

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“DETERMINACIÓN DEL MÉTODO DE
EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA EN LA
CONCESIÓN MINERA ALTA GRACIA-YONÁN,
2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera de Minas

Autores:

Damaris Noemi Aguilar Pérez

Ingret Isolina Cercado Walter

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca - Perú

2020



DEDICATORIA

La presente Tesis va dedicado a Dios, quien estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer, a mis padres Nélide y Gilberto por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años que me han permitido llegar a cumplir un sueño más; a mis hermanas Rosa y Melany por su cariño y apoyo incondicional. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Mil veces gracias.

Ingret Isolina

Dedico esta tesis a las personas que día a día hacen que siga adelante con mis sueños, metas y de quienes espero lograr que se sientan orgullosos; mi mamá Fredesvinda, mi papá Mariano, mis hermanos y hermanas Guisella, Yessica, Isaac, David, Melquisedec, a mi más grande motivo y fuerza para no rendirme y continuar con mi carrera, mi amado hijo Jawy Tadeo, por último, pero no menos importante a todos aquellos trabajadores mineros, por ser mi mayor ejemplo, amor y dedicación por la minería.

Damaris Noemi

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios, por la vida, el conocimiento y la sabiduría que nos ha dado y es quien hace posible todo, además de ser nuestra guía y habernos brindado la oportunidad de realizar esta investigación, a nuestros padres que sin su apoyo y motivación no sería posible tener una dirección para realizar nuestras metas, al Ing. Elmer Ovidio Luque Luque, por su amistad, su tiempo y por ser quien nos asesoró para el avance de esta investigación. Por otro lado, agradecemos a nuestra alma mater, La Universidad Privada del Norte, de la cual fuimos miembros y nos proporcionó las herramientas necesarias para desenvolvemos profesionalmente, a nuestros Docentes quien con sus enseñanzas, consejos y amistad brindada a lo largo de nuestra vida estudiantil contribuyeron al logro de nuestra formación profesional.

Tabla de contenidos

AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	22
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	28
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	60
REFERENCIAS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación y comparación general de los métodos	12
Tabla 2 Rutas y acceso a la Concesión Alta Gracia	28
Tabla 3 Coordenadas UTM de la Concesión en el sistema WGS 84	30
Tabla 4 Forma del Yacimiento	34
Tabla 5 Espesor promedio de la veta	35
Tabla 6 Potencia de la veta.....	35
Tabla 7 Angulo de inclinación de la veta.....	36
Tabla 8 Inclinación de la veta.....	37
Tabla 9 Distribución de leyes de la veta	38
Tabla 10 Geometría y distribución de leyes del Yacimiento de la Concesión minera Alta Gracia	38
Tabla 11 Análisis de Carga Puntual de la Roca Caja Techo	39
Tabla 12 Resistencia de la Roca Caja techo.....	39
Tabla 13 Resistencia a la Compresión Simple de la Roca Caja techo.....	40
Tabla 14 Análisis de Carga Puntual de la Roca Caja Piso	40
Tabla 15 Resistencia de la Roca Caja Piso	41
Tabla 16 Resistencia a la Compresión Simple de la Roca Caja Piso	41
Tabla 17 Análisis de la Carga Puntual de la Roca Mineralizada.....	42
Tabla 18 Resistencia del cuerpo Mineral	42
Tabla 19 Resistencia a la Compresión Simple de la Roca Zona Mineral	43
Tabla 20 Número de discontinuidades de las estructuras rocosas.....	43
Tabla 21 Espaciamiento entre fracturas zona Caja Techo	44
Tabla 22 Espaciamiento entre Fracturas zona Mineral.....	44
Tabla 23 Espaciamiento entre Fracturas zona Caja Piso	44
Tabla 24 Resistencia de las discontinuidades zona Caja Techo.....	48
Tabla 25 Resistencia de las discontinuidades zona Caja Piso	48
Tabla 26 Resistencia de las discontinuidades Zona Mineral.....	49
Tabla 27 Características Geométricas del Yacimiento de la Veta de Hierro de la Concesión Alta Gracia	49
Tabla 28 Asignación de valores a los métodos de Explotación en función de la Geometría y Distribución de leyes.....	51

Tabla 29 Asignacion de valores a los metodos de Explotacion en funcion a sus Caracterizticas Geometricas Zona Mineral	51
Tabla 30 Asignacion de valores a los metodos de explotacion en funcion a sus Caracterizticas Geometricas sona Caja Techo	52
Tabla 31 Asignacion de valores a los metodos de explotacion en funcion a sus Caracterizticas Geometricas sona Caja Piso	52
Tabla 32 Valoracion total y selección del metodo de explotacion	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Método de Explotación Corte y Relleno Ascendente.	16
Figura 2. Primera Visita a campo a la Concesión Alta Gracia.	25
Figura 3. Muestras de la Primera Estación de la Concesión Alta Gracia.	25
Figura 4. Muestras de la Segunda Estación de la Concesión Alta Gracia.	26
Figura 5. Muestras de la Tercera Estación de la Concesión Alta Gracia.	26
Figura 6. Mapa de ubicación del proyecto	29
Figura 7. Mapa Satelital de ubicación del proyecto.....	29
Figura 8. Ladera con una pendiente de 45° aproximadamente.	30
Figura 9. Planicie Costera	31
Figura 10. Valles Costeros	31
Figura 11. Caja Piso y veta de Hierro	33
Figura 12. Forma del Yacimiento	34
Figura 13. Toma de las medidas del espesor de la Veta	36
Figura 14. Toma de datos de la inclinación de la Veta.	37
Figura 15. Identificación y conteo de las discontinuidades en la Roca Piso.....	45
Figura 16. Identificación y conteo de las discontinuidades en la Roca Techo.....	45
Figura 17. Identificación y conteo de las discontinuidades de la Veta.	46
Figura 18. Evaluación de la resistencia de las discontinuidades en las estructuras rocosas.	47
Figura 19. Jackleg RN250	56

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal “Determinar el método de explotación Subterránea en la Concesión minera Alta Gracia”, este estudio nos permitió determinar las características geométricas y geomecánicas del yacimiento y las rocas encajonantes, con el fin de obtener el método subterráneo apropiado para su explotación y su posterior diseño.

La población estudiada es la Concesión minera Alta Gracia y la muestra el afloramiento de la veta de hierro, para ello, se realizó la evaluación geométrica observando la forma, midiendo la potencia, inclinación y la distribución de leyes. En la evaluación geomecánica se realizó la toma de muestras de tres puntos estratégicos de la veta, al inicio al centro y al final de la veta tanto de la zona mineral, roca techo y roca piso para realizar el ensayo de carga puntual y medir su resistencia. Posteriormente los datos fueron analizados utilizando el método numérico de Nicholas.

Con la evaluación geométrica se determinó que el yacimiento minero es de tipo veta, tiene forma tabular, potencia estrecha, inclinación intermedia y una distribución de leyes uniforme. En la evaluación geomecánica se obtuvo como resultado un valor promedio de 2.47 MPa (estructura mineralizada, pequeña), 1.03 MPa (Caja Techo, Media) y de 0.58 MPa (Caja Piso, pequeña). El espaciamiento entre fracturas es grande, grande, pequeño y la resistencia de las discontinuidades es pequeña, pequeña y media. De acuerdo a la geometría de la veta y a las características geomecánicas del mineral, roca techo y roca piso se determinó que el método de explotación Corte y Relleno Ascendente es técnicamente aplicable para la explotación de la veta de hierro en la Concesión Minera Alta Gracia.

Palabras clave: (Método de explotación, Hierro, Veta de Hierro, Corte y Relleno Ascendente).

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería es una actividad extractiva cuyo desarrollo constituye soporte para gran parte de la industria manufacturera y es una importante fuente de crecimiento económico para los países en vías de desarrollo.

El Perú es uno de los principales productores de metales a nivel mundial, prueba de ello es que ocupa un buen lugar como productor de oro a nivel mundial y uno de los primeros en Latinoamérica.

Según Luna, H. (2011). “La importancia que ha cobrado la minería en las últimas décadas se fundamenta principalmente en el impacto económico que ésta genera sobre los diferentes países en lo referido la producción, exportaciones, inversión minera, tributos, entre otras variables.”

El proyecto minero Alta Gracia se explotó a cielo abierto a pequeña escala; cuya materia prima se extrajo y comercializó directamente sin tratamiento alguno. La explotación se realizó utilizando el diseño de bancos superficiales para conformar los taludes y bermas correspondientes, en los trabajos de explotación se utilizó herramientas convencionales y maquinaria para el movimiento y transporte de material, debido a que el volumen de desmonte aumentaba, la extracción del mineral ya no era económicamente rentable porque para extraer el desmonte se invertía más dinero del que se iba a obtener de la extracción del hierro, por ello se decidió paralizar las actividades a tajo abierto. En ese contexto nos hemos planteado la posibilidad de explotarlo de manera subterránea, utilizando técnicas numéricas que nos permita seleccionar un método de explotación subterránea para la extracción del hierro en la concesión minera Alta Gracia. Según los parámetros requeridos debe evaluarse la geometría del yacimiento, la geomecánica de la caja techo, mineral y caja piso.

Según De la Torre (2016), en su tesis de doctor “Realidad estratégica de sostenibilidad de los recursos naturales”, señala que la minería del hierro puede resultar una actividad sostenible, logrando continuar la estrecha relación entre las necesidades del hombre y la pervivencia de los recursos naturales.

Según Calderón (2018) en su tesis “Selección, aplicación y sostenibilidad del método de explotación por Corte y Relleno ascendente de la veta Filomena - unidad minera Sotrami – Ayacucho”, para elegir el método correcto de explotación subterránea se utilizó el método de aproximación numérica propuesto por Nicholas (1982) y el método con mayor puntuación fue el de Corte y Relleno Ascendente con 41 puntos, el cual demuestra que este método de explotación es aplicable en dicha actividad minera.

Según Sarayasi (2017) en su tesis “Explotación de la veta prometida mediante el método de corte y relleno ascendente selectivo unidad minera Santa Filomena empresa minera Sotrami S.A.”, el método de almacenamiento provisional en comparación al método de corte y relleno ascendente se descarta debido a su costo elevado lo que no hace rentable a la explotación de dicha unidad minera”.

Para Lozano (2015) en su tesis “Diseño de explotación por corte y relleno ascendente de la veta Mary en la empresa Produminsa, sector bella rica, concluye que, “El sistema de explotación por corte y relleno a implementar, es un método aplicable en cuerpos vetiformes que presentan un buzamiento mayor a 45°, de poca potencia, nos brinda una recuperación muy alta (91%), es altamente selectivo, lo que permite trabajar en yacimientos de alta ley y poca potencia, es seguro, se adecua a yacimientos con propiedades físico – mecánicas incompetentes, además se puede combinar con otros métodos de explotación”.

Según Paz C. (2019) en su tesis “Selección y aplicación del método de explotación por Corte y Relleno ascendente, para optimizar costos en la veta Gino I – empresa minera minas Icas S.A.C. – Ica” señala que para la explotación de la veta Gino I se seleccionó el método de corte y relleno ascendente mediante la aproximación numérica según Nicholas, evaluando la forma del yacimiento, buzamiento, inclinación del cuerpo mineralizado, distribución de las leyes, así como también fracturamiento, cizallamiento, calidad de las vetas y rocas encajonantes, obteniendo como resultado de 27.49 lo cual demuestra que este método de explotación es aplicable en dicha actividad minera.

Al respecto, Cuadros (2015) en su tesis “Evaluación Geomecánica para el cambio de método de Open Stopping a Corte y Relleno Ascendente Convencional en la veta Atahualpa-Lola de la mina Poderosa”, Concluye que, “En base a la evaluación geomecánica se ha visto por conveniente cambiar al método de corte y relleno ascendente convencional, con el cual el tiempo de recuperación del capital invertido es solo en 4 meses, además conforme al análisis de sensibilidad es rentable tanto a la baja del valor del mineral de cabeza de 273 \$/TM y a una subida de los costos hasta 275 \$/TM, por lo que se justifica su implementación del proyecto de explotación e incrementará las utilidades de la Empresa Poderosa”.

Para aperturar una mina o para cambiar el método de explotación, Llanque Maquera, et al., (1999), establece que el monto de capital de inversión requerido; es necesario así mismo ejecutar un proceso de selección del método de explotación mediante un análisis sistemático global parámetros específicos del yacimiento como son geometría del yacimiento, distribución de leyes, propiedades geomecánicas del mineral y la roca encajonante, aspectos económicos, limitaciones ambientales, condiciones sociales, etc.

La variabilidad de esos parámetros y las dificultades de cuantificación total de los mismos impiden el desarrollo de reglas rígidas y esquemas precisos de explotación aplicables a cada yacimiento particular.

Los métodos más importantes se pueden clasificar y comparar como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación y comparación general de los métodos.

