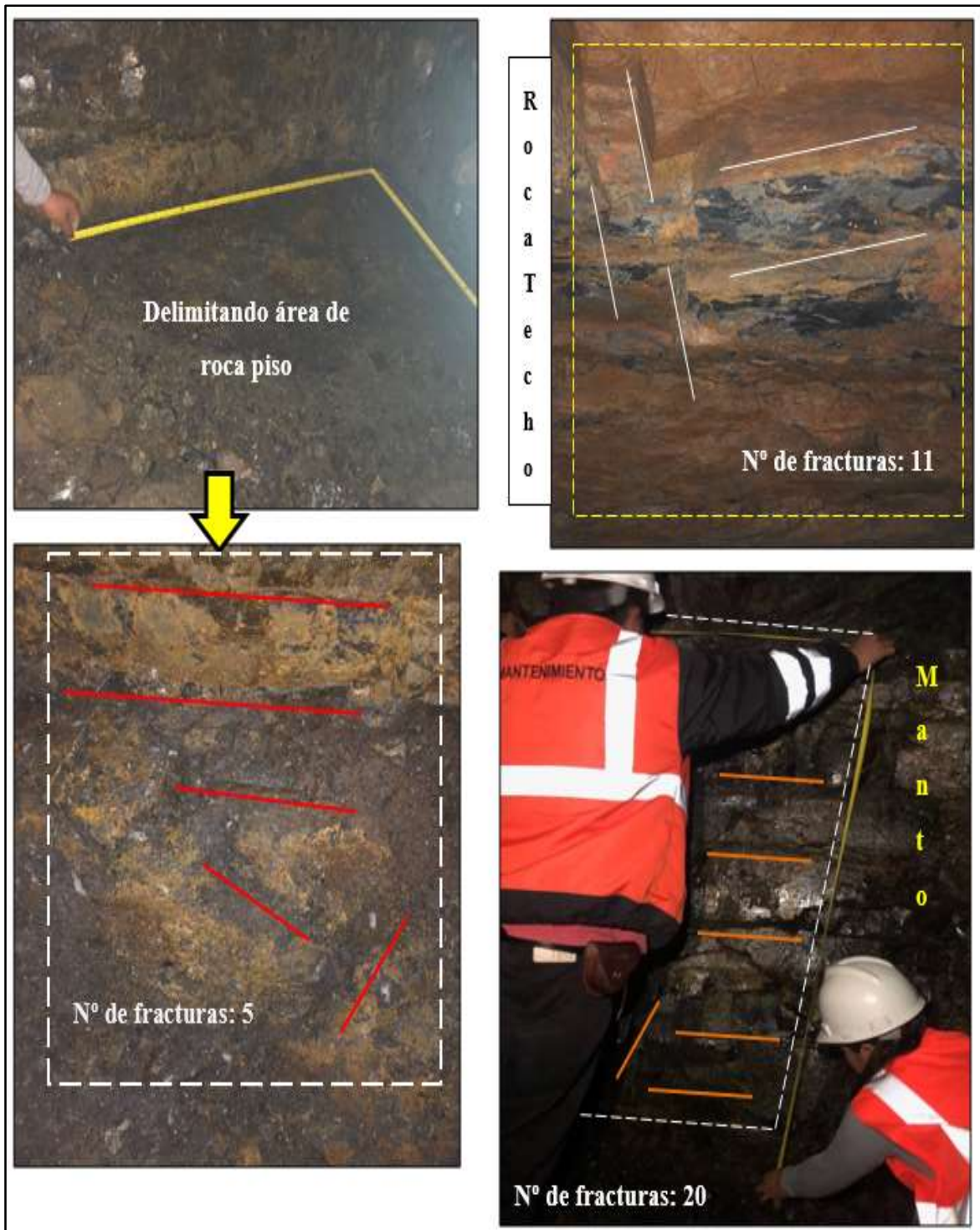


Figura 7. Identificación y conteo de las discontinuidades en las estructuras rocosas.

