

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Selección del método de explotación para el yacimiento minero salinas Cachihuancaray por la asociación de mineros artesanales Puca Cachi, 2018

Presentado por:

Avelino Acosta Venegas

Para optar el Título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



“TESIS”

“SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN PARA EL YACIMIENTO MINERO
SALINAS CACHIHUANCARAY POR LA ASOCIACIÓN DE MINEROS ARTESANALES
PUCA CACHI, 2018”

Presentado por **Avelino Acosta Venegas**, para optar el Título de:

INGENIERO DE MINAS

Sustentado y aprobado 30 de diciembre del 2021, ante el jurado evaluador:

Presidente:



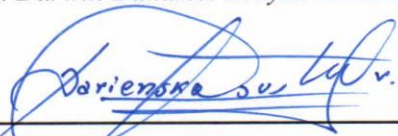
Ing. José Adolfo Cárdenas Catalán

Primer Miembro:



Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada

Segundo Miembro:



Mg. Dariensko Ronald Bustos Villena

Asesor:



Dr. Nelson Palemón Meza Peña

Agradecimiento

Un agradecimiento profundo a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, alma mater en la formación académica profesional para el desarrollo del Perú profundo.

Un agradecimiento especial a mi asesor de tesis al Dr. Nelson Palemón Meza Peña, por su apoyo incondicional, para que todo este estudio sea una realidad.

Agradecer a la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, por acogerme como su asesor técnico en todas las etapas de la actividad minera en el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray y por apostar en la investigación hasta lograr los resultados finales que hoy por hoy es una mina en funcionamiento y con ambiciones de convertirse uno de los mejores en su categoría.

Agradecer a la Comunidad Campesina del Distrito de San Antonio de Cachi, al pueblo en conjunto y a sus autoridades por acogernos y comprendernos como parte de ellos mismos. Buen, no todo ha sido color de rosas, pero gracias a la confianza seguimos para adelante.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi madre Natalia Venegas Alhuay y a mis hermanos Nicolás, Edith, Mayco y Nilda por haberme motivado y apoyado en todo momento de mi formación profesional invocando ¡La pobreza, no nos puede reducir la ingeniería, lo arreglará!. Gracias por todo, desde el fondo de mi corazón los agradezco y los debo un favor grandioso.

Dedico esta tesis a mi esposa Norma Pure Malmorejón y a mi hijita Esmeralda Alessia Acosta Pure por completar mi espíritu con amor y por incentivar que termine ya la tesis que tanto esperan la familia.

“Selección del método de explotación para el yacimiento minero salinas Cachihuancaray por la asociación de mineros artesanales Puca Cachi, 2018”

Línea de investigación: Minería y Procesamiento de Minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problema específico	5
1.3 Justificación de la investigación	5
CAPÍTULO II	6
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	6
2.1 Objetivos de la investigación	6
2.1.1 Objetivo general	6
2.1.2 Objetivos específicos	6
2.2 Hipótesis de la investigación	6
2.2.1 Hipótesis general	6
2.2.2 Hipótesis específicas	7
2.3 Operacionalización de variables	7
CAPÍTULO III	8
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
3.1 Antecedentes	8
3.2 Marco teórico	9
3.2.1 Clasificación de los métodos mineros.	9
3.2.1.1 Métodos de explotación a tajo abierto	9
3.2.1.2 Métodos de explotación subterránea	10
3.2.1.2.1 Métodos sin soporte	10
3.2.1.2.2 Métodos con soporte	10
3.2.1.2.3 Métodos de hundimiento	11
3.2.2 Sistema de Nicholas (1981)	11
3.2.3 Geología regional	15



3.2.4	Geología local.....	19
3.2.5	Aspectos litológicos.....	20
3.2.6	Geología estructural.....	21
3.2.7	Aspectos hidrogeológicos.....	21
3.2.8	Geología económica.....	25
3.2.9	Cálculo de reserva.....	26
3.2.10	Ensayo de propiedades físicas en el Laboratorio de Mecánica de Rocas.....	27
3.2.11	Modelo geomecánico.....	29
3.2.11.1	Geometría y características geotécnicas del proyecto.....	30
3.2.11.2	Yacimiento Equi-dimensional o masivo: dimensiones similares en todas las.....	30
3.2.11.3	Potencia del manto mineralizado de Halita.....	30
3.2.11.4.	Ángulo de inclinación del manto de halita.....	30
3.2.11.5.	Distribución de leyes del manto de halita.....	30
3.2.11.6	Resistencia de la Roca Intacta.....	31
3.2.11.7	Espaciamiento entre fracturas.....	32
3.2.11.8	Resistencia de las discontinuidades.....	34
3.3	Marco conceptual.....	36
CAPÍTULO IV.....		38
METODOLOGÍA.....		38
4.1	Tipo y nivel de investigación.....	38
4.1.1	Tipo de investigación.....	38
4.1.2	Nivel de investigación.....	38
4.2	Diseño de la investigación.....	38
4.3	Población y muestra.....	39
4.3.1	Población.....	39
4.3.2	Muestra.....	39
4.4	Procedimiento.....	40
4.5	Técnicas e instrumentos.....	44
4.5.1	Técnicas.....	44
4.5.2	Instrumentos.....	44
4.6	Análisis estadístico.....	44
4.6.1	Cálculo y gráfico estadístico.....	45
CAPÍTULO V.....		47
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		47
5.1	Análisis de resultados.....	47



5.1.1	Alternativa de Análisis de los métodos de minado	47
5.1.2	Selección del método de explotación apropiada	56
5.1.3	Aplicación del Método Cuántico de Nicholas.....	57
5.1.4	Resultados obtenidos.....	60
5.2	Discusión	61
CAPÍTULO VI.....		62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		62
6.1	Conclusiones.....	62
6.2	Recomendaciones	62
REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS		64
ANEXOS		66



ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 — Operacionalización de variables	7
Tabla 2 — Clasificación de la Geometría y Distribución de Leyes	12
Tabla 3 — Clasificación de las Características Geotécnicas.....	12
Tabla 4 — Clasificación de las Características Geotécnicas de Nicholas.....	13
Tabla 5 — Valoración de la zona mineral y caja techo de Nicholas.....	14
Tabla 6 — Valoración de la caja piso de (Nicholas, 1981).....	14
Tabla 7 — Columna del Cuadrángulo de Andahuaylas (28-p)	19
Tabla 8 — Cuadro resumen Hidrológico de la parte superficial mina.....	23
Tabla 9 — Registro de un riachuelo al frontis del proyecto.....	24
Tabla 10 — Parámetros físicos del riachuelo	24
Tabla 11 — Análisis químico de la muestra de Halita	25
Tabla 12 — Cuadro de resultados ensayo de propiedades físicas	28
Tabla 13 — Cálculo de reservas de la mina Salinas Cachihuancaray	29
Tabla 14 — Resistencia de la Roca Intacta	31
Tabla 15 — Resistencia de la compresión uniaxial.....	32
Tabla 16 — Número de discontinuidades	33
Tabla 17 — Espaciamiento entre fracturas del mineral.....	33
Tabla 18 — Espaciamiento entre fracturas pared colgante	33
Tabla 19 — Espaciamiento entre fracturas pared pendiente	34
Tabla 20 — Resistencia discontinuidades entre fracturas del mineral.....	34
Tabla 21 — Resistencia discontinuidades entre fracturas del pared colgante.....	34
Tabla 22 — Resistencia discontinuidades entre fracturas del pared pendiente.....	35
Tabla 23 — Resultado de las características Geomecánicas del macizo rocoso.....	35