Método con mínimo soporte o con espacios abiertos	Métodos con soporte adicional o con relleno	Métodos por hundimiento o derrumbes
<ol style="list-style-type: none"> 1. Cámaras y pilares 2. Tajeo por subniveles 3. Cráteres verticales en retroceso 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corte y relleno ascendente 2. Corte y relleno descendente 3. Almacenamiento provisional 4. Estibación con cuadros 5. Tajeos largos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hundimiento por subniveles 2. Hundimiento por bloques
<ol style="list-style-type: none"> 1. Son de dilución intermedia 2. Mala recuperación si los pilares residuales no pueden extraerse 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Altos costos de minado 2. Alta recuperación y baja dilución 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bajo costo por tonelada 2. Baja recuperación y fuerte dilución

Fuente: Llanque Maquera, et al., (1999, pág. 31)

Los métodos de explotación comúnmente aplicados son:

El método Cámaras y Pilares consiste en dejar secciones de mineral como pilares para mantener los espacios abiertos durante la explotación. Las dimensiones de las cámaras y pilares dependen de las características del mineral, de la estabilidad de las cajas, del espesor de la sobrecarga y de las tensiones sobre la roca. La geometría de los pilares puede ser de forma circular, cuadrada, rectangular o en largos muros paralelos. Este método generalmente se aplica en yacimientos de origen sedimentario, con inclinaciones menores a 30°.

Se procura dejar los pilares en las zonas estériles o de más baja ley del yacimiento, o donde las condiciones tensionales y la debilidad del techo lo exijan, por lo que su distribución es aleatoria y ocasional. Tanto el mineral como el techo deben tener suficiente resistencia. Si el techo no es muy sólido hay que acondicionar las dimensiones de las cámaras y pilares a esta circunstancia, aumentando con ello las pérdidas de mineral. En cuanto a la potencia del yacimiento, el método ha sido aplicado con éxito en yacimientos de hasta 40 a 60 mts. (Campos, 2018, p.6)

En el Perú este método se aplicó en la mina Condestable, San Vicente, Cerro de Pasco, Raura, etc.

El Tajeo por subniveles (Sublevel Stopping, Blasthole o Longhole Stopping) con taladros largos es un método de minado de alta producción aplicable a cuerpos o vetas extensas, de buzamiento casi vertical y geometría regular que poseen un mineral y cajas competentes que requieren esporádicos o ningún soporte y el mineral roto fluye bajo la influencia de la gravedad. El método se caracteriza por su gran productividad debido a que las labores de preparación se realizan en su mayor parte dentro del mineral. Para prevenir el colapso de las paredes, los cuerpos grandes normalmente son divididos en dos o más tajeos; la recuperación de los pilares se realiza en la etapa final de minado. (Vásquez, 2015, p.44-50)

Requisitos para su aplicación:

- El depósito debe ser vertical o próximo a ella, debiendo exceder el ángulo de reposo del mineral.
- Las rocas encajonantes deben ser competentes y resistentes.
- El mineral debe ser competente y con buena estabilidad.
- Los límites del yacimiento deben ser regulares.

En el Perú este método se aplica en minas como Raul, Santander, San Rafael, Perubar, Milpo, etc.

Cráteres Invertidos es un método desarrollado recientemente y consiste en que el arranque del mineral se efectúa por rebanadas ascendentes mediante el empleo de voladura en cráteres invertidos. El mineral disparado puede permanecer en la cámara para evitar el hundimiento de las paredes. La extracción se realiza a través de una galería de base por medio de un sistema de transversales conectado al mineral fragmentado.

La perforación se ejecuta desde un nivel superior con taladros verticales y con equipos de martillo en el fondo DTH, de diámetro mayores a 6 pulgadas. Tras la apertura de los transversales, en el nivel inferior se introduce en los taladros carga suspendida de explosivo y diseñadas para que actúen como cargas esféricas. El mineral disparado en rebanada cae en la cámara, ascendiéndose sucesivamente hasta dejar en la parte superior un pilar corona, el cual se dispara al abandonar el tajeo. Las desventajas más importantes son costo de las labores de preparación, dilución cuando los hastiales son poco competentes y posibles atascos en conos tolva por sobretamaños.

Los yacimientos deben tener una potencia mínima de 3m una inclinación superior a 50° con contactos bien definidos entre mineral y estéril. (Cotera, 2012, p.47-49)

En el Perú, el método se aplicó en la mina Monterrosas ubicado en el departamento de Ica.

En el libro: “Diseño de explotaciones e infraestructuras mineras subterráneas”, de la Universidad Politécnica de Madrid se señala que:

“El diseño del método de hundimiento por subniveles es un método para minería en masa basada en la utilización de la gravedad para el mineral y el estéril volados: El método cuando es aplicable tiene ventajas y desventajas.” (Universidad Politécnica de Madrid, 2014)

Ventajas:

- Seguridad, este es uno de los métodos con mayor seguridad para los colaboradores en minería subterránea ya que las actividades se realizan en aberturas pequeñas.
- Mecanización; estas actividades se pueden sistematizar ya que posee un grado demasiado alto de mecanización lo cual lleva a la obtención de mayor producción.
- Flexibilidad; Este tipo de método permite unos inicios veloces de producción y adaptabilidad en los ritmos de producción. •
- Organización del trabajo; este método tiene buenas condiciones de trabajo, y permite una mayor organización.

Inconvenientes:

- Pérdida de mineral en la dilución

- Debe de tener una granulometría adecuada para que pueda ser fácil su extracción.
- Subsistencia y daños en área.
- Desgastes por varias ocasiones; minerales derretidos al final de la extracción, mineral albergados en las zonas inmovibles
- Se incrementan cuando reduce el buzamiento.
- Insuficiencia de realizar mucha disposición.

El método de explotación de Tajeos Largos 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. (Cueva, Rojas, 2018)

En el método Corte Relleno Ascendente el mineral es arrancado por franjas horizontales y/o verticales empezando por la parte inferior de un tajo y avanzando verticalmente. Cuando se ha extraído la franja completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril (relleno), que sirve de piso de trabajo a los obreros y al mismo tiempo permite sostener las paredes, y en algunos casos especiales el techo. “Consiste en excavar el mineral por tajadas horizontales en una secuencia ascendente (realce) partiendo de la base del tajo. Todo el mineral arrancado es extraído del tajo. Cuando se ha excavado una tajada completa, el vacío dejado se rellena con material exógeno que permite sostener las paredes y sirve como piso de trabajo para el arranque y extracción de la tajada siguiente”.

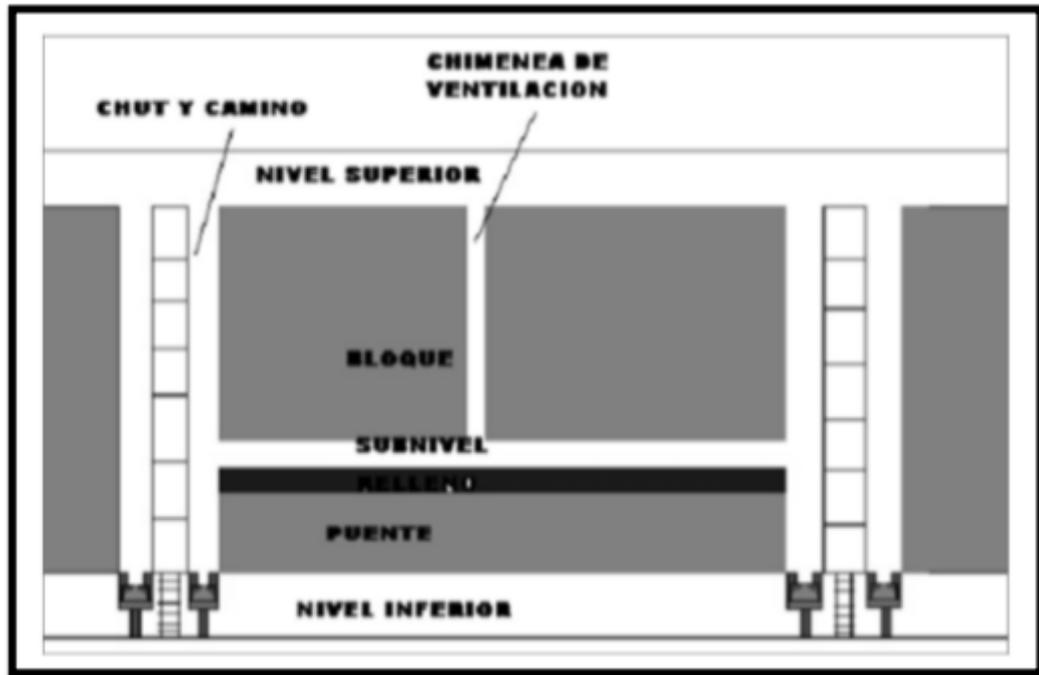


Figura 1. Método de Explotación Corte y Relleno Ascendente.

Fuente: (UNAM, 2018)

Se aplica por lo general en cuerpos de forma tabular verticales o sub-verticales, de espesor variable desde unos pocos metros hasta 15 o 20 m en algunos casos. Se prefiere a otras alternativas cuando la roca encajonante (paredes) presentan malas condiciones de estabilidad (incompetente). En cambio, la roca mineralizada debe ser estable y competente, especialmente si se trata de cuerpos de gran espesor. El mineral extraído debe ser suficientemente valioso de modo que el beneficio obtenido por su recuperación compense los mayores costos del método (Castillo Zegarra, 2018, pág. 18).

Consiste en excavar el mineral por tajadas horizontales en una secuencia ascendente (realce) partiendo de la base del Tajo. Todo el mineral arrancado es extraído del Tajo. Cuando se ha excavado una tajada completa, el vacío dejado se rellena con material

exógeno que permite sostener las paredes y sirve como piso de trabajo para el arranque y extracción de la tajada siguiente (Ortiz, 2018, pág. 16)

El mineral se extrae a través de piques artificiales emplazados en relleno, que se van construyendo a medida que la explotación progresa hacia arriba. Como relleno, se utiliza el material estéril proveniente de los desarrollos subterráneos o de la superficie, también relaves o ripios de las plantas de beneficio, e incluso, mezclas pobres de material particulado y cemento para darle mayor resistencia. (Castillo Zegarra, 2018, pág. 18).

El manejo del mineral arrancado en el Tajo consiste en cargarlo y transportarlo hasta las chimeneas de traspaso. Dependiendo de las dimensiones del tajo y de la capacidad productiva de la faena, esta operación puede ejecutarse con palas manuales y carretillas (minería artesanal), palas de arrastre o scrapers, y también con equipos cargadores sobre neumáticos LHD. En la base del tajo, las chimeneas de traspaso descargan el mineral por intermedio de buzones a carros de ferrocarril o volquetes (Castillo Zegarra, 2018, pág. 19).

Se puede realizar con perforación horizontal (breasting) como también vertical hacia arriba (bancos Invertidos). Ambas soluciones tienen ventajas y desventajas, las cuales dependen de las dimensiones del cuerpo mineralizado, espacios disponibles y capacidad productiva, es posible utilizar perforación manual (Jack Leg o stopper) o equipos tales como jumbos (Castillo Zegarra, 2018, pág. 19), así mismo es factible la perforación por sub blocks dentro del mismo tajo, agilizando el ciclo de minado.

Características:

- Es un método bastante versátil, con un rango de aplicación amplio, especialmente en condiciones de roca incompetente o de características impredecibles.
- Permite una buena recuperación y selectividad de las reservas, se pueden obviar sin problemas las irregularidades del yacimiento. Los sectores estériles pueden actuar como pilares, como asimismo es posible dejar en el mismo tajo, mineral disparado de baja ley.

Esta variante del método de explotación corte relleno, está limitada a equipos convencionales, por ejemplo, para la perforación se usan maquinas Jack Leg, para la limpieza se usan carretillas, winches con rastra, usando relleno detrítico de labores de preparación o de superficie. Este método tiene un ritmo de producción lento. (Bautista Condori,2017, pag.82)

La aplicación de este método se emplea en cualquier tipo de yacimiento con buena ley de mineral. En el Perú la mayoría de minas explotan mediante este método. Dentro de las principales tenemos: Huarón, Atacocha, Arcata, Cerro de Pasco, Cobriza, Huanzala, Julcani, Milpo, Orcopampa, Pozos Ricos, Raura, San Vicent, Yauricocha, Carahuacra, entre otras.

Los factores que tienen mayor peso en la primera etapa de selección según Llanque Maquera, et al., (1999), son la geométrica, la distribución de leyes del depósito, las propiedades geomecánicas del mineral y estéril adyacente. Mediante el análisis de estos factores se obtendrá una primera clasificación y ordenación de los métodos de explotación para su aplicación más adecuada desde una perspectiva netamente técnica.

En una segunda etapa se procederá a la evaluación económica, basada sobre un esquema general de explotación, así como el estudio complementario del ritmo de producción, ley de corte, necesidades de personal, impacto ambiental, procedimientos de restauración y otras consideraciones específicas. Con todo ello se determinará el método de explotación óptimo y la rentabilidad económica del mismo. A continuación, describiremos los factores más importantes que determinan el procedimiento de selección del método de explotación.