Fuente: Elaborado por los autores.

3.2.2.3. Resistencia de las discontinuidades.

La evaluación de este parámetro se realizó en el campo in situ, y los resultados obtenidos se muestran en la Imagen 8.



Figura 8. Evaluación de la resistencia de las discontinuidades en las estructuras rocosas.

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 21
Resistencia de las discontinuidades zona caja techo

Resistencia de las discontinuidades – caja techo	
Pequeña	Discontinuidades limpias con una superficie suave o con material de relleno blando.
Media	Discontinuidades limpias con una superficie rugosa.
Grande	Discontinuidades rellenas con un material de resistencia igual o mayor que roca intacta.

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 22
Resistencia de las discontinuidades zona caja piso

Resistencia de las discontinuidades – caja piso	
Pequeña	Discontinuidades limpias con una superficie suave o con material de relleno blando.
Media	Discontinuidades limpias con una superficie rugosa.
Grande	Discontinuidades rellenas con un material de resistencia igual o mayor que roca intacta.

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 23
Resistencia de las discontinuidades zona mineral

Resistencia de las discontinuidades zona mineral	
Pequeña	Discontinuidades limpias con una superficie suave o con material de relleno blando.
Media	Discontinuidades limpias con una superficie rugosa.
Grande	Discontinuidades rellenas con un material de resistencia igual o mayor que roca intacta.

Fuente: Elaborado por los autores.

De conformidad con las Tablas 21, 22 y 23 se determinó la resistencia de las discontinuidades de las zonas caja techo, caja piso y zona mineral respectivamente.

En la Tabla 24, se muestra en resumen las características geomecánicas del yacimiento de la mina Piñipata.

Tabla 24
Características geomecánicas del yacimiento de la mina Piñipata

Estructura	Características geomecánicas			
	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Espaciamiento entre fracturas	RQD (%)	Resistencia de las discontinuidades
Caja techo	Alta	Pequeño	20 – 40	Pequeña
Manto	Pequeña	Muy pequeño	0 – 20	Pequeña
Caja piso	Alta	Grande	40 – 70	Media

Fuente: Elaborado por los autores.

3.3. Elección del método de explotación Longwall Mining mediante el análisis numérico

Para la elección del método de explotación se utilizó los Anexos n.º 3, 4, 5, y 6, estas tablas propuestas por Llanque Maquera, et al., (1999), establece que a cada método de explotación se le asigna un valor de acuerdo a la geometría y características geomecánicas del yacimiento.

En este contexto se inició el proceso de selección de los métodos de explotación en función a las condiciones naturales promedio que presenta el manto y su entorno que se encuentra detallado en las Tablas 11 y 24.

En la Tabla 25, se detalla la asignación de valores a los métodos de explotación en función de la geometría y distribución de leyes.

En las Tablas 26, 27 y 28 se detallan igualmente la asignación de valores, pero referidas a las propiedades geomecánicas del mineral, de caja techo y caja piso.

Tabla 25

Asignación de valores a los métodos de explotación en función de la geometría y distribución de leyes

Geometría y distribución de leyes	Parámetros	Cielo abierto	Hundimiento por bloques	Cámaras por subnivel	Hundimiento por subniveles	Tajeo largo	Cámaras y pilares	Cámaras almacén	Corte y relleno	Entibación con marcos
Forma del yacimiento	Tabular	2	2	2	4	0	4	2	4	2
Potencia del mineral	Estrecho	2	-49	1	-49	4	4	1	4	4
Inclinación	Echado	3	3	2	1	4	4	2	0	2
Distribución de leyes	Uniforme	3	4	3	4	4	3	3	3	3
TOTAL		10	-40	8	-40	12	15	8	11	11

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 26

Asignación de valores a los métodos de explotación en función a sus características geomecánicas-zona mineral