Tabla 24 — Clasificación de la geometría y distribución de leyes	40
Tabla 25 — Características geomecánica de la matriz rocosa	41
Tabla 26 — Valoración de las características geomecánica del mineral.....	42
Tabla 27 — Valoración de las características geomecánica de la pared colgante.....	43
Tabla 28 — Valoración de las características geomecánica de la pared pendiente.....	43
Tabla 29 — Ingreso de datos de la aplicación del Método cuántico de Nicholas	45
Tabla 30 — Cálculo estadístico de la aplicación del Método Cuántico de Nicholas	45
Tabla 31 — Cálculo estadístico del Método cuántico de Nicholas	46
Tabla 32 — Criterios considerados para el manto Salinas Cachihuancaray	56
Tabla 33 — Aplicación del Método cuántico de Nicholas al yacimiento	57
Tabla 34 — Aplicación del Método cuántico de Nicholas al mineral.....	58
Tabla 35 — Aplicación del Método cuántico de Nicholas a la pared colgante.....	58
Tabla 36 — Aplicación del Método cuántico de Nicholas a la pared pendiente.....	59
Tabla 37 — Rating métodos para la aplicación del Método cuántico de Nicholas.....	59
Tabla 38 — Resultados después de aplicar el método cuántico de Nicholas	60
Tabla 39 — Matriz de consistencia	67
Tabla 40 — Cuadro de resultados ensayo de propiedades físicas	70
Tabla 41 — Cuadro de resultados de ensayo a la resistencia a la compresión uniaxial.....	74



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Geología regional del Proyecto simplificado.....	16
Figura 2 — Arcillas rojas intercaladas con horizontes calcáreos.....	20
Figura 3 — Calizas de Cabramachay	21
Figura 4 — Aspecto hidrogeológico del Proyecto simplificado	22
Figura 6 — Ensayo de compresión uniaxial.....	31
Figura 7 — Diagrama de Flujo del diseño de investigación	39
Figura 8 — Histograma y polígono de frecuencia	46
Figura 9 — Tajo bierto (Open Pit)	47
Figura 10 — Hundimiento por bloques (Block Caving)	48
Figura 11 — Cámaras por Subniveles (<i>Sublevel Stopping</i>)	49
Figura 12 — Hundimiento por subniveles (Sublevel Caving)	50
Figura 13 — Tajos Largos (Longwall Mining).....	51
Figura 14 — Cámaras y pilares (Room and Pillar)	52
Figura 15 — Cámaras almacén (Shrinkage Stopping).....	53
Figura 16 — Corte y Relleno (Cut and Fill).....	54
Figura 17 — Hundimiento por Rebanadas (Top Slicing)	55
Figura 18 — Cuadros de Madera	56
Figura 20 — Principio de Arquímedes para el cálculo de la densidad de Halita.....	69
Figura 21 — Muestras de Halita para el ensayo de compresión uniaxial	71
Figura 22 — Equipo sacatesticos de Halita.....	71
Figura 23 — Equipo cortadora de testigos de laboratorio y esmerilado	72
Figura 24 — Probetas de Halita para el ensayo de compresión uniaxial	72



Figura 25 — Equipo semi automático digital para el ensayo de compresión uniaxial	73
Figura 26 — Probeta después del ensayo a la resistencia de compresión uniaxial	73
Figura 28 — Mantenimiento de cuadros de madera	75
Figura 29 — Personal minero preparados para los trabajos en las cámaras y pilares	76
Figura 30 — Galería principal a estándar actual y acceso a las cámaras y pilares	76
Figura 31 — Piqueo manual en los frentes de las cámaras y pilares	77
Figura 32 — Comercialización de la Halita en bloques	77
Figura 33 — Plano ubicación del proyecto minero Puca Cachi	78
Figura 34 — Plano área de trabajo	79
Figura 35 — Plano de la infraestructura a instalar	80
Figura 36 — Topografía subterráneo mina AMA Puca Cachi	81
Figura 37 — Vista horizontal de la mina AMA Puca Cachi	82
Figura 38 — Cálculo de reservas del proyecto minero Puca Cachi	83



INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de tesis está centrado en la mina de Halita, la cual pertenece a la concesión de Salinas Cachihuancaray de la empresa QUIMPAC S.A. Anteriormente fue explotada por EMSAL una empresa peruana por el mineral de Halita en su forma masiva natural para el consumo del ganado vacuno, ovino, caprino y otros en bloques considerables como para que pueda lamer como un chupete en sus establos o granjas. La mina de Halita estuvo abandonada por más de 30 años y hoy por hoy, con el crecimiento poblacional y la subida del precio de los metales se pretende explotar respetando la legislación minera. Actualmente, la mina de halita se encuentra en manos de una asociación comunal acreditada por la Dirección regional de minería de Apurímac y nace en el año 2015.

“[...] en su primera edición Osinergmin”La industria minera en el Perú: 20 años de contribución al crecimiento y desarrollo económico del país” afirma que con la llegada del boom minero la historia del Perú cambió en la economía y social como un caso de éxito en los últimos años de su historia. Las exportaciones mineras crecieron notablemente hasta en un 77%, entre los años 2002 y 2015” (TAMAYO, 2017 pág. 21).

La razón por la que se realiza el presente informe de tesis, es por la importancia que tiene la selección del método de explotación apropiada para reducir los costos operativos en la producción de Halita y la seguridad para los trabajadores en conjunto. Por entonces el equipo técnico y el personal de la Asociación de Mineros Artesanales-Puca Cachi ha hecho trabajos de exploración en la boca mina Ama Puca Cachi, descubriendo un cuerpo mineralizado de Halita de baja a buena calidad en forma de manto. El método de explotación apropiada a seleccionar, se realizará desde un punto de vista técnico y económico, según Nicholas y con ello se viabilizará la extracción de la halita.



RESUMEN

La presente investigación, titulada “Selección del método de explotación para el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray por la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018”. Localizada en el departamento de Apurímac, provincia de Andahuaylas y distrito de San Antonio de Cachi a una altura promedio de 3522.51m.s.n.m, el cual nos permitió precisar: las formaciones de la geología regional y local, características geomecánicas y valorar los parámetros del método numérico de Nicholas (1981). El objetivo de Seleccionar el método de explotación apropiado al aplicar el método numérico de Nicholas para el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray por la asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018. Para ello se desarrolló la evaluación geomecánica propuesta por Nicholas, valorando los parámetros de forma, potencia, inclinación y distribución de leyes. Haciendo la evaluación geométrica se llega a la conclusión que: el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray es de tipo manto, forma equidimensional o masivo, potencia intermedia de 10 a 30 metros, ángulo de inclinación horizontal de 0 a 20°, distribución de leyes se mantiene constante en cualquier punto. Desarrollando la evaluación geomecánica se tiene un resultado de: resistencia de la roca intacta a compresión uniaxial según resultados del laboratorio de mecánica de rocas de la Escuela Académico profesional de Ingeniería de Minas-UNAMBA fue de competencia alta; para el mineral de arranque 19.59 MPa, para la caja pendiente 17.51 MPa y para la caja colgante 21.84 MPa, espaciamiento entre fracturas poco fracturado; para el mineral de arranque, caja pendiente y caja colgante poco fracturado con RQD de 40 a 70%, Resistencia de las discontinuidades media; para el mineral de arranque, caja piso y caja techo limpia con una superficie rugosa.