Las condiciones geológicas se refieren a las características geológicas del mineral y de la roca encajonante. La investigación geológica llevada a cabo debe permitir la correcta evaluación de los recursos y reservas que alberga el depósito, pero, además, debe facilitar información relativa a los principales tipos de roca, zonas de alteración, principales estructuras, accidentes tectónicos, etc.

Todo ello debe plasmarse sobre planos y secciones a escala adecuada con el fin de visualizar e interpretar fácilmente el yacimiento.

La geometría del yacimiento se define a través de su forma general, potencia, inclinación y profundidad. La distribución de leyes se define como: uniforme, gradual, diseminada y errática.

Para seleccionar un método y comenzar con su anteproyecto, es preciso disponer de planos y cortes geológicos, en estos se indicarán los principales tipos de roca, zonas alteradas, estructuras principales tales como fallas, estratos, ejes de pliegues, etc.

La geometría se caracteriza por los parámetros indicados en el Anexo n.º 2

El comportamiento geotécnico 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, ver Anexo n.º 3.

La resistencia de la roca a la compresión simple y la presión ejercida por el peso del recubrimiento sobre esta, la que puede calcularse a partir de la profundidad y la densidad de la roca. El espaciamiento entre facturas puede definirse en términos de fracturas por metro o por el RQD (“Rock Quality Designation”). El RQD es el porcentaje de trozos de testigos con una longitud superior a 10 cm por metro de longitud superior a 10 cm por metro de longitud del taladro.

Según Llanque Maquera, et al., (1999), 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.º 2 se observa la puntuación, atendiendo en función a la geometría y distribución de leyes del yacimiento. 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.º 3.

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.º 4, 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.º 5, se observa la puntuación, atendiendo a las características geomecánicas zona mineral, en los Anexos n.º 6 y 7 se recogen igualmente esas puntuaciones, referidas a las propiedades geomecánicas de las masas rocosas adyacentes de la caja techo y de la caja piso.

Después de totalizar las puntuaciones, los métodos que presentan las mayores probabilidades de aplicación son los que tienen la mayor puntuación.

1.1. Formulación del problema

¿Qué método de explotación subterránea es factible aplicar en la concesión minera Alta Gracia?

1.2. Objetivos

1.2.2. Objetivo general

Determinar el método de explotación subterránea en la Concesión Minera Alta Gracia-Yonán,2020.

1.2.3. Objetivos específicos

- Determinar las características geométricas del yacimiento de hierro en la Concesión Minera Alta Gracia.
- Determinar las características geomecánicas del yacimiento de hierro y las rocas encajonantes en la Concesión Minera Alta Gracia.
- Determinar el método de explotación mediante método numérico propuesto por Nicholas en la Concesión Minera Alta Gracia.
- Diseñar el método de explotación subterránea en la Concesión Minera Alta Gracia.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

Con la aplicación del método numérico propuesto por Nicholas se va a determinar el método de explotación subterránea en la Concesión Minera Alta Gracia-Yonán,2020.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Las características geométricas nos permitirán evaluar la forma, la inclinación, la distribución de leyes y la potencia del yacimiento

- Las características geomecánicas nos permitirán evaluar la resistencia, espaciamiento entre fracturas y discontinuidades del yacimiento y las rocas encajonantes.
- El método numérico planteado por Nicholas nos permitirá seleccionar un método de explotación.
- Una vez seleccionado el método de explotación, podremos proponer las labores mineras de preparación, desarrollo y explotación.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Esta investigación se considera que es de carácter descriptivo en cuanto permite recoger información de las características geométricas y geotécnicas del yacimiento minero para determinar el método de explotación subterránea.

Según Hernández (2003, Pág. 119), Los estudios descriptivos pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refiere.

Con diseño pre-experimental al seleccionarse un método de explotación, al realizarse ensayos en el laboratorio de mecánica de rocas para determinar la resistencia con el análisis de carga puntual.

Según Hernández (2003, Pág. 267), En el diseño pre-experimental se analiza una sola variable y no existe ningún tipo de control.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

La Concesión Minera Alta Gracia

2.2.2. Muestra

Afloramiento de veta de hierro en la concesión Minera Alta Gracia

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

En la presente investigación se utilizaron como métodos la observación de campo, para lo cual se emplearon instrumentos como guías y fichas de observación, además para recopilar dicha información se utilizó materiales como libreta de apuntes y formatos de campo.

La recolección de datos realizada mediante la observación de campo y en laboratorio se ejecutó en forma manual, con el empleo de hojas de cálculo. Los resultados fueron ordenados, clasificados y cuantificados de acuerdo con los criterios planteados por Llanque y Nicholas.

En campo, se tomó el Dip y Dip Direction de la veta, para este fin se utilizó una brújula brunton con la cual se tomó el dip (buzamiento) paralelo a la línea de máxima pendiente de los planos de estratificación y se obtuvo los datos en grados, en cuanto al Dip direction (dirección del buzamiento) se tomó perpendicular al Dip y se obtuvo los datos también en grados.

Posteriormente se procedió a sacar muestras de tres puntos específicos tanto de la estructura mineralizada, roca caja y roca piso, para esto se usó una cinta métrica y un martillo de geólogo para retirar la roca. Ver el Anexo n.º 1

En la presente investigación para el procesamiento y análisis de datos se utilizó las siguientes técnicas: Metodología de selección numérica del método de explotación según Nicholas (1982), Programas y software.

Metodología de selección del método de explotación mediante el análisis numérico Nicholas, (1982).

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.

En el Anexo n.º 2 se observa la puntuación, atendiendo en función a la geometría y distribución de leyes del yacimiento.

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.º 3.

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.º 4, 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. ° 5, se observa la puntuación, atendiendo a las características geomecánicas zona mineral.

En los Anexos n. ° 6 y 7 se recogen igualmente esas puntuaciones, referidas a las propiedades geomecánicas de las masas rocosas adyacentes de la caja techo y de la caja piso.

Después de totalizar las puntuaciones, los métodos que presentan las mayores probabilidades de aplicación son los que tienen la mayor puntuación.

Programas y softwares.

Los programas y software que se utilizaron son los siguientes:

- Hojas de cálculo de Excel
- Google Earth
- Geocatmin
- AutoCAD

2.4. Procedimiento

- En la primera etapa, se revisó bibliografía con respecto a la concesión minera Alta Gracia (accesos, ubicación, geología, etc), y relacionado a métodos de explotación, posteriormente con el apoyo de programas Google Earth, Geocatmin, entre otros, nos permitieron ubicar el área del proyecto.
- En la segunda etapa, se realizó la primera visita a campo a la concesión para analizar y evaluar las características geométricas y geomecánicas, de acuerdo al método numérico propuesto por (Nicholas 1981) ver Figura 2, posteriormente se recolectaron muestras, ver Figura 3, 4 y 5.



Figura 2. Primera Visita a campo a la Concesión Alta Gracia.

Fuente: Elaborado por los autores.



Figura 3. Muestras de la Primera Estación de la Concesión Alta Gracia.

Fuente: Elaborado por los autores.



Figura 4. Muestras de la Segunda Estación de la Concesión Alta Gracia.

Fuente: Elaborado por los autores.



Figura 5. Muestras de la Tercera Estación de la Concesión Alta Gracia.

Fuente: Elaborado por los autores.

- En la tercera etapa, en el laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Privada del Norte se procedió el análisis de carga puntal del mineral y rocas encajonantes. Ver Anexos n. ° 8, Anexos n. ° 9.
- En la cuarta etapa, se procesó los resultados obtenidos del laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Privada del Norte. Adjunto en Anexos n. ° 10, además de realizarse la segunda visita a campo a la concesión para obtener contrastar la información obtenida
- En quinta etapa, con la información recolectada en campo y con los resultados obtenidos en los laboratorios, ingresamos los valores en el método numérico establecido por (Nicholas 1981), utilizando las hojas de cálculo de Excel.
- Finalmente, se determinó el método de explotación por Corte y Relleno Ascendente, los que se diseñará utilizando el programa AutoCAD para la extracción del hierro en la concesión minera ALTA GRACIA.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Descripción del área del proyecto.

Ubicación y accesibilidad.

El proyecto Minero de explotación de la Concesión Minera "Alta Gracia" con código N° 03-00085-98; se encuentra ubicado en el paraje Ventanilla, distrito de Yonán, Provincia de Contumazá, Departamento de Cajamarca, cuya extensión es 53.1667 has, teniendo en cuenta que el área del proyecto solo abarca 30 has. En la Figura 5 se puede ver la ubicación del proyecto.

La vía de acceso de la Concesión Minera "Alta Gracia" materia de estudio es por vía terrestre. Partiendo de la ciudad de Cajamarca, se llega primero a Ciudad de Dios, luego hay que partir hacia el cruce de San José, de allí a Ventanilla donde se halla ubicado la Concesión Minera "Alta Gracia". En la Tabla 2 se detallan las rutas y accesos a dicho proyecto.

Tabla 2

Rutas y accesos a la Concesión Alta Gracia

Ruta	Localidades	Km	Tipo de vía
	Cajamarca – Tembladera	127.8	Asfaltada
1	Tembladera – Ventanillas	39.3	Asfaltada
	Ventanillas – Concesión Minera	3.3	Trocha

Fuentes: Elaborado por los autores.

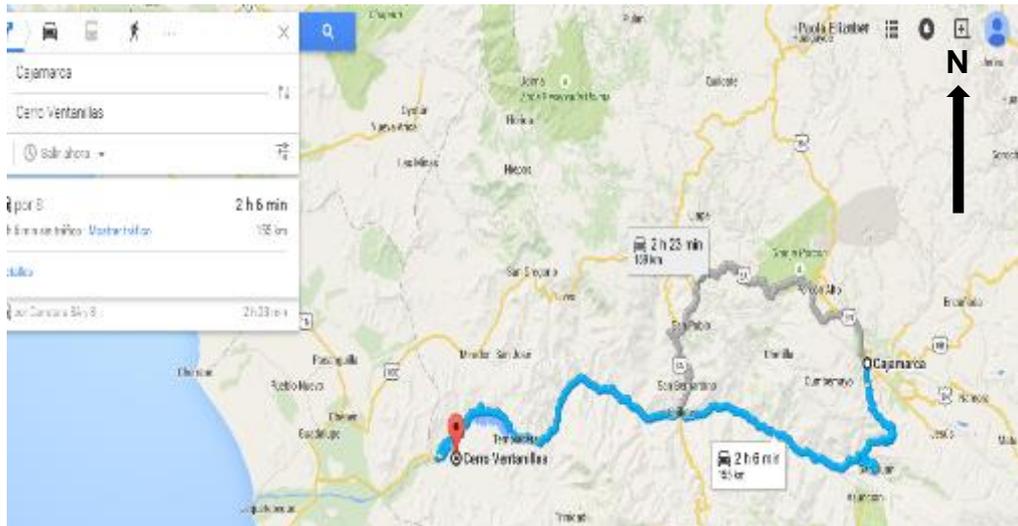


Figura 6. Mapa de ubicación del proyecto

Fuente: Maps



Figura 7. Mapa Satelital de ubicación del proyecto

Fuente: GEOCATMIN

Concesión minera.

La titular de la concesión Minera "Alta Gracia" es la Sra. Dora Elina Martell Quiroz y está inscrita en el libro de Derechos Mineros del Registro Público de Minería (RPM) Partida N° 0300-8598.

Ubicación del Derecho Minero: Paraje Ventanilla", distrito de Yonán, provincia de Contumazá, Departamento: Cajamarca. Extensión del Derecho Minero: 53.1667 hectáreas. Código INACC N° 030008598 de 53.17 Has. Cuyas coordenadas UTM en el sistema WGS 84 se puede ver en la Tabla 3, que

pertenece a la zona 17, cuadrángulo geológico de Chepén – hoja 15e. Ver plano de concesiones. Anexo n.º11.

Tabla 3

Coordenadas UTM de la concesión en el sistema WGS 84

Vértices	Norte	Este
1	9 195 000.00	692 000.00
2	9 195 000.00	693 000.00
3	9 194 000.00	693 000.00
4	9 194 000.00	692 000.00

Fuentes: Ingemmet

Fisiografía.

En lo que concierne al lugar de estudio se ha podido observar que posee gran cantidad de planicies desérticas además en lo que se refiere al terreno este posee una pendiente moderada y abrupta. Ver plano topográfico anexo n.º 12.

Laderas Costeras: La zona presenta diversas laderas costeras que van desde 15° hasta 45° aproximadamente.



Figura 8. Ladera con una pendiente de 45° aproximadamente.

Fuentes: Elaborado por los autores.

Planicies: Cerca al área de estudio se observaron planicies costeras que son utilizadas por los pobladores con fines de vivienda y agricultura.



Figura 9. Planicie Costera

Fuentes: Elaborado por los autores.

Valles: A lo largo de la trayectoria por donde pasamos para llegar al centro de estudio se observaron valles costeros.