Características geomecánicas zona mineral	Parámetros	Cielo abierto	Hundimiento por bloques	Cámaras por subnivel	Hundimiento por subniveles	Tajeo largo	Cámaras y pilares	Cámaras almacén	Corte y relleno	Entibación con marcos
Resistencia de la rocas	Pequeña	3	4	-49	0	4	0	1	3	4
Espaciamiento entre fracturas	Muy pequeña	2	4	0	0	4	0	0	3	4
Resistencia de las discontinuidades	Pequeña	2	4	0	0	4	0	0	3	4
TOTAL		7	12	-49	0	12	0	1	9	12

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 27

Asignación de valores a los métodos de explotación en función a sus características geomecánicas-zona caja techo

Características geomecánicas zona caja techo	Parámetros	Cielo abierto	Hundimiento por bloques	Cámaras por subnivel	Hundimiento por subniveles	Tajeo largo	Cámaras y pilares	Cámaras almacén	Corte y relleno	Entibación con marcos
Resistencia de la rocas	Alta	4	1	4	1	0	4	1	2	2
Espaciamiento entre fracturas	Pequeño	3	4	0	4	4	1	4	3	3
Resistencia de las discontinuidades	Pequeña	2	4	0	4	4	0	4	4	4
TOTAL		9	9	4	9	8	5	9	9	9

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 28

Asignación de valores a los métodos de explotación en función a sus características geomecánicas-zona caja piso

Características geomecánicas zona caja piso	Parámetros	Cielo abierto	Hundimiento por bloques	Cámaras por subnivel	Hundimiento por subniveles	Tajeo largo	Cámaras y pilares	Cámaras almacén	Corte y relleno	Entibación con marcos
Resistencia de la rocas	Alta	4	3	4	4	3	4	3	2	2
Espaciamiento entre fracturas	Grande	4	3	2	3	4	3	3	2	2
Resistencia de las discontinuidades	Media	3	3	1	2	3	3	2	4	4
TOTAL		11	9	7	9	10	10	8	8	8

Fuente: Elaborado por los autores.


En la Tabla 29, se recogió el total de las puntuaciones de cada uno del método de explotación.

Tabla 29
Valoración total y selección del método de explotación

Método de Explotación	Geometría y distribución de leyes	Características geomecánicas de las rocas			Total
		Mineral	Techo	Piso	
Cielo abierto	10	7	9	11	37
Hundimiento por bloques	-40	12	9	9	-10
Cámaras por subnivel	8	-49	4	7	-30
Hundimiento por subniveles	-40	0	9	9	-22
Tajeo largo	12	12	8	10	42
Cámaras y pilares	15	0	5	10	30
Cámaras almacén	8	1	9	8	26
Corte y relleno	11	9	9	8	37
Entibación con marcos	11	12	9	8	40

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 30
Métodos de explotación de mayor a menor puntuación

Método de Explotación	Geometría y distribución de leyes	Características geomecánicas de las rocas			Total	
		Mineral	Techo	Piso		
Tajeo largo	12	12	8	10	42	1
Entibación con marcos	11	12	9	8	40	2
Corte y relleno	11	9	9	8	37	3
Cielo abierto	10	7	9	11	37	4
Cámaras y pilares	15	0	5	10	30	5
Cámaras almacén	8	1	9	8	26	6
Hundimiento por bloques	-40	12	9	9	-10	7
Hundimiento por subniveles	-40	0	9	9	-22	8
Cámaras por subnivel	8	-49	4	7	-30	9

Fuente: Elaborado por los autores.

De acuerdo a la Tabla 30, los métodos que obtuvieron mayor puntaje son el método “Tajeo largo o Longwall Mining”, “Entibación con marcos”, lo que implica que se debe utilizar en el ese orden para la explotación del yacimiento.