De acuerdo a la geometría del manto y las características geomecánicas del mineral de arranque, caja pendiente y caja colgante se concluye que el método de explotación a seleccionar es cámaras y pilares.

Palabra clave: Selección, método, explotación, Yacimiento minero.



ABSTRACT

This research is entitled "Selection of the exploitation method for the Salinas Cachihuancaray mining deposit by the Artisanal Miners Puca Cachi, 2018 Association. The Salinas Cachihuancaray mining deposit is located in the department of Apurimac, province of Andahuaylas, and district of San Antonio de Cachi. It is located at an average altitude of 3522.51m.a.s.l., which allowed us to specify: the formations of the regional and local geology, geomechanically characteristics and, assess the parameters with the numerical method of Nicholas (1981). The objective is to select the appropriate method of exploitation by applying the numerical method of Nicholas for the Salinas Cachihuancaray mining deposit by the Artisanal Miners Puca Cachi, 2018 Association. For this purpose, the geomechanically evaluation proposed by Nicholas was developed, assessing the parameters of shape, power, gradient, and ore grade distribution. With the geometric evaluation, it is concluded that: the Salinas Cachihuancaray mining deposit is of mantle type, equidimensional or massive shape, intermediate power from 10 to 30 meters, horizontal inclination angle from 0 to 20°, grade distribution remains constant at any point. Developing the geomechanically evaluation, we have as result the resistance of the intact rock to uniaxial compression according to results of the Mechanics of Rocks Laboratory of the Academic, Professional School of Engineering of Mines-UNAMBA. This result was of high competition for the start-up ore 19.59 MPa, for the sloping box 17.51 MPa and, for the hanging box 21.84 MPa, spacing between fractures with low fragmentation; for start-up ore, sloping box and hanging box little fractured according to RQD from 40 to 70%, Average disruption's resistance; for start-up ore, sloping box and clean roof box with a rough surface.

According to the geometry of the mantle and the geomechanically characteristics of the start-up ore, sloping box, and hanging box, it is concluded that the mining method to be selected is rooms and pillars.

Keyword: *Selection, method, exploitation, mining deposit.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Para comprender desde un punto de vista comparativo que se asemeje a nuestro estudio veamos la siguiente problemática para luego describir nuestra investigación “in situ”.

“La veta colorada que se ubica en el departamento de Cajamarca-Hualgayoc de hace años se explota con una minería artesanal, empleando herramientas manuales artesanales como lampas, picos, puntas y cincel, carretilla, combas, barreta, alfombra de jebe y sacos. Hasta la actualidad no cuentan con un método de explotación específico a falta de un estudio de las características de forma y geomecánica, ante esto se propone a la problemática de determinar cuál es el método de minado apropiado para la explotación que se adecue al yacimiento” (BELLOSO GOMEZ, y otros, 2020, pág. 11).

El mineral de Halita ubicada en el departamento de Apurímac-San Antonio de Cachi, básicamente se explota de manera artesanal y con herramientas manuales permitidas en su categoría como minero artesanal. Pero para su explotación cabal no se tiene un estudio técnico de las características y geomecánica del yacimiento. Ante esta problemática el presente trabajo de investigación pretende encontrar el mejor método de explotación para aumentar la producción, bajar los costos de minado para garantizar los mejores beneficios para la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el método de minado apropiado para la explotación al utilizar el método numérico de Nicholas para el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray por la asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018?



1.2.2 Problema específico

- ¿Cuáles son las formaciones de la geología regional y local en el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray?
- ¿Cómo influye los resultados de los estudios técnicos en el laboratorio de mecánica de rocas que permita evaluar las características geomecánicas del macizo rocoso para elegir un método de minado de explotación apropiado para el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi?
- ¿Cuál es el resultado del análisis técnico al utilizar las ponderaciones sugeridas de la tabla de valores del método numérico de Nicholas para el manto mineralizado del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi?

1.3 Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación de tesis, tiene como fin seleccionar el método de minado óptimo para la explotación racional del manto mineralizado del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Mina AMA Puca Cachi, mediante la aplicación de las ponderaciones sugeridas del método numérico de Nicholas (1980).

La demanda del consumo de halita o sal de piedra en la actualidad ha crecido, por el consumo masivo del sector pecuario en los departamentos de Apurímac, Ayacucho y Huancavelica. Para satisfacer esa necesidad, la asociación organizada hace los esfuerzos de realizar estudios técnicos utilizando el Laboratorio de mecánica de rocas de la escuela Académica profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA). Con los resultados obtenidos se establece que el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray se explotará con el método de minado cámaras y pilares que garantice la sostenibilidad productiva.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Seleccionar el método de minado apropiado para la explotación al utilizar el método numérico de Nicholas para el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray por la asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar las formaciones de la geología regional y local en el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray.
- Determinar el método de explotación apropiado que se adecua mejor a las características geomecánicas del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018.
- Obtener los resultados del análisis técnico al utilizar las ponderaciones sugeridas del método numérico de Nicholas para el manto mineralizado del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

Al aplicar el método numérico de Nicholas se obtendrá la selección del método de explotación apropiado que sea factible y viable para el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray, por la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018.



2.2.2 Hipótesis específicas

- Haciendo el cateo y prospección de campo se logrará identificar las formaciones de la geología regional y local en el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray.
- Los estudios técnicos en el laboratorio de mecánica de rocas permite evaluar las características geomecánicas del macizo rocoso para luego adaptar los resultados al método de minado electa para la explotación racional del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi.
- La tabla de valores del método numérico recomendada por Nicholas será de mucha ayuda para la selección del método minado para la explotación racional del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de variables

Designación de la variable	Dimensiones	Indicadores	Índices
X:Variable independiente Manto de Halita	Macizo rocoso de la Halita	Clasificación geomecánica	RQD (%)
	Discontinuidades del macizo rocoso de la Halita	Nº de familias	Nº
	Hidrología	Agua	Seco, Húmedo, Goteo, Flujo
Y:Variable dependiente Método de explotación	Características geomecánicas	Resistencia geomecánica	Mpa
	Tipo de sostenimiento	Cuadros de madera y autosorte de pilares	Unidades
	Clasificación de los métodos mineros	Minado superficial	Tajo abierto
		Minado subterráneo	Cámaras y pilares

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

La explotación de los yacimientos por parte de la pequeña minería y minería artesanal en nuestro país y sobre todo en nuestra región de Apurímac se incrementó, con ello también la necesidad de extraer el mineral con seguridad a la persona y las máquinas a utilizar y que deje utilidades para seguir creciendo la entidad minera. Realizando estudios técnicos de campo, laboratorio de mecánica de rocas y aplicando las ponderaciones sugeridas de la tabla de valores del método numérico de Nicholas a continuación, realizaremos un estudio orientado a seleccionar un método de minado para explotar el manto mineralizado del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray.

Dentro del artículo desarrollado (NICHOLAS, 1981, págs. 39-53), menciona que:

“Un proceso numérico para seleccionar un método de minería, con el énfasis sobre técnicas de minería masiva subterránea, como la espeleología, espeleología inducida y parada, es propuesto”.

Precisando, las tablas propuestas en orden lógico con valores recomendadas por Nicholas evalúa 10 métodos de minado para la explotación de minería subterránea, con el objetivo de encontrar un valor numérico y que sea ventajoso al yacimiento para la explotación racional, haciendo estudios de campo del yacimiento considerando la geometría, geología local y regional y estudios técnicos en laboratorio sobre las características geomecánicas del macizo rocoso, para obtener un método de minado adaptable y con mayor beneficio económicamente rentable.