Figura 10. Valles Costeros

Fuentes: Elaborado por los autores.

Condiciones Geológicas.

Geomorfología: Desde el punto de vista geológico, la zona está formada por un heterogéneo conjunto de rocas ígneas o intrusivas, sedimentarias, metamórficas y extrusivas. Las rocas sedimentarias son de facies marina como semicontinental y está representada principalmente por areniscas, lutitas, limonitas, calizas y conglomerados. Entre las rocas metamórficas, destacan la

cuarcita y pizarras. Las rocas ígneas intrusivas están constituidas por granitos, granodioritas, adamelitas etc., y sus afloramientos se presentan desde la faja costera hasta el sector de la cuenca alta. Las rocas ígneas extrusivas están representadas principalmente por derrames andesíticos y tufos riolíticos.

Es característica la presencia de rocas que van desde el Mesozoico Cenozoico al cuaternario. Se depositaron rocas sedimentarias de la formación Inca Chulee del Jurásico Superior, Goyllarisquizga del cretáceo inferior, existiendo cuatro mantos principales conocidos con un ancho promedio de 0.8 m en cada manto. El manto de mineral de la mina está dentro de la secuencia estratigráfica silico-clásica del Grupo Goyllariquizga del del Jurasico Superior.

Formación Chimú: La formación Chimú, designada con este nombre por Benavides (1956), aflora yaciendo mayormente en forma concordante, sobre la formación Chicama (lo más probable es que exista una discordancia paralela e infrayaciendo con igual carácter a la formación Santa.

La secuencia se extiende ampliamente próxima al área del yacimiento minero y fuera de ella, alcanzando ámbitos regionales. Sus afloramientos se destacan nítidamente en la topografía por su dureza y estructuras, originando un banco de cuarcitas y areniscas.

La roca encajonante está constituida por cuarcitas con delgadas capas de lutita albergando al mineral, el cual ha sido definido como antracita de color negro y muy fracturado. Las condiciones geológicas se pueden ver en el plano geológico Anexo n.º 13.

Grupo Goyllarisquizca: Este grupo en sus facies de plataforma ha sido estudiado bajo la denominación del Grupo Goyllarisquisga y en sus facies de cuenca ha sido diferenciado en las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farras. En el primer caso, sus afloramientos están limitados al sector, pero se sabe que se extiende ampliamente por la región. En el área estudiada su verdadera posición se observa a unos cientos de metros más al este, donde comienza el cañón del valle del marañón, allí suprayace, con suave discordancia, a las calizas del Grupo Pucará e infrayace en la formación Crisnejas del Albiano, aparentemente concordante, pudiendo ser en discordancia paralela en otros lugares.

Litológicamente conformado por cuarcitas blancas masivas y areniscas

generalmente de grano medio y color blanquecino, en la parte inferior, con intercalaciones delgadas de lutitas marrones y grises en la parte superior. Su grosor oscila entre los 200 y 500 metros, con tendencia a adelgazarse hacia el Oeste.

Mineralización. El macizo rocoso estudiado en el yacimiento de hierro tiene una potencia de 2.5 a 4 m aproximadamente y se considera una veta. Se la puede nombrar como una mena metálica ferrosa, en la cual aparte de la presencia de hierro encontramos diferentes minerales como magnetita y calcita, esta última encontrada en un horst.

Esta veta antes de su explotación tubo una accesibilidad favorable y por tener una caja techo de un material suave fue explotado por métodos superficiales.



Figura 11. Caja Piso y veta de Hierro

Fuentes: Elaborado por los autores.

3.2. Características Geométricas de la Concesión Minera Alta Gracia.

Geometría del Yacimiento.

Para determinar la geometría del yacimiento se utilizó los parámetros establecidos por Llanque Nicholas, et al., (1981) los cuales se encuentran detallados en anexo n.º 2.

Forma.

El yacimiento se presenta en tipo veta, con presencia de Hierro que varía sus medidas a distancias considerables y dos de ellas son mayor que la tercera, esta

veta se encuentra emplazada en rocas areniscas cuarzosas de grano medio a grueso. Como se puede ver en la Figura 10.

Tabla 4

Forma del Yacimiento

Forma del yacimiento	Descripción
Masivo (M)	Dimensiones similares en cualquier Dirección.
Tabular (T)	Vetas o Mantos.
Irregulares (I)	Dimensiones varían a distancias muy pequeñas.

Fuente: Elaborado por los autores.

De acuerdo a la Tabla 4, se determinó que la veta de Hierro de la Concesión Alta Gracia es de forma Tabular, ya que dos dimensiones son mayores que la tercera.



Figura 12. Forma del Yacimiento

Fuente: Elaborado por los autores

Potencia.

Según los datos tomados en campo con respecto a la potencia del yacimiento en las zonas que presentan afloramiento, se aprecia variaciones de 2.5 a 4 metros de espesor aproximadamente, ver Tabla 5 tomando estas medidas como la mínima y máxima respectivamente.

Tabla 5

Espesor promedio de la Veta

Potencia de la mineralización	
Estación	Medida (m)
Primera estación	2.50
Segunda estación	4.00
Tercera estación	2.00
Potencia promedio	2.8

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 6

Potencia de la Veta

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 la veta tiene una potencia estrecha.



Figura 13. Toma de las medidas del espesor de la Veta

Fuente: Elaborado por los autores.

Inclinación.

Habiendo visitado la zona de estudio se ha determinado que la veta de Hierro 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 13.

Tabla 7

Ángulo de inclinación de la Veta

Punto	Buzamiento (°)
1	35° SW
2	48° SW
3	51° SW
Promedio	45° SW

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 8

Inclinación de la Veta

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 la veta tiene inclinación intermedia por estar entre el rango de buzamiento de 20°- 55°.

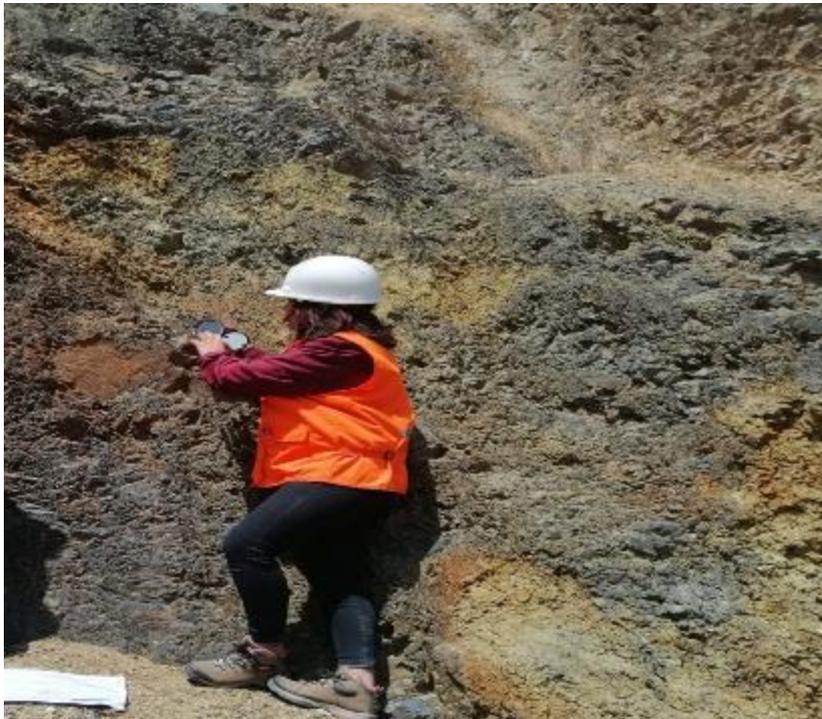


Figura 14. Toma de datos de la inclinación de la Veta.

Fuente: Elaborado por los autores.

Distribución de la ley.

Se observa que la estructura mineralizada se mantiene constante en cualquier punto, el contenido de Hierro es fijo.

Tabla 9

Distribución de leyes de la Veta

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 9, se estipuló que la distribución de leyes del manto es uniforme.

En la Tabla 10, se muestra el resumen de la geometría del yacimiento de la Concesión Minera Altagracia, de acuerdo a los parámetros de Llanque Maquera, et al.,(1999).

Tabla 10

Geometría y distribución de leyes del yacimiento de la Concesión Minera Alta Gracia

Geometría del yacimiento y distribución de leyes	
Forma	Tabular
Potencial del mineral	Estrecha
Inclinación	Intermedio
Distribución de leyes	Uniforme

Fuente: Elaborado por los autores.

3.3. Características geomecánicas de la Concesión Minera Alta Gracia

Las características geomecánicas del yacimiento se determinaron de acuerdo a los parámetros del Anexo n. ° 3.

Resistencia de la matriz rocosa: La resistencia a la compresión simple de las rocas encajonantes tipo arenisca se determinó mediante ensayos de carga puntual los cuales fueron realizados en el laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Privada del Norte.

Roca Techo

Tabla 11

Análisis de carga puntual de la roca Caja Techo.

Muestra	Tipo de Roca	Is (MPa)	Promedio de Is (MPa)	UCS (MPa)
M3	Caja Techo	2.09		
M6	Caja Techo	0.10		
M9	Caja Techo	0.9	1.03	25 – 50

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 12

Resistencia de la roca Caja Techo.

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).

Tabla 13

Resistencia a la compresión simple de la Roca Caja Techo (MPa).

Resistencia a la compresión Uniaxial – Caja Techo 25 – 50 (MPa)	
Parámetro	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Pequeña	> 8
Media	8 – 15
Alta	> 15

Fuente: Elaborado por los autores

Roca Piso

Tabla 14

Análisis de carga puntual de la roca Caja Piso.

Muestra	Tipo de Roca	Is (MPa)	Promedio de Is (MPa)	UCS (MPa)
M2	Caja Piso	0.28		
M5	Caja Piso	0.39	0.58	5 - 25
M7	Caja Piso	1.08		

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 15

Resistencia de la roca Caja Piso.

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).

Tabla 16

Resistencia a la compresión simple de la Roca Caja Piso (MPa).

Resistencia a la compresión Uniaxial – Caja Piso 1 – 5 (MPa)	
Parámetro	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Pequeña	< 8
Media	8 – 15
Alta	> 15

Fuente: Elaborado por los autores

De conformidad con las Tablas 13 y 16, se determinó que la resistencia de la roca caja Techo y caja Piso es moderadamente dura y blanda respectivamente.

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.

Obteniendo los siguientes resultados ver la Tabla 17.

Tabla 17

Análisis de carga puntual de la roca mineralizada.

Muestra	Tipo de Roca	Is (MPa)	Promedio de Is (MPa)	UCS (MPa)
M1	Mineral	0.17		
M4	Mineral	1.86	1.12	25 – 50
M8	Mineral	1.33		

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 18

Resistencia del Cuerpo Mineral.

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).

Tabla 19

Resistencia a la compresión simple de la Roca Zona Mineral (MPa).

Resistencia a la compresión Uniaxial – Zona Mineral 25 – 50 (MPa)	
Parámetro	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Pequeña	< 8
Media	8 – 15
Alta	> 15

Fuente: Elaborado por los autores

De acuerdo a la Tabla 19 la resistencia del cuerpo Mineralizado es Moderadamente blanda.

Espaciamiento entre fracturas.

Primero se delimitó un área de $1m^2$ en cada estructura para luego proceder con el conteo de las discontinuidades existentes en el área delimitada. Ver figura 14, figura 15 y figura 16.

Se obtuvo los siguientes resultados ver Tabla 20.

Tabla 20

Número de discontinuidades de las estructuras rocosas.

Estructura	Fracturas/m
Caja techo	8
Veta de Hierro	4
Caja piso	14

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 21

Espaciamiento entre fracturas zona caja techo.

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

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 22

Espaciamiento entre fracturas zona mineral.

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

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 23

Espaciamiento entre fracturas zona caja piso.

	Fracturas /m	RQD (%)
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 21, 22 y 23, se estipuló el espaciamiento de las fracturas de las zonas caja techo, caja piso y zona mineral.

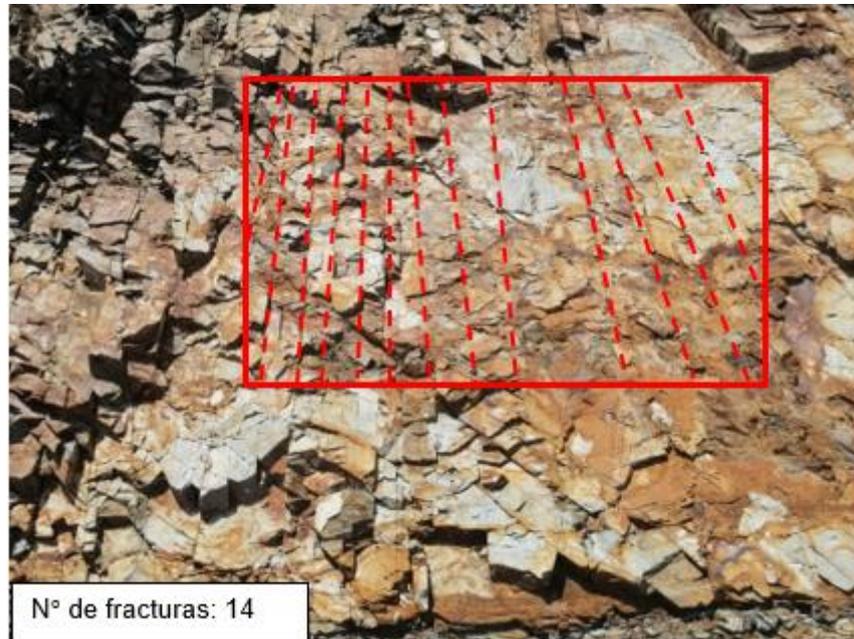


Figura 15. Identificación y conteo de las discontinuidades en la Roca Piso.
Fuente: Elaborado por los autores.