3.4. Diseño del método de explotación Longwall Mining

El método de minado LONGWALL MINING se aplica en mantos con ángulos de buzamiento de 0 - 20 grados. En este método se puede usar fajas transportadoras, palas cavo con llantas, scoops, etc. La característica principal es que los cortes son a todo lo largo de los paneles previamente diseñados, dejando al descubierto una pared larga, de aquí su nombre.

En el caso de la Mina Piñipata, se está tomando en cuenta para el diseño lo siguiente:

- a. Se iniciará con la construcción de una cortada de 7' x 8' de sección y cunetas de 0.20 x 0.20 m, la misma que nos permitirá interceptar el manto de carbón.
- b. Una vez interceptado el manto, se construirán galerías conservando la misma sección de la cortada hacia ambos lados, cuya función es la extracción del mineral, usando línea decauville cuya trocha es 500 mm.
- c. En las galerías desarrolladas se construirán chimeneas a cada 100 metros con una sección de 1.5 m x la potencia del manto, una vez desarrolladas las chimeneas a partir de estas realizaremos los subniveles con una sección de 1.2 m de ancho x la potencia del manto
- d. Cada panel estará limitado por los niveles de extracción y las chimeneas de ventilación. Con una sección promedio de 80 m. por 100 m. entre chimeneas, con ventanas intermedias a 50 m.

- e. La dirección de acarreo de los paneles será del nivel superior a inferior, con la finalidad de darle mayor velocidad a la explotación.
- f. La dirección de avance de cada panel será entre chimenea y chimenea, a todo lo largo de la pared.
- g. Con la finalidad de mantener los niveles de extracción y las chimeneas de ventilación, se deja pilares artificiales de 2.4 m. a cada lado de las chimeneas reforzados con encribados y puentes de 10.0 metros en ambos niveles.
- h. En los niveles superior e inferior se construirán ventanas a cada 50 metros, con la finalidad de darle ventilación y mayor velocidad de explotación al panel; en estas ventanas se construyen tolvas o buzones.

3.4.1. Preparación.

- a. Se iniciará con la construcción de un sub nivel paralelo a la galería principal, dejando un pilar natural de 10 metros en ambos lados.
- b. Construcción del acceso al panel, dejando un pilar artificial de 2.4
- c. metros hacia la chimenea.
- d. El sostenimiento será con puntales en línea y espaciados a cada 1.2 metros los puntales serán redondos de 7” a 10” de diámetro, con plantilla de madera en el techo de 2”X8”X24”. En el caso de que el terreno esté fracturado y suelto se colocará cuadros y/o encribados.
- e. Los cortes se efectuarán con picadoras (Pick Hammer)
- f. Se tendrá especial cuidado en el alineamiento de los puntales y la altura de corte, para asegurar un acarreo óptimo.

3.4.2. Equipos a utilizar

- a. Equipos de perforación en estéril: máquina perforadora Jack-legg
- b. Arranque o rotura del carbón: martillo neumático – Pick-hammer



Figura 9. Pick - Hammer.

Fuentes: (Maurtua, 2012)

- c. Equipos de carguío y limpieza: lampas tipo carboneras y carretillas.
- d. Equipo de extracción: locomotora accionado por batería Carros mineros tipo U-32 balancín, capacidad del carro minero 1TM.

3.4.3. Explotación.

- a. Se inicia separando proporcionalmente y gradualmente cuatro frentes de corte para dar caras libres, los mismos que están espaciados a cada 25.0 m. dependiendo del ancho del panel. El avance de la primera rebanada tendrá un ancho de 1.2 m. Los cuatro picadores podrán accionar libremente a cada lado. Previo a los cortes el supervisor pintará la zona de carbón y la zona de pizarras.