Además, Nicholas en las tablas propuestas en orden lógico ponderando valores que caracterice un método de explotación factible con estudios de campo y laboratorio: Un valor ponderado de 3 o 4 indica que característica se prefiere para el método de minado. Un valor ponderado de 1 o 2 indica que una característica es probablemente factible, mientras que un valor ponderado de 0 indica que una característica probablemente no es



factible para el método de minado. Finalmente, un valor ponderado de -49 indicaría que una característica elimina completamente a dicho método de minado por no ser factible. Por lo anterior se puede decir que es posible determinar técnicamente el mejor método de explotación que realmente se pueda adaptar al yacimiento que se tiene, ya que cada uno es de carácter único.

Dentro del artículo Revista Ingeniería, Investigación y desarrollo (GALVIS BOTÍA, 2015 págs. 20-38) menciona que:

En la explotación subterránea de la mina Catedral de Sal de Zipaquirá se hace estudios técnicos de las propiedades físicas y mecánicas de la matriz rocosa para contrastar la estabilidad de las cámaras denominadas 360, 380 y 400. Con los resultados obtenidos en el laboratorio de mecánica de rocas se evalúa los esfuerzos verticales y horizontales sobre los machones y columnas, considerando los planos de discontinuidades en la sal con sostenimiento natural “in situ”. Por último, se estudian los factores que afectan la mayor inestabilidad para definir cuál de ellos repercute de manera dominante y elegir un método de minado para mitigarlo.

3.2 Marco teórico

Para este estudio de marco teórico vamos a tomar los apuntes del profesor Julián Ortiz Cabrea, docente catedrático de la universidad de Antofagasta de Chile.

3.2.1 Clasificación de los métodos mineros

“El método de explotación de minado es de suma importante que permite la excavación y extracción de un yacimiento mineralizado haciendo los estudios técnico y económico más eficiente (ORTIZ CABRERA, 2007 págs. 271-272). Se puede clasificar, de la siguiente forma:

- Métodos de explotación a tajo abierto
- Métodos de explotación subterránea

3.2.1.1 Métodos de explotación a tajo abierto

Entre los métodos de explotación a tajo abierto se pueden describir de acuerdo en el lugar que se encuentre (ORTIZ CABRERA, 2007):

- Tajo abierto. Es el método que se utiliza en la explotación de yacimientos metálicos y no metálicos de gran dimensión y forma que sea favorables a las condiciones geológicas y geomecánicas.
- Cantera. Es la explotación de mineral no metálica de uso industrial, como es el caso de la cuarzo, caliza y piedra de construcción.
- Placeres. Es la explotación de depósitos de arena en ríos o playas, con el fin de recuperar oro u otros elementos químicos valiosos.

3.2.1.2 Métodos de explotación subterránea

“Los métodos de explotación subterránea, se caracteriza según la cavidad que deja la extracción de mineral en los frentes de arranque. Durante la explotación de un yacimiento determinado requiere variar y combinar los métodos acordes a las características geológicas y mecánicas” (ORTIZ CABRERA). Por consiguiente se tiene:

3.2.1.2.1 Métodos sin soporte

Consiste en la extracción del mineral dejando la cámara que éste ocupaba, vacía. Para ello, la cámara debe mantenerse estable en forma natural.

Estas cámaras vacías se clasifican de acuerdo a la abertura que deja la explotación:

- Cámaras y Pilares con relleno (Post room and Pillar).
- Cámaras y Pilares con piso escalonado (Step room and Pillar).
- Cámara almacén (Shrinkage Stopping).
- Cámara por subniveles (Sublevel Stopping).
- Cámara por subniveles con banque vertical (Vertical Crater Retreat).

3.2.1.2.2 Métodos con soporte

Para mantener estables las cámaras explotadas es necesario usar sostenimiento activo o pasivo y las cámaras deben quedar rellenas con material exógeno. Los métodos que se distinguen, son como:

- Corte y relleno soportado.
- Cuadros de madera autosopordados.
- Métodos de relleno de atrás.
- Banqueo y relleno soportado.
- Cuadros de madera autosopordados.
- Banqueo y relleno soportado.

3.2.1.2.3 Métodos de hundimiento

Consiste en que las cámaras realizadas por el aprovechamiento del mineral y son rellenas con el material estéril o mineral mientras dura la explotación y al final son retirados (ORTIZ CABRERA). Este trabajo simultáneo a la extracción genera los siguientes métodos, tales como:

- Hundimiento de tajo largo (Longwall Mining)
- Hundimiento por subniveles (Sublevel Caving).
- Hundimiento por bloques (Block Caving).
- Hundimiento por panel (Panel Caving).

3.2.2 Sistema de Nicholas (1981)

Según la tesis de (MURUAGA ROJAS, 2016) titulada “Selección de Métodos de Explotación para vetas Angostas” hace los estudios bibliográficos y la secuencia de aplicación del sistema de Nicholas, de la siguiente forma:

El sistema propuesto por Nicholas, selecciona los métodos de explotación factibles, de acuerdo a un ranking numérico, por lo que se trata de un sistema cuantitativo. Para emplear el sistema de Nicholas, 1° paso consiste en definir la geometría del yacimiento y distribución de leyes dando uso la información de la Tabla 2. Luego se definen las características geotécnicas y macizo rocoso utilizando la Tabla 2.

Una vez definida la geometría, distribución de leyes y las características del yacimiento, se formula un ranking numérico para los métodos de explotación en estudio, sumando los valores presentados en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 2 — Clasificación de la Geometría y Distribución de Leyes

Sistema de Nicholas	
General shape/width	
Equi-dimensinal (M)	All dimensions are on same order of magnitude.
Platy-tabular (P/M)	Two dimensions are many times the thickness, which does not usually exceed 100m.
Irregular (I)	Dimensions vary over short distances.
Ore thickness	
Narrow (N)	< 10m
Intermediate (I)	10-30m
Thick (T)	30-100m
Very thick (VT)	>100m
Plunge	
Flat (F)	<20°
Intermediate (I)	20°-55°
Steep (S)	>55°
Grade distribution	
Uniforme (U)	Grade at any point in deposit does not vary significantly from mean grade for that deposit.
Gradational (G)	Grade values have zonal characteristics, and the grades change gradually from one to another.
Erratic Grade (EG)	Values change radically over short distances and do not exhibit any discernible pattern in changes.