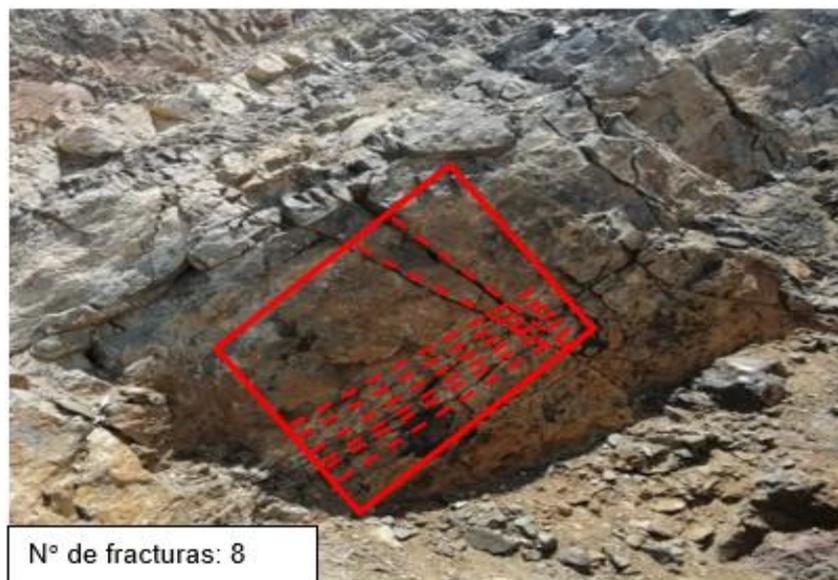


Figura 16. Identificación y conteo de las discontinuidades en la Roca Techo.
Fuente: Elaborado por los autores.



Figura 17. Identificación y conteo de las discontinuidades de la Veta.

Fuente: Elaborado por los autores.

Resistencia de las discontinuidades.

La evaluación de este parámetro se realizó en el campo in situ, y los resultados obtenidos se muestran en la Figura 17.

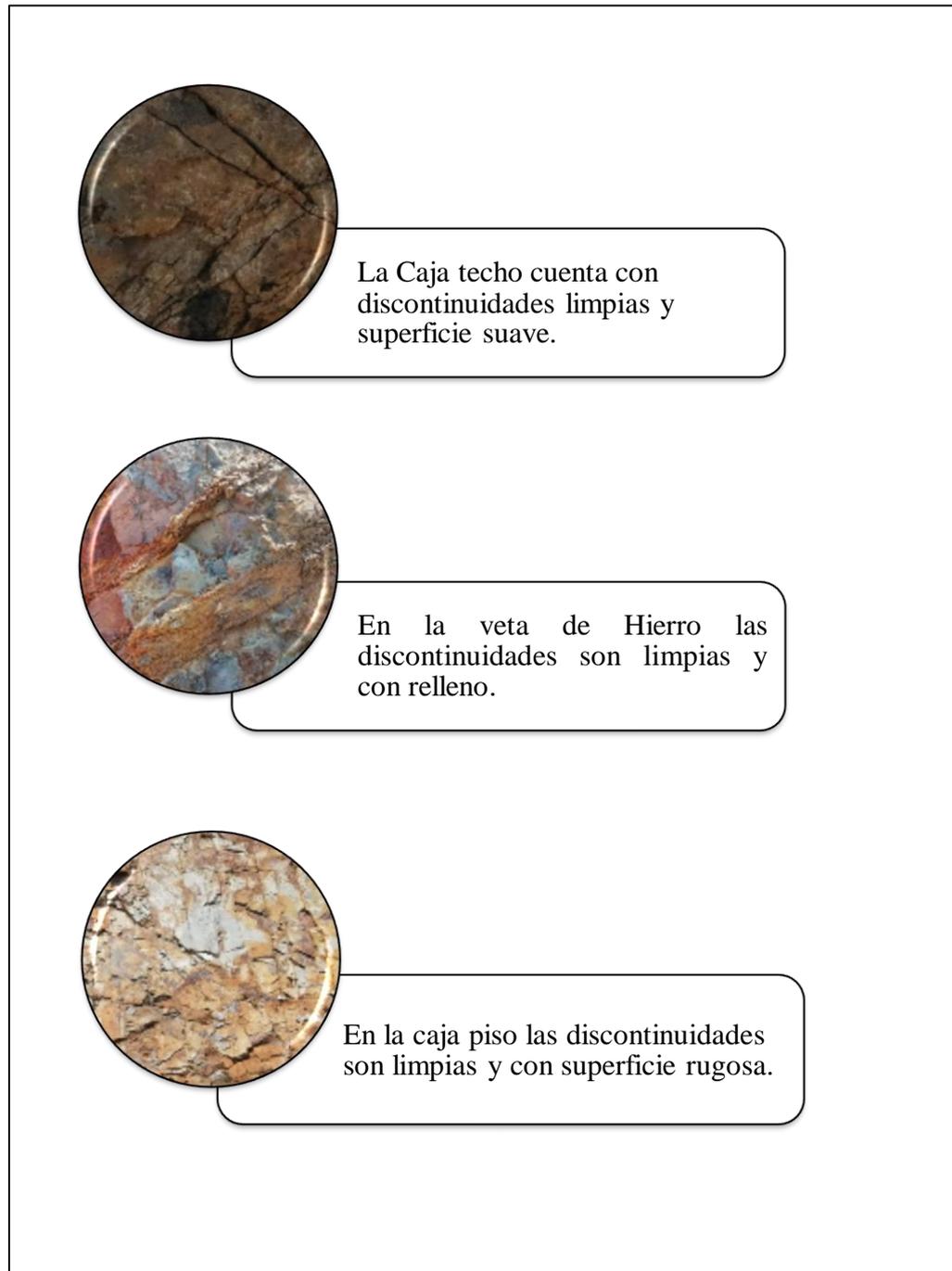


Figura 18. Evaluación de la resistencia de las discontinuidades en las estructuras rocosas.

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 24

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 25

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 26

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 24, 25 y 26 se determinó la resistencia de las discontinuidades de las zonas caja techo, caja piso y zona mineral respectivamente.

En la Tabla 27, se muestra en resumen las características geomecánicas de del yacimiento de la Veta de Hierro de la Concesión Alta Gracia.

Tabla 27

Características geomecánicas del yacimiento de la veta de hierro de la Concesión Alta Gracia.

Características Geomecánicas				
Estructura	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Espaciamiento entre fracturas	RQD (%)	Resistencia de las discontinuidades
Caja Techo	Alta	grande	40-70	pequeña
Veta	Alta	grande	40-70	pequeña
Caja Piso	Pequeña	pequeño	20-40	media

Fuente: Elaborado por los autores

3.4. Elección del método de explotación Corte y Relleno Ascendente mediante el análisis numérico.

Para la elección del método de explotación se utilizó los Anexos n. ° 4,5, 6, 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 la veta y su entorno que se encuentra detallado en las Tablas 10 y 27.

En la Tabla 28, se detalla la asignación de valores a los métodos de explotación en función de la geometría y distribución de leyes.

En las Tablas 29, 30 y 31 se detallan igualmente la asignación de valores, pero referidas a las propiedades geomecánicas del mineral, de caja techo y caja piso.

Tabla 28

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	Estibación con marcos
Forma del yacimiento	Tabular	2	2	2	4	0	4	2	4	2
Potencia del mineral	Estrecha	2	-49	1	-49	4	4	1	4	4
Inclinación	Intermedio	3	2	1	1	0	1	1	3	3
Distribución de leyes	Uniforme	3	4	3	4	4	3	3	3	3
TOTAL		10	-41	7	-40	8	12	7	14	12

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 29

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	Estibación con marcos
Resistencia de la roca	Alta	4	1	3	3	1	3	3	2	1
Espaciamiento entre fracturas	Grande	4	3	1	4	0	2	3	2	2
Resistencia de las discontinuidades	Pequeña	2	4	0	0	4	0	0	3	4
TOTAL		10	8	4	7	5	5	6	7	7

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 30

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	Estibación con marcos
Resistencia de la roca	Alta	4	2	3	2	2	3	2	2	2
Espaciamiento entre fracturas	Grande	4	3	1	3	3	2	3	2	2
Resistencia de las discontinuidades	Pequeña	2	4	0	4	4	0	4	4	4
TOTAL		10	9	4	9	9	5	9	8	8

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 31

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	Estibación con marcos
Resistencia de la roca	Pequeña	3	2	0	0	2	0	2	4	4
Espaciamiento entre fracturas	Pequeña	3	3	0	1	2	1	3	4	4
Resistencia de las discontinuidades	Media	3	3	1	2	3	3	2	4	4
TOTAL		9	8	1	3	7	4	7	12	12

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

Fuente: Elaborado por los autores.

En la Tabla 32, se recogió el total de las puntuaciones de cada uno del método de explotación.

Tabla 32

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	10	10	9	39
Hundimiento por bloques	-41	8	9	8	-16
Cámaras por subnivel	7	4	4	1	16
Hundimiento por subniveles	-40	7	9	3	-21
Tajeo largo	8	5	9	7	29
Cámaras y pilares	12	5	5	4	26
Cámaras almacén	7	6	9	7	29
Corte y relleno	14	7	8	12	41
Entibación con marcos	12	7	8	12	39

Fuente: Elaborado por los autores.

De acuerdo a la Tabla 32, los métodos que obtuvieron mayor puntaje son el método “Corte y Relleno”, “Entibación con marcos”, lo que implica que se debe utilizar en ese orden para la explotación del yacimiento.

3.1. Diseño del método de explotación Corte y Relleno

El método de minado CORTE Y RELLENO ASCENDENTE se aplica en mantos con ángulos de buzamiento pronunciados mayores a 45°grados. En este método se puede usar locomotoras, winches de arrastre, carritos mineros, perforadoras jacklegs RN250, jaulas etc. La característica principal es de ir cortando los tajos desde la parte inferior hacia la parte superior y rellenando con desmonte la parte que quede vacía.

En el caso de la mina Alta Gracia, se está tomando en cuenta para el diseño lo siguiente:

- a. Se iniciará con la construcción de pique de 3m x 1.5m de sección y, la misma que nos permitirá interceptar a la veta a una distancia de 470.34 m en las coordenadas (E692023.0 - N9194247.0) sistema WGS84.
- b. Una vez interceptado la veta, se construirán una galería principal de 2.4 m x 2.7 m con un drenaje de 0.3 m, cuya función es el transporte, usando línea decauville.
- c. En las galerías desarrolladas se construirán chimeneas de doble compartimiento a cada 40 metros con una sección de 2.5 m x la potencia de la veta y el camino con un ancho de 1.5 m, una vez desarrolladas las chimeneas a partir de estas realizaremos los subniveles con una sección de 2 m de ancho x la potencia de la veta.
- d. El doble compartimiento se debe efectuar con puntales en línea de 8” de diámetro espaciadas a 1.5 metros de eje a eje y tablas de 2” x 8” x 10”.
- e. La chimenea vertical debe comunicar a un lado del subnivel superior.
- f. Cada tajo estará limitado por los subniveles de extracción y las chimeneas de ventilación, con pilares de 10 m y el tajo con una sección promedio de 42 m, con ventanas intermedias a 20 m.
- g. Con la finalidad de mantener los niveles de extracción y las chimeneas de ventilación, se deja pilares de 10 m. a cada lado de las chimeneas reforzados con encribados y puentes de 40.0 metros en ambos niveles.

3.1.1. Operación.

- a. El avance será ascendente en dirección del buzamiento de la veta, para vetas regulares.

- b. El avance será en frontoneo (breasting) en dirección rumbo de la veta, iniciándose los cortes de dos maneras:
- A partir de la cámara intermedia para cuando la veta se vuelva sub horizontal muy irregular o tipo ropsario.
 - A partir de la chimenea ingresando con una ventana y dejando un pilar de acuerdo a la recomendación geomecánica para vetas semi verticales.
- c. Equipo de limpieza: Winches de 10 HP y rastras de acero.
- d. Dejar pilares laterales a la chimenea, de acuerdo a las condiciones geomecánicas del macizo rocoso en el diseño de la presente tesis se está considerando pilares de 10 m.
- e. El relleno de tajos se realizará después de cada corte, con el desmonte generado en las labores de exploración y desarrollo.