- b. La estrategia estará en llevar un corte lo más alineado posible, para lo cual los picadores estarán controlando su avance en base a medida, siendo responsabilidad de los supervisores su alineamiento.
- c. El carbón roto será palaneado a la carretilla que trasladará el material al buzón o tolva de transferencia. Este palaneado lo ejecutan el picador y ayudante.
- d. La rotura y acarreo del desmonte se ejecuta dentro del panel, el lugar asignado para depositar el desmonte son los lugares que están quedando libres después de los cortes largos.
- e. La cuadrilla de sostenimiento colocará puntales en línea pegados a la nueva pared descubierta. En caso de presentarse zonas bien inestables se colocará cribings o cuadros de madera para soportar las presiones de la caja techo.

3.4.4. Control del método.

- a. Un estricto control al alineamiento de los cortes de avance en los paneles.
- b. El control del alineamiento a cordel de los puntales en línea, ya que estos disiparán en forma proporcional los esfuerzos por las aberturas realizadas.
- c. Para tener un avance alineado, se marcará con pintura las franjas que se extraerá a lo largo de la pared expuesta.

3.4.5. Seguridad.

- a. Los paneles ofrecen un área abierta para una eficiente ventilación, a pesar de la cantidad de polvo que se generará por palaneo y picado.

- b. El sostenimiento del área abierta está fuertemente controlado a cada instante. Los puntales en línea soportan de manera uniforme los esfuerzos por metro cuadrado.
- c. Las áreas que van quedando abiertas se irán rellorando con desmonte y abandonando paulatinamente, para lo cual se señalizará prohibiendo el ingreso a estas zonas.
- d. Tomando en cuenta la recomendación de la W. V. U. (West Virginia University), de monitorear 07 parámetros, se establecerá tomar datos a cada 20 metros., siguiendo un alineamiento de los puntales en línea. Estos parámetros son:
 - ✓ Metano
 - ✓ Monóxido de Carbono
 - ✓ Oxígeno
 - ✓ Temperatura
 - ✓ Humedad relativa
 - ✓ Velocidad del aire
 - ✓ Presión atmosférica
- e. Es posible instalar una red de comunicación en interior mina, así como iluminación.
- f. La capacitación constante del personal de operaciones asegurará una caída de índices de severidad y frecuencia de accidentes.
- g. Antes de iniciar las operaciones, se impartirá instrucción teórica y práctica a todo el personal sin excepción. Esta preparación del personal deberá

concluir. con el aspecto de seguridad dándole la prioridad que realmente amerita.

Para mayor de talles ver los anexos n. ° 13, 14, 15, 16 y 17

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En la investigación se demostró que las características geométricas y geomecánicas del yacimiento de la mina Piñipata (Tablas 11 y 24). Sirvieron como base para la selección del método de explotación aplicable en la extracción de carbón a través del análisis del procedimiento numérico de selección. Esto podemos reforzar con el aporte de Gago (1996), quien expresa que la geometría del yacimiento, la distribución de leyes, las resistencias de la roca y la estructura mineralizada se deben estudiar como principales parámetros para la selección numérica del método de explotación minera. Por su parte Cabello (2008) menciona que las condiciones geológicas, geométricas e hidrogeológicas y el análisis geomecánico de la veta Piedad fueron usados como base para la selección técnica de los métodos aplicables para la explotación de la veta Piedad. Posteriormente estos métodos se evalúan bajo ciertas consideraciones económicas como: dilución, recuperación de reservas geológicas, valor del mineral y costo de producción. Con estas consideraciones se realiza la evaluación económica empleando los criterios del “VAN” y “TIR” con este análisis finalmente permitirá seleccionar el método más óptimo para la explotación de la veta Piedad. Esto implica que se debe de realizar la evaluación económica del método seleccionalo Long wall mining para la explotación del manto de carbón de la zona de Piñipata.

4.2. Conclusiones

De la evaluación geométrica según la metodología de Llanque Maquera, et al., (1999) se concluye que el yacimiento de la mina Piñipata es de tipo manto, tiene forma tabular, potencia estrecha, inclinación echado o tumbado y una distribución de leyes uniforme.