Extraído de (NICHOLAS, 1981)

Tabla 3 — Clasificación de las Características Geotécnicas

Sistema de Nicholas		
Rock Substance Strength (uniaxial strength/overburden pressure)		
Weak (W)		<8
Moderate (M)		8--15
Strong (S)		>15
Fracture frequency	No. Of fractures/m	% RQD
Very Close (VC)	>16	0 - 20
Close (C)	10--16	20 - 40
Wide (W)	3--10	40 - 70
Very wide (VW)	<3	70 - 100
Fracture Shear Strength		
Weak (W)	Clean Joint with smooth surface or fill with material with strength less than rock substance strength	
Moderate (M)	Clean Joint with rough surface	
Strong (S)	Joint filled with material that is equal to or stronger than rock substance strength	

Extraído de (NICHOLAS, 1981)



Tabla 4 — Clasificación de las Características Geotécnicas de Nicholas

Sistema de Nicholas													
Mining Method	General Shape			Ore thickness				Ore Plunge			Grade Distribución		
	M	T/P	I	N	I	T	TV	F	I	S	U	G	E
Open-pit mining	3	2	3	2	3	4	4	3	3	4	3	3	3
Block caving	4	0	2	-49	0	2	4	3	2	4	4	2	0
Sublevel stopping	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	3	1
Sublevel caving	3	4	1	-49	0	4	4	1	1	4	4	2	0
Lonwall mining	-49	4	-49	4	0	-49	-49	4	0	-49	4	2	0
Room-and-pillar mining	0	4	2	4	2	-49	-49	4	1	0	3	3	3
Shrinkage stopping	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1
Cut-and-fill stopping	0	4	2	4	4	0	0	0	3	4	3	3	3
Top slicing	3	3	0	-49	0	3	4	4	1	2	4	2	0
Square-set stopping	0	2	4	4	4	1	1	2	3	3	3	3	3

Extraído de (NICHOLAS,1981)



Tabla 5 — Valoración de la zona mineral y caja techo de Nicholas

Sistema de Nicholas										
Mining Method	Rock Substance Strength			Fracture Spacing				Fracture Strength		
	W	M	N	VC	C	W	VW	W	M	S
Ore Zone										
Open-pit mining	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block caving	4	1	1	4	4	3	0	4	3	0
Sublevel stopping	-49	3	4	0	0	1	4	0	2	4
Sublevel caving	0	3	3	0	2	4	4	0	2	2
Lonwall mining	4	1	0	4	4	0	0	4	3	0
Room-and-pillar mining	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Shrinkage stopping	1	3	4	0	1	3	4	0	2	4
Cut-and-fill stopping	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2
Top slicing	2	3	3	1	1	2	4	1	2	4
Square-set stopping	4	1	1	4	4	2	1	4	3	2
Hanging Wall										
Open-pit mining	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block caving	4	2	1	3	4	3	0	4	2	0
Sublevel stopping	-49	3	4	-49	0	1	4	0	2	4
Sublevel caving	3	2	1	3	4	3	1	4	2	0
Lonwall mining	4	2	0	4	4	3	0	4	2	0
Room-and-pillar mining	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Shrinkage stopping	4	2	1	4	4	3	0	4	2	0
Cut-and-fill stopping	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2
Top slicing	4	2	1	3	3	3	0	4	2	0
Square-set stopping	3	2	2	3	3	2	2	4	3	2

Extraído de (NICHOLAS, 1981)

Tabla 6 — Valoración de la caja piso de (Nicholas, 1981)

Sistema de Nicholas										
Mining Method	Rock Substance Strength			Fracture Spacing				Fracture Strength		
	W	M	N	VC	C	W	VW	W	M	S
Footwall										
Open-pit mining	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block caving	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Sublevel stopping	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4
Sublevel caving	0	2	4	0	1	2	3	0	2	4
Lonwall mining	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3
Room-and-pillar mining	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3
Shrinkage stopping	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Cut-and-fill stopping	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2
Top slicing	2	3	3	1	3	3	3	1	2	3
Square-set stopping	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2

Extraído de (NICHOLAS, 1981)

Los valores en las tablas anteriormente, representan la preferencia de las características para un método de explotación en particular:

- Los valores ponderados 3 y 4 indican que la característica es apropiada para un método de explotación.
- Los valores ponderados 1 y 2 indican que la característica es medianamente apropiada para un método de explotación.
- el valor ponderado 0 indica que la característica no promueve el uso del método de explotación.
- El valor ponderado -49 indica que la característica debe ser completamente descartada para el método en estudio.

3.2.3 Geología regional

(INGEMMET, 2003 pág. 15), Para este estudio seguiremos al Sistema Geológico Catastral Minero (Geocadmin) describe la zona en estudio una sección transversal al alineamiento andino, mostrando en unidad geomorfológica de oeste a este, Cordillera Occidental. Está formada por gruesas sucesiones de rocas volcánicas y sedimentarias, generalmente de edad cenozoica.

La zona del proyecto minero Puca Cachi de la concesión minera Salinas Cachihuancaray se compara con el antiguo cuenca occidental peruano que comenzó a individualizarse en el Jurásico Inferior con el inicio del recodo volcánico Chocolate (190-170 Mama), y la carga sedimentaria con carbonatos, turbiditas y silico-clásticos hasta el Cretácico Inferior. Luego, en el Cretácico Superior, la cubeta se reordena porque las zonas de frente de agua comienzan a elevarse, y la sedimentación en tierra firme resulta cada vez más trascendente.

Posteriormente, la tectónica del Cretácico Superior crea los empujes Cincha-Lluta y Tapacocha-Conchao-Cocachacra que tienen hacia la vergencia este.

La desfiguración se desplaza hacia el E y durante el Eoceno son los marcos de emisión Cusco-Lagunillas-Mañazo en el sur, Marañón en el norte, que cabalgan sobre el Altiplano occidental. La zona está descrita por graves movimientos volcánicos relacionados con las curvas volcánicas cenozoicas denominadas: Toquepala-Tantará (75-55 Ma), Challaviento-Llama (55-42 Mama), Anta-Pativilca (42-30 Ma), Tacaza-Calamarca (30-24 Ma), Huaylillas-Palca-Sillapaca-Calipuy (24-10 Ma), Barroso inferior-Negritos (10-3 Mama), Barroso superior (3-1 Ma) y Curva frontal (<1 Mama).



Los magmas de estos recodos son calcoalcalinos y sus marcas de componentes menores son normales de subducción y se aprecian variedades con estación de componentes menores como Sm/Yb y Sr/Y (INGEMMET, 2010).

Así, la tectónica del Cretácico superior produce el cabalgamiento Cincha-Lluta y Tapacocha-Conchao-Cocachacra que tienen vergencia al este. La deformación migra hacia el E y durante el Eoceno son los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo en el sur, Marañón en el norte, que cabalgan sobre el Altiplano Occidental. El dominio está caracterizado por la intensa actividad volcánica relacionado a los arcos volcánicos cenozoicos denominados: Toquepala-Tantará (75-55 Ma), Challaviento-Llama (55-42 Ma), Anta-Pativilca (42-30 Ma), Tacaza-Calamarca (30-24 Ma), Huaylillas-Palca-Sillapaca-Calipuy (24-10 Ma), Barroso inferior-Negritos (10-3 Ma), Barroso superior (3-1 Ma) y Arco Frontal (<1 Ma). Los magmas de estos arcos son calcoalcalinos y las firmas de sus elementos traza son típicas de subducción y se observan variaciones con el tiempo de los elementos traza como Sm/Yb y Sr/Y (INGEMMET, 2010).