3.1.2. Equipos a utilizar

- a. Equipos de perforación en estéril: máquina perforadora Jack-leg



Figura 19. Jackleg RN250

Fuentes: Elaborado por los autores.

- b. Equipos de carguío y limpieza: winches, carretillas.
- c. Equipo de extracción: locomotora accionado por batería, Carros mineros tipo U-35 balancín, capacidad del carro minero 1TM.

3.1.3. Explotación.

- a. Se inicia con las labores de preparación las cuales han sido diseñadas para explotar la veta de manera económica y segura.
- b. El éxito de corte y relleno se basa en la construcción de la chimenea de doble compartimiento el cual uno de los compartimientos servirá como echadero del mineral hacia la tolva de madera.
- c. La geometría de los tajos se basa en la geometría de los bloques de cubicación que se delimitan mediante galería y subniveles sobre veta, la elección de este método es controlar la dilución y realizar una buena selectividad del mineral.

- d. Encima de la galería se deja un puente de 40 m de largo por 3 m de ancho, que servirá como piso al tajo, la construcción se realiza en toda la corrida de la veta y comunicando a las dos chimeneas laterales; a partir de esta viene a concurrir la primera franja de explotación de manera horizontal.
- e. Cuando se ha cortado la primera franja tenemos varias opciones de seguir avanzando tanto de manera horizontal o vertical, así como también se puede elaborar una chimenea al centro del tajo para realizar el bresating.
- f. La rotura y el acarreo producto de la perforación y voladura se ejecuta dentro del bloque mediante winches y rastrillos los cuales son llevados al echadero de la chimenea compartida aprovechando la gravedad e inclinación de la veta.
- g. En el echadero se acondiciona una tolva de madera para ir llenando sistemáticamente a los carritos mineros para su extracción hacia el exterior.
- h. El espacio vacío dentro del tajo producido por el acarreo del mineral es rellenado con material estéril producto de la exploración y desarrollo.

3.1.4. Seguridad.

- a. Los tajos ofrecen un área abierta para una eficiente ventilación, a pesar de la cantidad de polvo que puede generar la perforación y voladura.
- a. El sostenimiento del área abierta está fuertemente controlado a cada instante. Los pilares, puentes y relleno que se deja adicionado a esto los puntales en línea soportan de manera uniforme los esfuerzos por metro cuadrado.

- b. Las áreas que van quedando abiertas se irán llenando con desmote y abandonando paulatinamente, para lo cual se señalizará prohibiendo el ingreso a estas zonas.
- c. 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. Estos parámetros son:
 - ✓ Monóxido de Carbono
 - ✓ Oxígeno
 - ✓ Temperatura
 - ✓ Humedad relativa
 - ✓ Velocidad del aire
 - ✓ Presión atmosférica
- d. Es posible instalar una red de comunicación en interior mina, así como iluminación.
- e. La capacitación constante del personal de operaciones asegurará una caída de índices de severidad y frecuencia de accidentes.
- f. 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 mayores detalles ver los anexos n. ° 14 y 15

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la investigación se demostró que las características geométricas y geomecánicas del yacimiento de la concesión minera Alta Gracia (Tablas 11 y 24). Sirvieron como base para la selección del método de explotación aplicable en la extracción de Hierro 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 Calderón (2019) menciona que existen diferentes métodos subterráneos, por lo cual se crea la necesidad de seleccionar el que se adecue mejor a las condiciones de terreno, geológicas y geomecánicas del macizo rocoso y brinde la mejor rentabilidad económica y financiera. Esto implica que se debe de realizar la evaluación económica del método seleccionarlo Corte y Relleno para la explotación de la veta de Hierro de la Concesión Alta Gracia.

4.2 Conclusiones

- La evaluación geométrica nos ha permitido determinar que el yacimiento minero Alta Gracia es tipo veta, tiene forma tabular, potencia estrecha, inclinación intermedia y una distribución de leyes uniforme.
- La evaluación geomecánica a determinado que la resistencia a la carga puntual de la Caja Techo, mineral y Caja piso es Alta (1.03 MPa), Alta (1.12 MPa) y pequeña (0.58 MPa) respectivamente; El espaciamiento entre fracturas es grande, grande, pequeño y la resistencia de las discontinuidades es pequeña, pequeña y media.
- De acuerdo a la geometría de la veta y sus características geomecánicas del mineral, Caja Techo y Caja Piso se determinó que el método de explotación Corte y Relleno ascendente es técnicamente aplicable para la explotación de la veta de Hierro en la Concesión Minera Alta Gracia.
- El diseño del método de explotación Corte y Relleno para la extracción del mineral de la veta de Hierro en la Concesión Minera Alta Gracia es el método que recomendamos para su aplicación y su implementación de acuerdo a los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

De la Torre, L. (2016). *Realidad estratégica de sostenibilidad de los recursos naturales.*

Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=2&sid=e22bacb2-4729-4e66-9d72-254e5b3236a4%40sessionmgr4008&bdata=JmF1dGh0eXBIPXNoaWImbGFuZz1lcYzZaXRIPWVkcylsaXZl#AN=edstdx.10803.452454&db=edstdx>

Calderón, W. (2018). *Selección, aplicación y sostenibilidad del método de explotación por*

Corte y Relleno Ascendente de la veta Filomena - unidad minera Sotrami – Ayacucho.

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5164/MIcacaw.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sarayasi, N. (2017). *Explotación de la veta prometida mediante el método de corte y*

relleno ascendente selectivo unidad minera Santa Filomena empresa minera Sotrami

S.A. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2969/MIzesanh.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lozano, J. (2015). *Diseño de explotación por corte y relleno ascendente de la veta Mary*

en la empresa Produminsa, sector Bella Rica. Tesis para optar el título profesional de

Ingeniería en Geología y Minas. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4904/1/53T0006.%20pdf>

Paz, C. (2019). *Selección y aplicación del método de explotación por Corte y Relleno ascendente, para optimizar costos en la veta Gino I – empresa minera minas Icas S.A.C. – Ica*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7758/MIpazecz.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Cuadros, G. (2015). *Evaluación Geomecánica para el cambio de método de Open Stopping a Corte y Relleno Ascendente Convencional en la veta Atahualpa-Lola de la mina Poderosa*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga. Obtenido de http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/998/Tesis%20MN748_Cua.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Llanque Maquera, O. E., Navarro Torres, V. F., Durant Broden, J. G., Coíla Choque, Y. A., Calderón 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.

Campos, E. (2019). *Performance del método de explotación por cámaras y pilares en unidades mineras del Perú – 2018*. Proyecto de investigación e innovación. Obtenido de http://www.unsch.edu.pe/oficinas/vri/wp-content/uploads/2018/12/31Proyecto-2019_Campos-Edmundo.pdf.

Luna, H. (2011). *Minería subterránea y superficial y beneficio de minerales en el Perú*. Ministerio de Energía y Minas, Dirección de promoción minera, Lima. Perú.

PROESMIN. (s.f.). *Manual de Minería*. Obtenido de <http://proesmin.com/main/es:>
<http://www.proesmin.com/main/es/content/descargas-0>

- Vásquez, J. (2015). *Elección y aplicación del método tajeo por subniveles con taladros largos para mejorar la producción en la veta Gina Socorro Tajo 6675 - 2 de la U.E.A. Uchucchacua de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.* Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional del Centro del Perú obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3858>.
- Cotera, J. (2012). *Cambio de método de explotación minera de superficial a subterránea, para mejorar la recuperación de mineral en T17 Open Pit Of Kamoto Copper Company S.A.R.L. – Congo, África.* Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas. Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3168/Cotera%20Paucar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Herrera, H y Gómez, P (2007). *Diseño de Explotaciones e Infraestructuras Mineras Subterráneas.* Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas., Madrid, España.
- Cueva, D. y Rojas, K. (2018). *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, Universidad Privada del Norte. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14188/Cueva%20Quispe%20Diana%20Katherine%20Rojas%20Atalaya%20Kevin%20Ulises.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo Zegarra, M. (2018). *Incremento de la producción Mediante el Método de Explotación Corte y Relleno Ascendente Semi-mecanizado en el tajo 767 - CIA Minera Caudalosa S.A.* Tesis para optar al título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo. Obtenido de _____ de _____

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11171/Catillo%20Zegarra%2c%20Marvin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ortiz, C. (2018). Apuntes de curso de explotación de minas. Obtenido de Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas.

Bautista Condori, J. (2017). Diseño y Planeamiento de Minado Subterráneo para Incrementar la Producción diaria de la Unidad Operativa Pallancata-Proyecto Pablo-Compañía Minera Ares S.A.C. Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4072/Bautista_Condori_Julio_Saraeen.pdf?sequence=1

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio* (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Instrumentos de Recolección de datos.



Fuente: Elaborado por los autores

ANEXO n.º 2. 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 MINERAL

- 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 el yacimiento mineralizado.
- **Gradual o diseminado:** las leyes tienen una distribución zonal, identificándose cambios graduales de un punto a otro.
- **Errático:** No existe una relación espacial 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 3. 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
 - Media: 8 – 15
 - Alta: > a 15
-

2. ESPACIAMIENTO ENTRE FRACTURAS

	Fracturas/m	RQD (%)
- Muy pequeño	> 16	0 - 20
- Pequeño	10 -16	20 - 40
- Grande	3 – 10	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 la roca intacta.
-

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

ANEXO n.º 4. 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	E: Estrecha	T: Tumbado	U: Uniforme
T: Tabular	IT: Intermedio	IT: Intermedio	D: Diseminado
I: Irregular	P: Potente	IN: Inclinado	ER: Errático
	MP : Muy Potente		

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

ANEXO n.º 6. 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 7. 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 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 8. Tabla de resistencia de la roca en MPa en función al índice de carga

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 9. Ensayos de carga puntual.



Fuente: Elaborado por los Autores

ANEXO n.º 10. Resultados del Análisis de Carga Puntual de las muestras recolectadas en campo en el laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Privada del Norte.

Muestra	Tipo de Roca	Resistencia a la Carga Puntual (MPa)
M1 – P1	Mineral	0.17
M2 – P1	Caja Piso	0.28
M3 – P1	Caja Techo	2.09
M4 – P2	Mineral	1.86
M5 – P2	Caja Piso	0.39
M6 – P2	Caja Techo	0.10
M7 – P3	Caja Piso	1.08
M8 – P3	Mineral	1.33
M9 – P3	Caja Techo	0.9

Fuente: Elaborado por los Autores



Oscar Vásquez Mendosa
Coordinador de Laboratorio de Minería
Universidad Privada del Norte
Cajamarca

Fuente: Elaborado por los Autores

ANEXO n.º 11. Plano Concesiones Mineras.

PLANO CONCESIONES

LEYENDA

Simbología

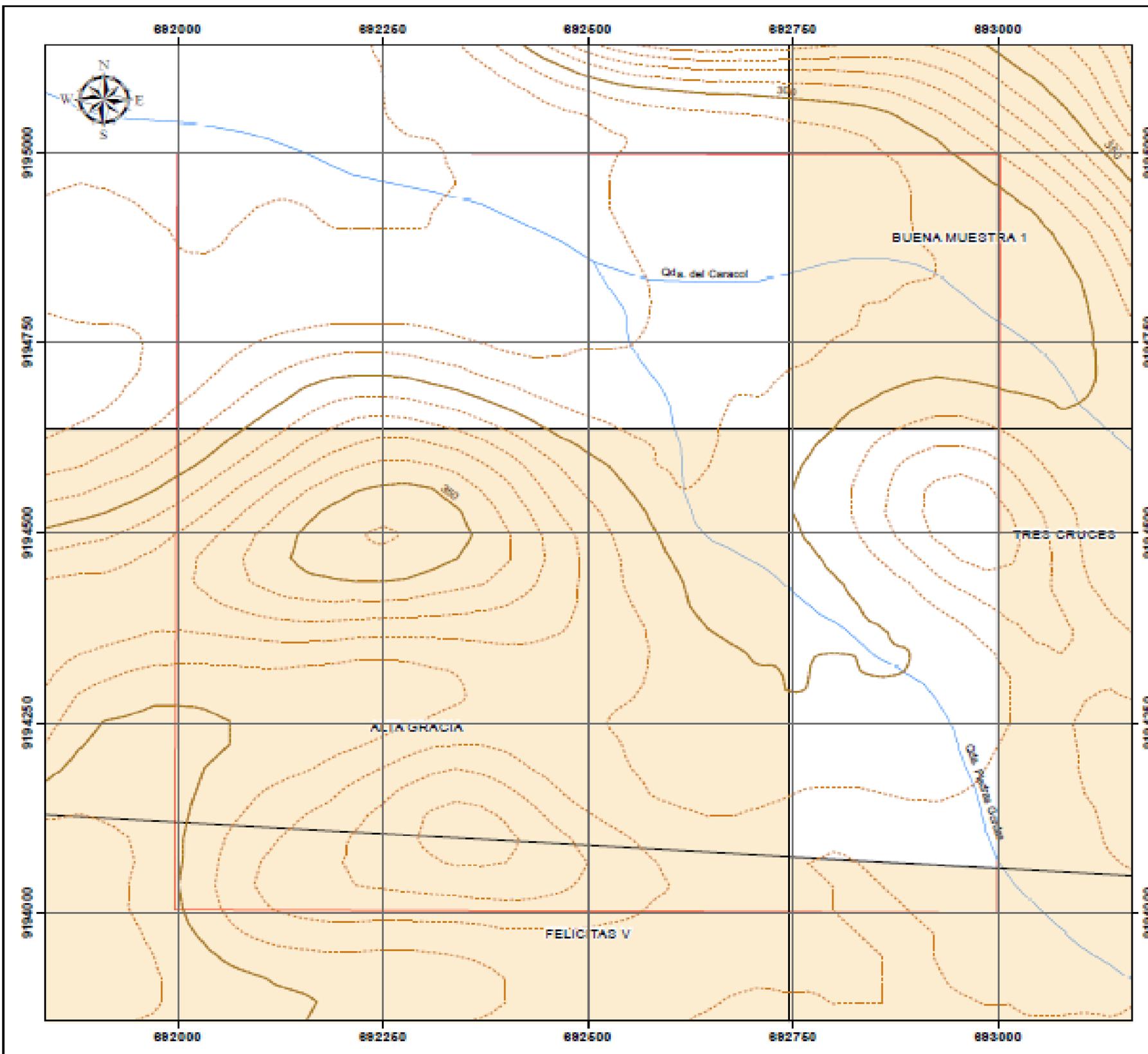
-  Curvas Mayores (50m)
-  Curvas Menores (10m)
-  Drenaje
-  Área de Investigación
-  Concesiones_Catastro Minero