De la estimación geomecánica según la metodología de Llanque Maquera, et al., (1999) se concluye que la resistencia a la compresión simple del mineral y las paredes adyacentes (caja techo y caja piso) es pequeña, alta y alta respectivamente; El espaciamiento entre fracturas es muy pequeño, pequeño y grande y la resistencia de las discontinuidades es pequeña, pequeña y media.

De acuerdo a la geometría del manto y sus características geomecánicas del mineral y las paredes adyacentes (caja techo y caja piso) se determinó que el método de explotación Long wall mining o tajeo largo es técnicamente aplicable para la explotación del manto de carbón de la mina Piñipata.

El diseño del método de explotación Long wall mining para la extracción del mineral del manto de la mina Piñipata es el método que recomendamos para su aplicación y su implementación de acuerdo a los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- Aquino , R., & Pastor, I. (2008). *Aplicación del método Short Wall Mining, en el primer manto antracítico, en la mina Magia Blanca de la empresa consorcio minero Alto Chicama*. Tesis de Grado, Trujillo, Perú.
- Cabello, C. (2008). *Selección del método de explotación para la veta Piedad en la Mina Catalina Huanca, Ayacucho*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/2144/Cabello_cn.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carrascal Miranda, R., Matos Ávalos, C., & Silva Campos, O. (2000). *Carbón en el Perú*. Boletín N° 7 Serie B: Geología Económica, INGEMMET, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú.
- Crawford, J., & Hustrulid, W. (1979). *Open Pit Mine Planing and Design*. New York: AIME American Institute of Mining, Metalúrgical, and Petroleum Enginners.
- De La Cruz, A. (2014). *Optimización económica aplicando el método de explotación longwall mining frente al método corte y relleno ascendente en CIA minera Poderosa S.A., Unidad Santa María*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3178/De%20La%20Cruz%20Alanya.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Elard, F., & León, D. (2006). La importancia del carbón mineral en el desarrollo. *UNMSM Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 9(18), 91-97. Obtenido de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/579/469>

- Estoces, B. (1963). *Elección y crítica de los métodos de explotación en minería*. Barcelona: Omega.
- Gago, O. (1996). Selección numérica de los métodos de explotación.
- Geotécnica, I. (2003). *Guías Geotécnicas para una Transición desde Rajo Abierto a Minería Subterránea - Caracterización Geotécnica*. La Serena , Chile: Primer Taller Geotécnico Interdivisional organizado por División Chuquicamata de Codelco.
- Iraizoz Fernández, J. M. (1987). *Introducción a la mecánica de rocas y fortificación de excavaciones subterráneas*. Serv. Public. E.U.P. Almadén.
- Llanque Maquera, O. E., Navarro Torres, V. F., Durant Broden, J. G., Coíla Choque, Y. A., Calderon Mendoza, R. G., Tapia Valencia, H. A., . . . Camac Torres, E. A. (1999). *Explotación Subterránea - métodos y casos prácticos* (Primera ed.). (O. E. Llanque Maquera, & V. F. Navarro Torres, Edits.) Puno, Perú: Perú Offset Editores.
- Luna , H. (2011). *Minería subterránea y superficial y beneficio de minerales en el Perú*. Ministerio de Energia y Minas, Dirección de promoción minera, Lima. Perú.
- Magallanes Chavesta, C. A. (2011). *Aplicación del método de explotación Longwall en minería aurífera Retamas S.A*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgia , Lima. Perú.
- Ortiz, J. (2015). *Apuntes de Curso de Explotacion De Minas*. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas, Chile.
- Patiño, E. (2002). *Sistema de información para planeamiento de minera*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- PROESMIN. (s.f.). *Manual de Minería*. Obtenido de <http://proesmin.com/main/es:>
<http://www.proesmin.com/main/es/content/descargas-0>