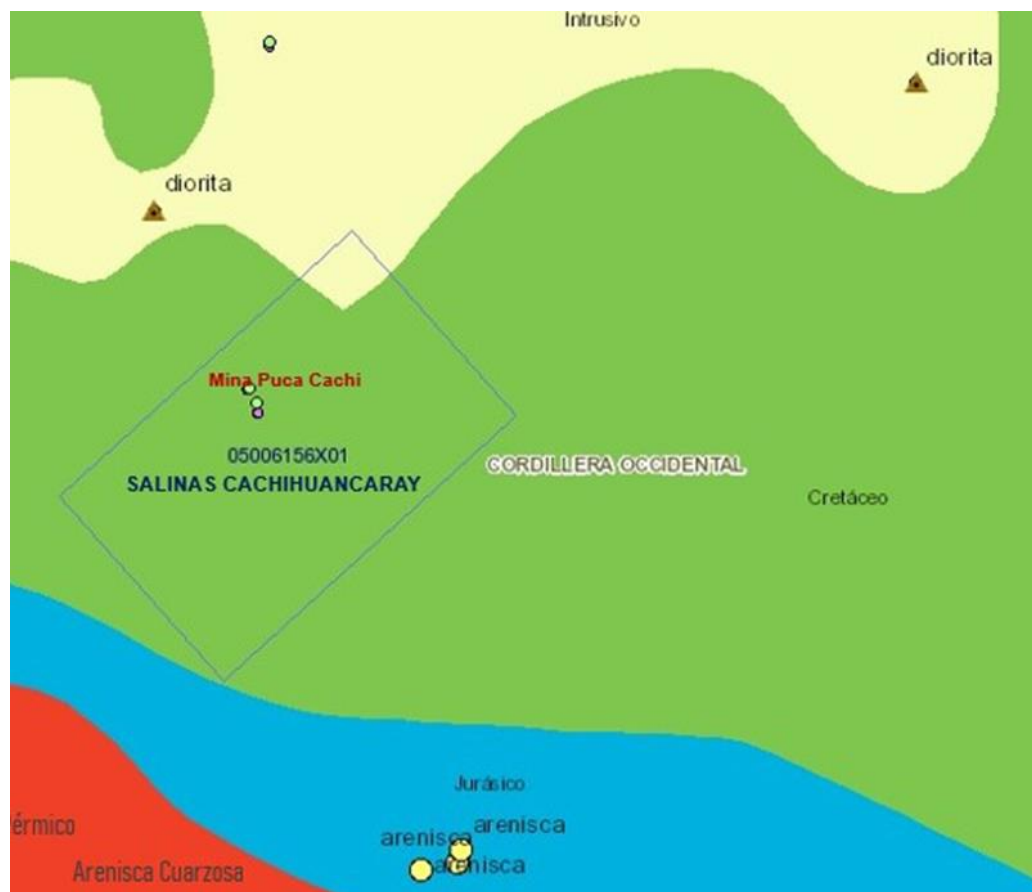


Figura 1 — Geología regional del Proyecto simplificado

Extraído de Ingenmet (GEOADMIN zona de estudio “in situ”)

Las unidades litoestratigráficas en orden cronológico que van entre mesozoico-cenoico:

En la Cordillera Occidental, los arreglos mesozoicos van desde el Triásico Superior hasta el Jurásico Inferior, esencialmente el Encuentro Pucará, separado por (FIGMMG, 1968) en los desarrollos Chambará, Aramachay y Condorsinga.

La formación Chambará, está conformado por calizas tenues en capas medias, con intercalaciones de chert. La **Formación Aramachay** es un horizonte direccional que trabaja con la separación de las partes calcáreas del Encuentro Pucará. Se compone de calizas arenosas y negruzcas, periódicamente bituminosas, intercaladas con areniscas calcáreas y calizas silíceas oscuras que se diferencian con la tonalidad más clara de los desarrollos subyacentes y suprayacentes.

La **Formación Condorsinga**, está formado por una gruesa sucesión de rocas calcáreas delineadas con algunos esquistos de chert. Sobre el Encuentro de Pucará se encuentra la **Formación Cercapuquio**, enmarcado por una agrupación clásica tenue de color púrpura, muy descubierta en la región de la mina de Cercapuquio, doliente al Liásico inferior. Está enmarcado por el desplazamiento de limolitas y lutitas de tonos oscuros rubicundos y oliváceos, intercalados con areniscas feldespáticas y margas de color terroso amarillento, creadas en un clima epicontinental con movimientos oceánicos debido a impactos epirogénicos.

La **Formación Chunumayo**, está compuesto por calizas oscuras en capas delgadas para ciertas margas y capas calcáreo-arenosas de color crema. Se encuentra sobre el Arreglo Pucará en contacto concordante y debajo del Arreglo Yura en una relación similar.

La Reunión de Yura, sus afloramientos en el espacio de interés son disminuidos, restringiéndose al SO y hacia el este de la laguna mareal de Pacucha. Las piedras que componen este acopio están compuestas por cuarzenitas, areniscas, pizarras y calizas. A la luz de sus atributos litológicos y algunas pruebas fósiles, se han separado 5 unidades topográficas, que son los desarrollos Puente, Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani. Se tiende a separar en **Formación Puente**, que está compuesto por cuarcitas y areniscas de color claro, intercalado con escasos niveles centimétricos de lutitas oscuras. Superpone a la **Formación Cachíos**, de lutitas



oscuras negras, girando inconsistentemente con capas endebles de areniscas tenues con potencia hacia la parte superior. En la parte superior, **Formación Labra**, se compone de cuarzenitas blanco-grisáceas con tonos verde-amarillentos, sustituidas por niveles esquistosos. Está superpuesto por la **Formación Gramadal**, compuesto por una sucesión de calizas grises fosilíferas, calizas marrón gris, intercaladas con areniscas y limolitas; estas calidades litológicas no son algo muy similar para cada uno de los puntos donde afloran. Subyace en contacto típico la **Formación Murco** compuesto por una sucesión de capas rojas con limolitas rojizo, de baja conservabilidad, conteniendo algunos grados de areniscas, calizas, esquistos abigarrados y combinaciones irregulares. Esta unidad subyace en contacto gradacional con la **Formación Arcurquina**, predominantemente calizas, y de vez en cuando areniscas y margas, que afloran en los cuadrángulos de Andahuaylas, Chincheros y Huancapi.

Formación Vilquechico, compuesto por limolitas calcáreas amarillas, areniscas cuarzosas y arcosas de grano medio de color blanco grisáceo, intercaladas con limolitas cubiertas, calizas superpuestas de color verdoso a violáceo y lutitas tenues. Por encima del arreglo de Vilquechico se encuentra la **Formación Ausangate**, compuesto por pizarras, limolitas, limolitas recubiertas de color marrón rosado, que al final se intercambian con capas gruesas de areniscas de color terroso. Los afloramientos de este desarrollo se han percibido generalmente hacia el norte y SE de la sábana de Andahuaylas; una de sus mejores aperturas es en la vertiente de Atapra, que se encuentra al norte de la localidad de Pacobamba. Termina con el Cenozoico que contiene el Encuentro de Puno con su formación Soncco.



Tabla 7 — Columna del Cuadrángulo de Andahuaylas (28-p)

Eratema	Sistema	Serie	Unidades Litoestratigráficas	Columna Estratigráfica		
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holocena	Depósitos fluviales Depósitos coluviales Depósitos bofedales Depósitos aluviales Depósitos glaciofluviales Depósitos morrénicos			
		Pleistocena	Gpc. Barroso [Complejo Volcánico Carhuarazo (Formación Yacotingo) Complejo Volcánico Indiferenciado]			
		NEÓGENO	Pliocena		Grupo Puno Fm. Soncco	
			Miocena			
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	Oligocena		Fm. Soncco	
			Eocena			
			Paleocena			
	MESOZOICA	CRETÁCEO	Superior		Fm. Muñani	
					Fm. Auzangate	
					Fm. Vilquechico	
Inferior			Fm. Arcurquina	Miembro C Miembro B Miembro A		
		Fm. Murco	Fm. Hualhuani Fm. Gramadal Fm. Labra Fm. Cachíos Fm. Puente			
		Superior		Grupo Yura		
Medio						
JURÁSICO		Inferior	Fm. Socosani			

Extraído de INGENMET (Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Andahuaylas, Junio 2003)

3.2.4 Geología local

En el área del estudio se han reconocido en afloramiento la unidad con intensidad Formación Vilquechico (Ks-vi) intercalación de areniscas rojizas con areniscas cuarzosas, hacia la dirección Este del paraje Ranchopampa y el paraje Kiswi. Formación Auzangate (KsP-a) de arcillas rojas intercaladas con horizontes calcáreos, que posiblemente sea el yacimiento “in situ” que por debajo se aloja la



Halita. Formación Arcurquina (Kis-ali) Calizas grises en estratos gruesos intercalados con arenisca, hacia la dirección Oeste del paraje Masmachay y paraje Cabramachay del anexo San Juan Bautista.