PROYECCIÓN Y DATUM

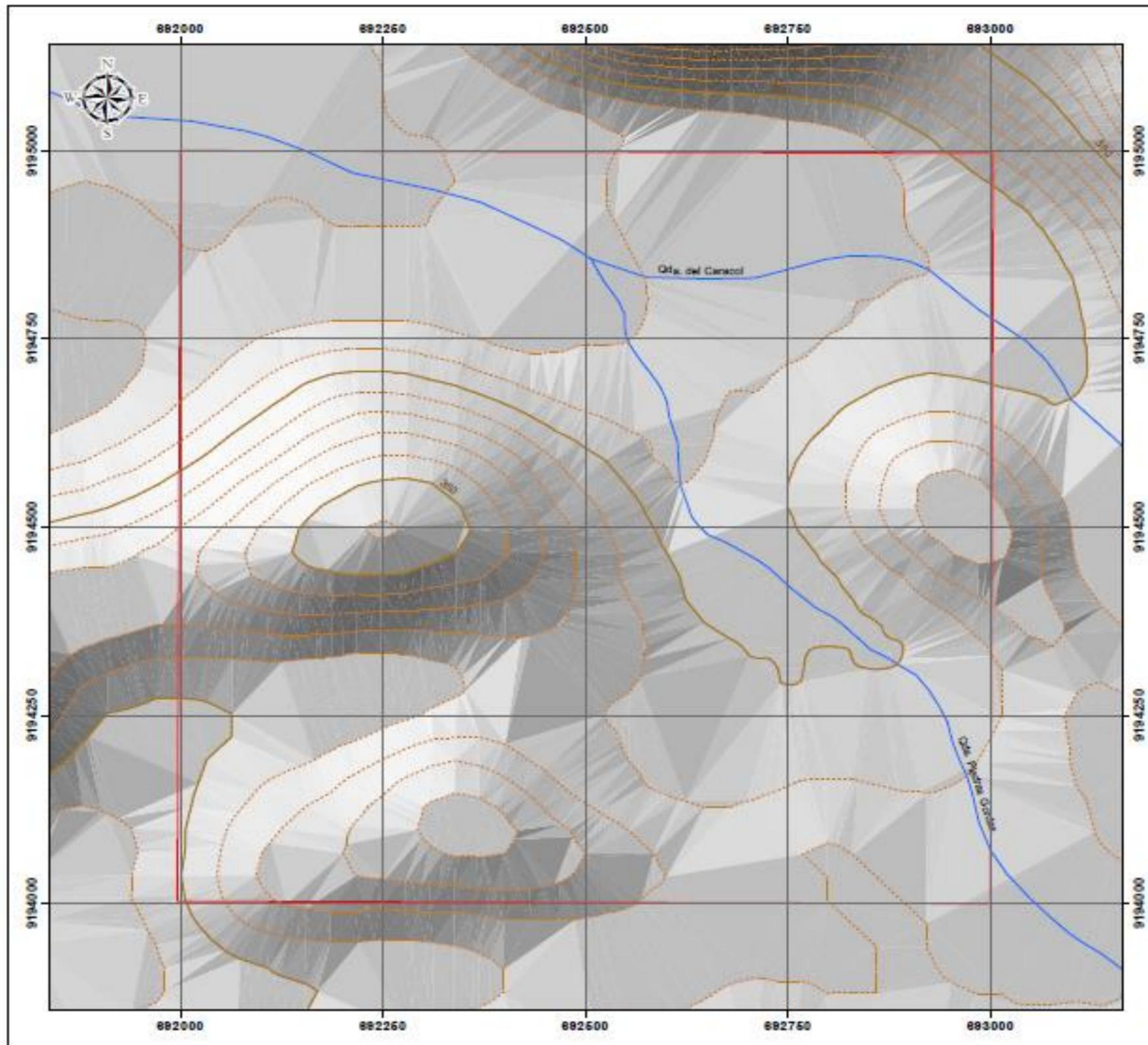
Sistema de Coordenadas Projectadas: UTM
Datum Horizontal: WGS 1984
Zona o Huzo Horario: 17 Sur

Escala: 1/5,000

0 250 500 Mts.



ANEXO n.º 12. Plano Topográfico.



PLANO TOPOGRÁFICO

LEYENDA

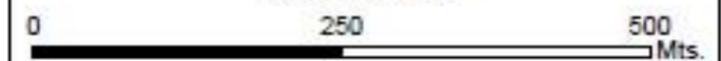
Simbología

-  Curvas Mayores (50m)
-  Curvas Menores (10m)
-  Drenaje
-  Área de Investigación

PROYECCIÓN Y DATUM

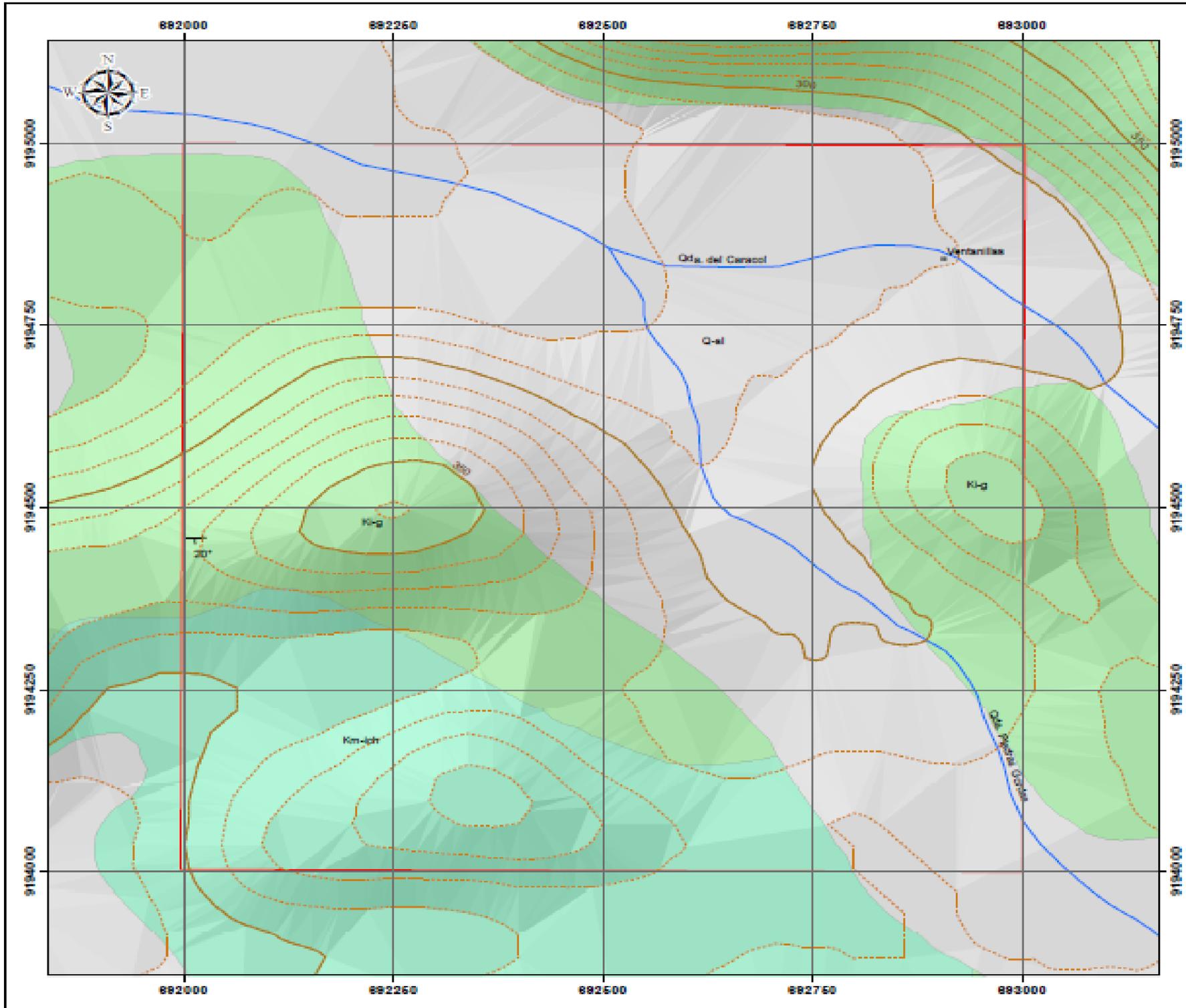
Sistema de Coordenadas Proyectadas: UTM
Datum Horizontal: WGS 1984
Zona o Huzo Horario: 17 Sur

Escala: 1/5,000



ANEXO n.º 13. Plano Geológico.

PLANO GEOLOGICO



LEYENDA

Simbología

- Curvas Mayores (50m)
- Curvas Menores (10m)
- Drenaje
- Área de Investigación

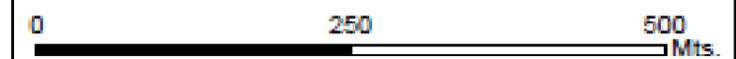
Litología

- Q-al (Cuaternario Aluvial)
- Km-lch (Cretaceo medio - Inca/Chulec)
- Kl-g (Cretaceo Inferior - Gpo. Gaoyllanisquizga)