- Ramírez, G. J. (2010). *Aplicación del método de explotación longwall en vetas auríferas angostas en la zona de patrick - Marza*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1669/1/ramirez_gj.pdf
- Reyes, B. (2005). *Métodos de Explotación*. Universidad de Santiago de Chile, Departamento de Ingeniería de Minas, Chile.
- Rojas Delgado, M. (2008). Perspectivas de procesamiento y uso del carbón mineral peruano. *Ingeniería Industrial - Ulima*(26), 231-250. doi:<http://dx.doi.org/10.26439/ing.ind2008.n026.642>
- Romero-Gélvez, J., Cortes-Aldana, F., & Franco-Sepúlveda, G. (2015). Soluciones de compromiso en la selección del método extractivo minero – caso de estudio en minería de carbón colombiana. *Dyna*, 128-136. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v82n191/v82n191a16.pdf>
- Ruiz Rodriguez, A. (2 de Octubre de 2014). *Método de "Tajo largo". (Longwall Mining)*. Obtenido de Ingeniería y arquitectura: <http://inarquitaru.blogspot.com/2014/10/metodo-de-largo-longwall-mining.html>

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Tabla de los parámetros de la caracterización geométrica del yacimiento y distribución de leyes.

1. FORMA

- **Equidimensional o masivo:** Todas las dimensiones son similares en cualquier dirección.
- **Tabular:** Dos de las dimensiones son mucho mayor que la tercera.
- **Irregular:** Las dimensiones varían a distancias muy pequeñas.

2. POTENCIA DEL YACIMIENTO

- Estrecha : < a 10 m
- Intermedia : 10 – 30 m
- Potente : 30 – 100 m
- Muy potente : > a 100 m

3. INCLINACIÓN

- Echado : < a 20°
- Intermedio : 20 – 55°
- Inclinado : > a 55°

4. PROFUNDIDAD DESDE LA SUPERFICIE

- Pequeña : < a 150 m
- Intermedia : 150 – 600 m
- Alta : > a 600 m

5. DISTRIBUCIÓN DE LEYES

- **Uniforme:** La ley del yacimiento se mantiene prácticamente constante en cualquier punto del yacimiento mineralizado.
- **Graduado o diseminado:** Las leyes tienen una distribución zonal, identificándose cambios graduales de un punto a otro.
- **Errático:** No existe una relación entre las leyes, ya que estas cambian radicalmente de un punto a otro en distancias muy pequeñas.

Fuente: Llanque Maquera, et al., (1999, pág. 33)

ANEXO n.º 2. Tabla de los parámetros de evaluación geomecánica.

1. RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA

(resistencia a compresión simple

(Mpa)/presión del recubrimiento (Mpa)

- Pequeña : < a 8
- Mediana : 8 – 15
- Alta : > a 15

2. ESPACIAMIENTO ENTRE FRACTURAS

	Fracturas/m	RQD (%)
– Muy pequeño	>16	0 – 20
– Pequeño	10 - 16	20 – 40
– Grande	3 - 6	40 – 70
– Muy grande	3	70 – 100

3. RESISTENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES

- **Pequeña:** Discontinuidades limpias con una superficie suave o con material de relleno blando.
 - **Media:** Discontinuidades limpias con una superficie rugosa.
 - **Grande:** Discontinuidades rellenas con un material de resistencia igual o mayor que roca intacta.
-

Fuente: Llanque Maquera, et al., (1999, pág. 34)

ANEXO n.º 3. Tabla de clasificación de los métodos mineros en función de la geometría y distribución de leyes del yacimiento.