Hacia el Norte del área de estudio pasa el batolito de Andahuaylas-Yauri, estrato Parco, Plutón Parco (PN-pa/pa-di) de Diorita. Ver la Figura 4 Geología regional del Proyecto simplificado (INGEMMET).

3.2.5 Aspectos litológicos

Con el único objetivo de la búsqueda del método de explotación para el yacimiento minero Salinas Cachihuancay se realizaron estudios de mapeos geomecánicos en todo el eje del túnel en material de la Formación Auzangate (KsP-a) de arcillas rojas intercaladas con horizontes calcáreos y enmaderando completamente con cuadros de madera de tipo cónico, planeado hasta alcanzar al cuerpo mineralizado de Halita.



Figura 2 — Arcillas rojas intercaladas con horizontes calcáreos

En el área del proyecto como rocas encajonante del yacimiento minero Cachi Huancaray se encuentra la Formación Arcurquina (Kis-ali) Calizas grises en estratos gruesos intercalados con arenisca, con más claridad aflora en el paraje de Cabramachay del anexo San Juan Bautista a unos 1200 metros del yacimiento. Son Calizas fosilíferas.



Figura 3 — Calizas de Cabramachay

3.2.6 Geología estructural

Las estructuras objetivas del manto Salinas Cachihuancaray se aloja sobre las rocas sedimentarias del cretácico superior como la formación Vilquechico y están asociados con varios episodios de mineralización. La potencia promedio estimada son 200 x 150 x 10m con AZ: N145°, Bz:20.

3.2.7 Aspectos hidrogeológicos

El INGEMMET define la hidrogeología de la zona de estudio en: Acuitardo Volcánico y Acuífero Fisurado Sedimentario.

Acuitardo Volcánico. Estos materiales tienen poros, se saturan de aguas subterráneas y la transmiten muy lentamente. Agrupa a secuencias de andesitas subvolcánicas y domos de lava; tobas soldadas y niveles de brecha; flujos andesíticos y tobas; cuerpos de dacitas subvolcánicos.

Acuífero Fisurado andesíticos y tobas; cuerpos de dacitas subvolcánicos. **Acuífero Fisurado Sedimentario.** Son muy diferentes, las fracturas, fallas y diaclasas con diferentes densidades en las bocatomas de alimentación a los reservorios acuíferos; las fracturas abiertas se recargan en serie.

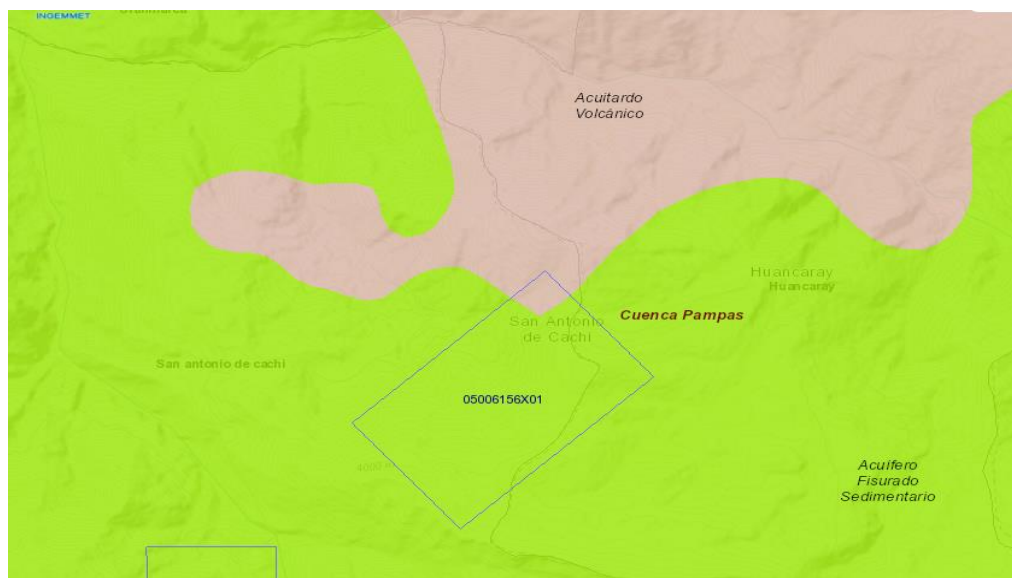


Figura 4 — Aspecto hidrogeológico del Proyecto simplificado

Extraído de Ingenmet (GEOADMIN zona de estudio “in situ”)

Se hizo el estudio de la hidrogeología de la zona de estudio “in situ” se hizo la intervención directa de profesionales de procedencia reconocida y prestigiada.

La Dirección Regional de Energía y Minas (DREM APURIMAC) representado como director regional Ing. Evert Huamán Zea; quien ordenó a su equipo técnico encabezado por el Ing. Jerly Huilca Atanacio de profesión, Ingeniero Geólogo, realizar una visita técnica al Proyecto Puca Cachi y luego de un trabajo arduo ha llegado al siguiente resultado:

Antes de realizar el estudio, el Ingeniero Geólogo hace la ubicación del Proyecto Puca Cachi en coordenada UTM (Datum PASAD 56) 652119E, 8476237N, a 3524 m.s.n.m. acto seguido pasará a hacer el estudio de la parte superficial. Descubre que la población de Mina Cachi huancaray está asentada sobre la labor del Proyecto Puca Cachi.

Identificación de los humedales en la parte superficial del proyecto; para esto se hizo un recorrido superficial por los puntos clave al Proyecto Puca Cachi y se fue recogiendo evidencias de puntos húmedos la mayoría de estos sin espejo de agua como las que se muestra en el cuadro resumen; sin embargo, cabe aclarar que la ocurrencia de estos puntos húmedos alineados son la evidencia de estructuras de



debilidad geológica, no afloran en superficie por lo que el nivel friático debe estar más abajo, el agua de las lluvias que cae sobre esta parte una porción de estas aguas percola al subsuelo aprovechando la permeabilidad de las rocas y la permeabilidad secundaria como son los fracturamientos, diaclasamientos y fallamientos y se almacena en los horizontes porosos y permeables como son los horizontes arenosos de las capas rojas que afloran en Cachi Huancaray, otra porción del agua de agua se pierde por Evapotranspiración (aprovechamiento del agua por las plantas), otra parte de estas aguas que no logra percolar se pierde como escorrentía superficial que van a parar en las quebradas formando riachuelos y finalmente las aguas encharcadas o los que lograron saturar el nivel friático se evaporan por acción del calor provocado por el sol. Estas aguas superficiales no se filtran en el manto de Halita y la extracción se realiza en seco.