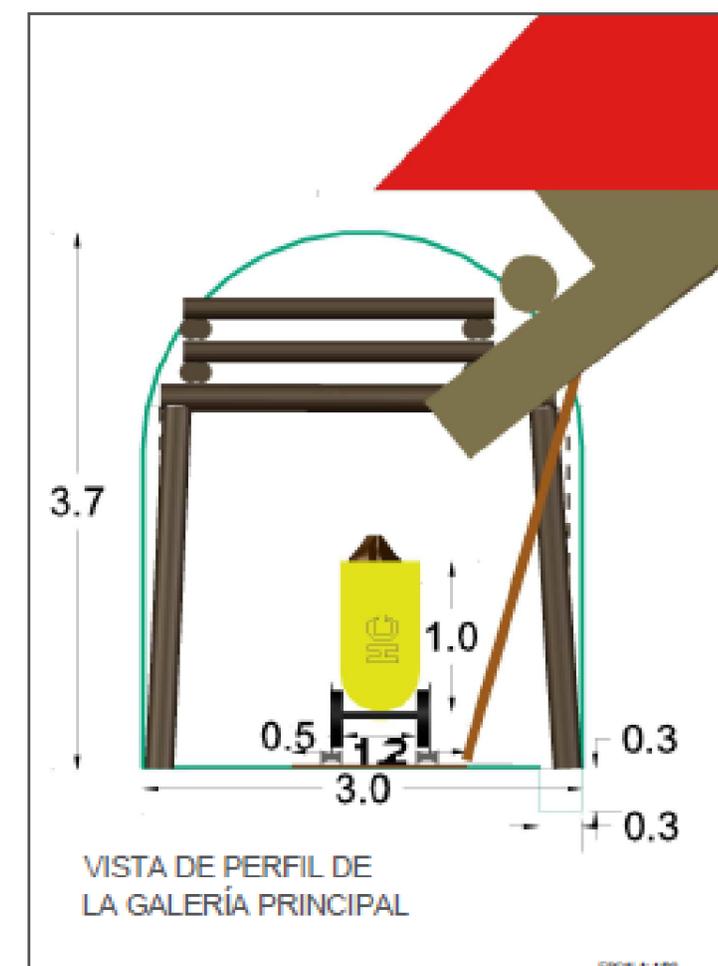
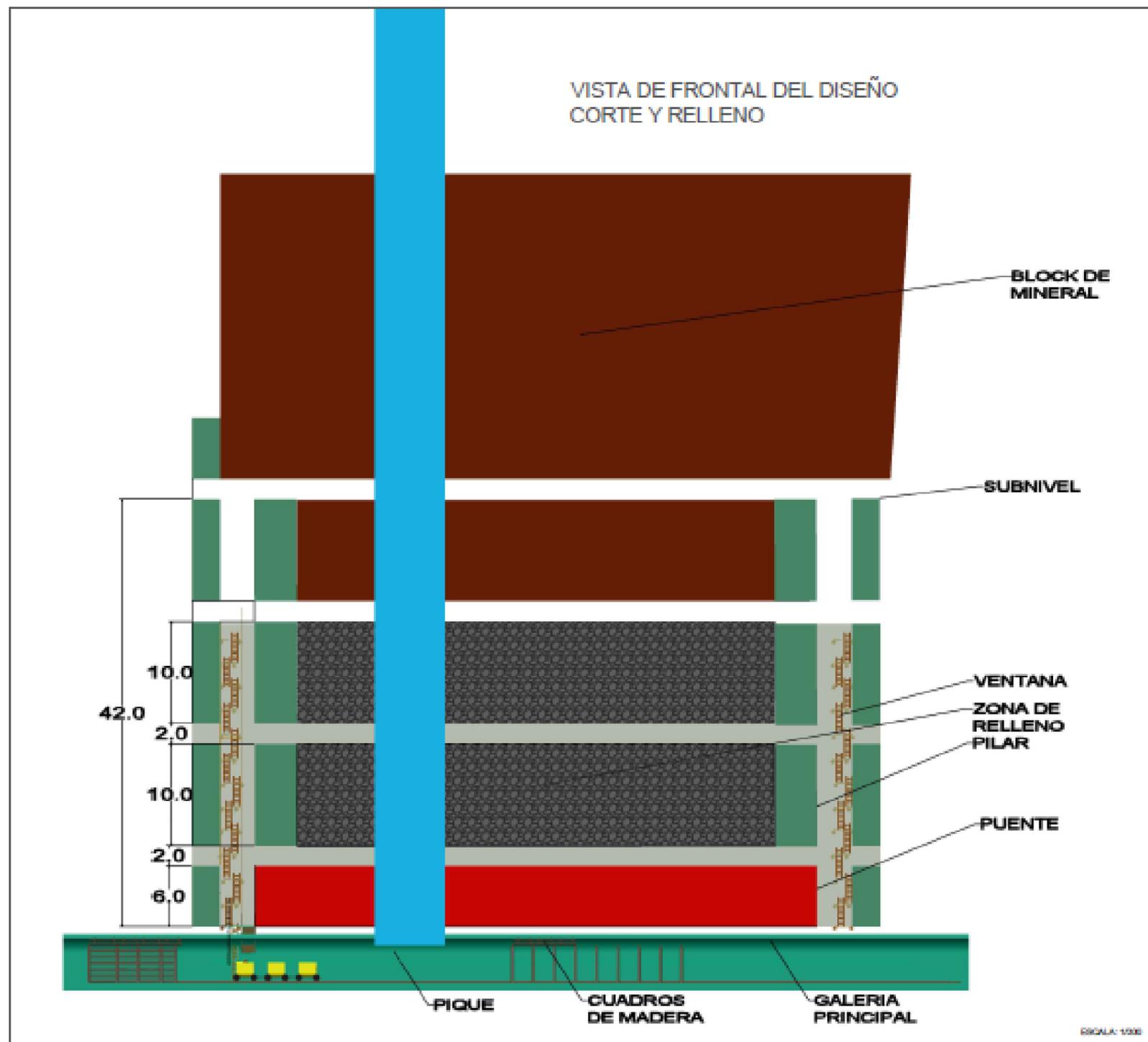
PROYECCIÓN Y DATUM

Sistema de Coordenadas Projectadas: UTM
Datum Horizontal: WGS 1984
Zona o Huzo Horario: 17 Sur

Escala: 1/5,000

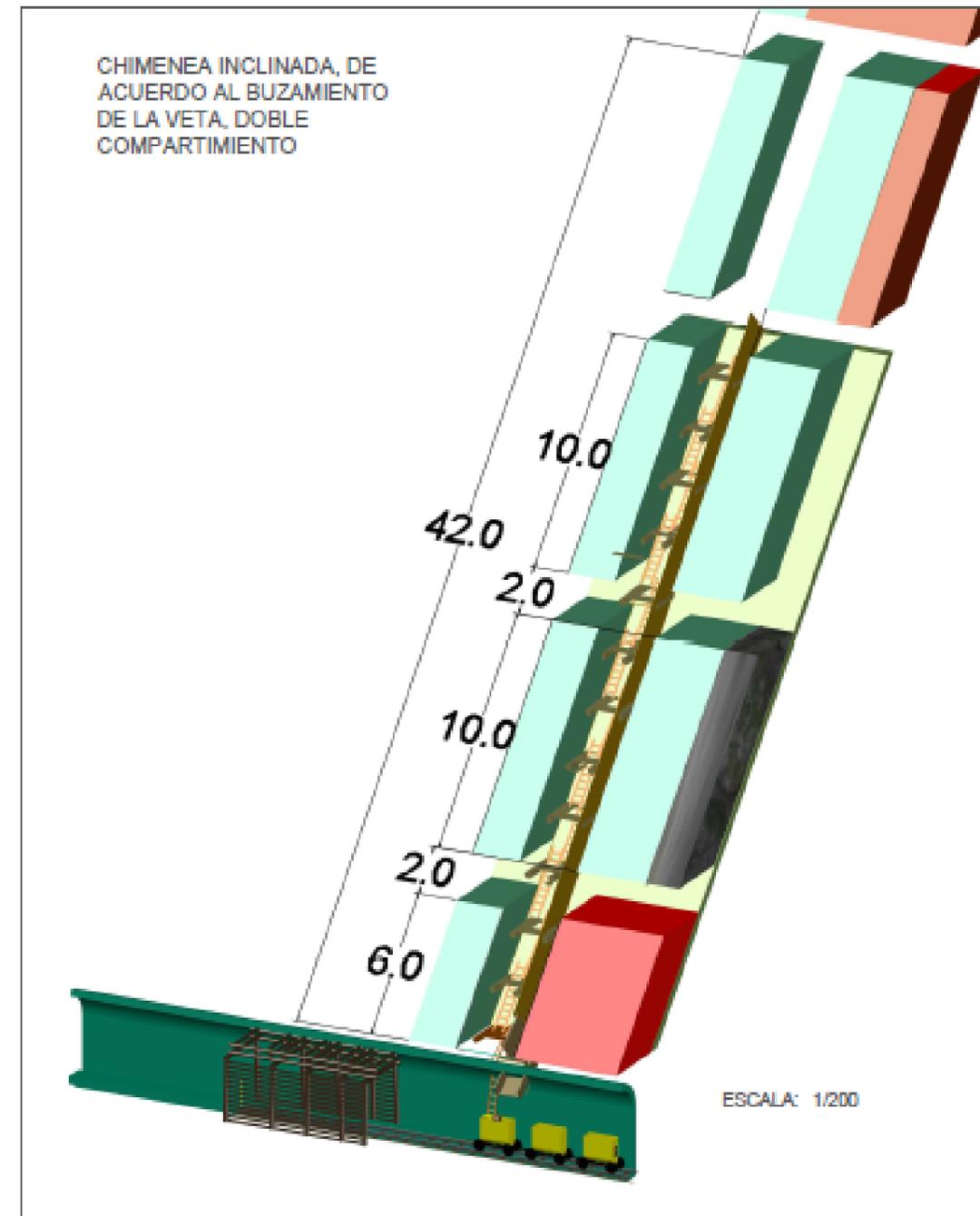
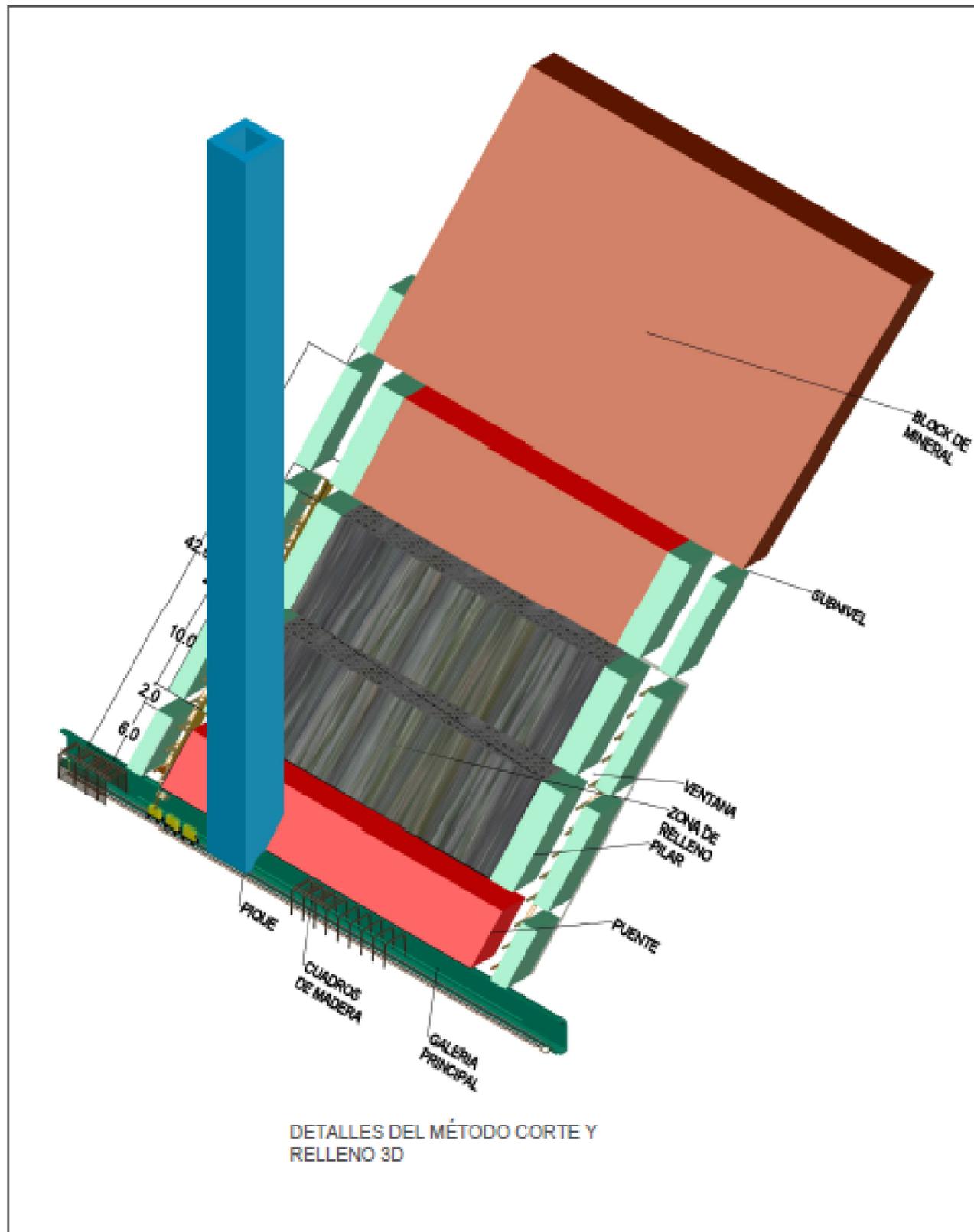


ANEXO n.º 14. Plano en planta de diseño del método de explotación Corte y Relleno.



	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	
	PROYECTO: CORTE Y RELLENO ASCENDENTE CONVENCIONAL DE LA CONCESIÓN MINERA ALTA GRADA YONAH 2019	
PUNTO: VISTA FRONTAL Y DE PERFIL		
ELABORADO POR: Bach. Aguirre Peréz, Débora Noemí Bach. Córdova Weber, Ingrid Isolina		
Copiadora Noviembre de 2019	ESCALA: 1:100	ESCALA: 1:50

ANEXO n.º 15. Imágenes 3D del diseño del método de explotación Corte y Relleno.



	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	
	PROYECTO: CORTE Y RELLENO ASCENDENTE CONVENCIONAL DE LA CONCESIÓN MINERA ALTA GRACIA YOMANI 2019	
	PLANO: ISOMETRICO 3D - DISEÑO	
	ELABORACIÓN: Revis: Aguilera Perillo, Dalmiro Noriel Revis: Coronado Weber, Ingrid Isolina	
	Capitaliza Noviembre de 2019	ESCALA: 1:400
		ESCALA: 1:200