Método de Explotación	Forma del yacimiento			Potencia del mineral				Inclinación			Distribución de leyes		
	M	T	I	E	IT	P	MP	T	IT	IN	U	D	ER
Cielo abierto	3	2	3	2	3	4	4	3	3	4	3	3	3
Hundimiento por bloques	4	2	0	-49	0	2	4	3	2	4	4	2	0
Cámaras por subnivel	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	3	1
Hundimiento por subniveles	3	4	1	-49	0	4	4	1	1	4	4	2	0
Tajeo largo	-49	0	-49	4	0	-49	-49	4	0	-49	4	2	0
Cámaras y pilares	0	4	2	4	2	-49	-49	4	1	0	3	3	3
Cámaras almacén	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1
Corte y relleno	0	4	2	4	4	0	0	0	3	4	3	3	3
Entibación con marcos	0	2	4	4	4	1	1	2	3	3	3	3	3

M : Masivo
 T : Tabular
 I : Irregular
 E : Estrecha
 IT : Intermedio
 P : Potente
 MP : Muy Potente
 T : Tumbado
 IT : Intermedio
 IN : Inclinado
 U : Uniforme
 D : Diseminado
 ER : Errático

Fuente: Llanque Maquera, et al., (1999, pág. 35)

ANEXO n.º 5. Tabla de clasificación de los métodos atendiendo a las características geomecánicas - caja techo

Método de Explotación	Resistencia de las rocas			Espaciamiento entre fracturas				Resistencia de las discontinuidades		
	P	M	A	MP	P	G	MG	P	M	G
Cielo abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Hundimiento por bloques	4	2	1	3	4	3	0	4	2	0
Cámaras por subnivel	-49	3	4	-49	0	1	4	0	2	4
Hundimiento por subniveles	3	2	1	3	4	3	1	4	2	0
Tajeo largo	4	2	0	4	4	3	0	4	2	0
Cámaras y pilares	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Cámaras almacén	4	2	1	4	4	3	0	4	2	0
Corte y relleno	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2
Entibación con marcos	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2

P : Pequeña	MP : Muy pequeña	P : Pequeña
M : Media	P : Pequeña	M : Media
A : Alta	G : Grande	G : Grande
	MG : Muy Grande	

Fuente: Llanque Maquera, et al., (1999, pág. 36)

ANEXO n.º 6. Tabla de clasificación de los métodos atendiendo a las características geomecánicas - caja piso

Método de Explotación	Resistencia de las rocas			Espaciamiento entre fracturas				Resistencia de las discontinuidades		
	P	M	A	MP	P	G	MG	P	M	G
Cielo abierto	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Hundimiento por bloques	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Cámaras por subnivel	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4
Hundimiento por subniveles	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4
Tajeo largo	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3
Cámaras y pilares	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3
Cámaras almacén	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Corte y relleno	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2
Entibación con marcos	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2

P : Pequeña
 M : Media
 A : Alta

MP : Muy pequeña
 P : Pequeña
 G : Grande
 MG : Muy Grande

Fuente: Llanque Maquera, et al., (1999, pág. 36)

ANEXO n.º 7. Tabla de resistencia de la roca en MPa en función al índice de carga puntual.

Clase	Descripción (ISMR)	Is (MPa)	UCS (MPa)
R0	Extremadamente blanda	*	0.25 – 1
R1	Muy blanda	*	1 – 5
R2	Blanda	*	5 – 25
R3	Moderadamente dura	1 – 2	25 – 50
R4	Dura	2 – 4	50 – 100
R5	Muy dura	4 – 10	100 – 250
R6	Extremadamente dura	> 10	> 250

Nota. Is: índice de carga puntual y UCS: Resistencia a la Compresión Simple. Fuente: (ISRM, 1981).

ANEXO n.º 8. Ensayos de carga puntual.

ANEXO n.º 9. Ensayos de compresión triaxial.

ANEXO n.º 10. Plano de concesiones mineras.

ANEXO n.º 11. Plano topográfico.

ANEXO n.º 12. Plano geológico.

ANEXO n.º 13. Plano en planta de diseño del método de explotación Longwall
Mining

ANEXO n.º 14. Plano de detalle de labores en el diseño.

ANEXO n.º 15. Plano en planta del sostenimiento.

ANEXO n.º 16. Imágenes 3D del diseño del método de explotación Longwall Mining.

ANEXO n.º 17. Imágenes 3D del sostenimiento.