Tabla 8 — Cuadro resumen Hidrológico de la parte superficial mina

ID	Este	Norte	Altitud	Descripción
1	6521119	8476237	3524	Boca mina Puca Cachi
2	652170	8476183	3528	Riachuelo Cachihuayqo
3	652102	8476220	3533	Hundimiento
5	652171	8476029	3582	Hundimiento
6	652056	8476093	3590	Hundimiento+rajadura
7	652034	8476038	3599	Humedal
8	652007	8476021	3607	Humedal
9	652026	8475970	3616	Humedal
10	652106	8475950	3621	Hundimiento
11	652074	8475954	3567	Aglomerado calcáreo
12	651807	8475815	3620	Manante
13	651445	8475908	3543	Humedal
14	651386	8475949	3524	Manante Ñawinpuquio

Extraído de Dirección Regional de energía y minas (DREM APURIMAC) Las debilidades estructurales como fallamientos y fracturas importantes son zonas de menor presión, y el agua como todos los fluidos tiende siempre salir a estas zonas de menor presión, es por esta razón que tenemos los 2 manantiales con espejos de agua considerables que se ha visto en la visita están alineados e incluso uno más que los pobladores manifiestan en la superior están a lo largo de una falla (debilidad estructural geológica), si hacemos una caminata a lo largo de esta debilidad estructural probablemente encontremos muchos puntos húmedos sin espejo de agua y otros manantiales más.

Estudios detallados por el Departamento de Gestión Ambiental del proyecto Puca Cachi hace la Propuesta de Clasificación Ambiental, determinando que:

Por las proximidades del área del proyecto discurre una corriente de agua por la quebrada Cachi Huayqo, tomando el nombre de Tumayhuayqo en la parte inferior, es un afluente permanente del riachuelo Pitacayo por las inmediaciones de Pitacayo; para luego desembocar en el río Chichas que es afluente del río Pampas. Esta cuenca se encuentra en la vertiente hidrográfica del Océano Atlántico.

Tabla 9 — Registro de un riachuelo al frontis del proyecto

Clasificación	Nombre	Uso	Coordenadas UTM	
			Norte	Este
Riachuelo	Cachihuayqo	Ninguno	8 475 777	651 963

Extraído del Departamento de Gestión Ambiental del proyecto Puca Cachi

Tabla 10 — Parámetros físicos del riachuelo

Nombre	Temp. (°C)	Ph	Cond. Elect. (μS/cm)	TDS (ppm)	Caudal (l/s)
Riachuelo	20	8,82		2000	1,13

Extraído del Departamento de Gestión Ambiental del proyecto Puca Cachi



Las operaciones mineras de explotación no requiere agua; por consiguiente, el agua que fluye por el área de influencia no será utilizado para el proyecto. Por lo tanto, otras actividades diferentes a la minera a desarrollarse en la comunidad tienen la disponibilidad total del agua.

Otro, manante que se tiene en la parte superficial del proyecto Puca Cachi a una distancia considerable, es el manante Ñahuinpuquio con coordenadas de UTM (WGS-84) 651566E, 8475461 y con una altitud 3612 m.s.n.m aproximadamente y tiene un caudal de 2 l/s. Este manante es de uso exclusivo como agua potable de la comunidad de San Juan Bautista. Ver ANEXO II.

3.2.8 Geología económica

La sal común o cloruro de sodio en concentraciones altas se precipita cuando se satura. La sal en los bordes de los mares se precipita con accesos angostas en los reservorios y lagunas de marea; la sal almacena la estructura en estos depósitos, con frecuencia unida a diferentes aceleradores, por ejemplo, el yeso o las sales de magnesio y potasio amasadas.

La sal contiene de vez en cuando carbonatos y sulfatos de sodio procedentes de la filtración subaérea de materiales descubiertos en la superficie, mientras que las sales traídas por los arreglos que atraviesan las bóvedas de sal pueden incorporar indicios de componentes intrigantes. Los depósitos no metálicos con mayor abundancia de sal están en la Franja Interandina, (departamento de Cusco, Huancavelica y Refugio, continuando de frente 35.47 metros, descubriendo halita de ley intermedia de un cuerpo macizo de color continuando de frente Ayacucho), el contenido de sal es frecuentemente impura, a veces de negro, y es aprovechada por la población local.

Tabla 11 — Análisis químico de la muestra de Halita

Muestra N°	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	Fe ₂ O %	MnO %	CaO %	MgO %	ClNa %	K ₂ O %	H ₂ O 105 %
303197	6,07	1,71	0,11	0,69	0,009	2,04	1,30	83,10	0,53	2,79
303198	6,68	1,87	<0,0 2	0,78	0,009	2,05	1,39	83,40	0,53	1,98

Extraído de INGENMET

3.2.9 Cálculo de reserva

CODELCO (2016), concluye para el cálculo de reservas se realiza a partir de una optimización del recurso mineral medido e indicado. Para luego elaborar un Plan Minero para reservas con su respectiva evaluación técnica económica.

CODELCO, para el cálculo de recursos y reservas de un yacimiento, lo hacen a base de perforaciones diamantinas.

Pero en el yacimiento Salinas Cachihuancaray ocurre lo contrario, a sabiendas de que es una minería artesanal, en su momento para la exploración no se tuvo equipos, maquinarias y economía, más solo 15 mineros equipados de herramientas básicas como: carretillas, pico de ambas puntas, cincel, comba y otros. Con el afán de encontrar un cuerpo bajo el subsuelo se apertura, una labor de exploración llamándolo Mina Puca Cachi, se inicia los trabajos en terreno cuaternario a base de cuadros de madera hasta 59.40 metros, logrando descubrir un cuerpo mineralizado de halita de ley baja, por entonces se continúa la excavación 34.69 metros más descubriendo la continuidad de halita de ley baja a este punto se designó Punto Refugio desde aquí se construyó al lado derecho e izquierdo tipo estocada una labor de exploración descubriendo halita de ley baja. Por lo tanto, se retorna al punto de 35.47 metros descubriendo halita de ley intermedia de un cuerpo macizo de color blanco y rojo, a este punto lo nombraron punto Almacén, desde aquí se construyó al lado izquierdo tipo estocada una labor de exploración descubriendo halita de buena ley en capas de blanco a rojo. Pues se retorna al punto de Almacén continuando de frente 67.54 metros descubriendo halita de ley alta de un cuerpo macizo de color azul a blanco, a este punto se denominó Punto Central, desde aquí se construyó al lado derecho e izquierdo una labor de exploración tipo estocada descubriendo halita de ley alta de un cuerpo macizo de color azul a blanco.

Por lo tanto, se retorna al Punto Central continuando de frente. 85.86 metros descubriendo halita de ley alta de un cuerpo macizo de color rojo a blanco, a este punto se denominó Punto Chimenea, desde aquí se construyó al lado izquierdo una labor de exploración ascendente de 43° descubriendo halita de ley intermedia de un cuerpo macizo de color rojo a blanco. Pues se retorna al Punto Chimenea



continuando de frente. 19.70 metros descubriendo halita de ley intermedia de un cuerpo macizo de color rojo a blanco, a este punto se denominó Punto Final. De lo anterior descrito se deduce que se encontró un cuerpo mineralizado de leyes considerables para la explotación y se armó en Blocks 1, 2, 3, 4,5 y 6. De allí que se hace los cálculos de reservas de la Mina Ama Puca Cachi; Ver ANEXO VII.

3.2.10 Ensayo de propiedades físicas en el Laboratorio de Mecánica de Rocas

Este ensayo permite obtener la densidad seca, densidad húmeda, porosidad, absorción y peso específico aparente. Para este ensayo usaremos el viejo método de:

“En la publicación de (BELENDEZ VAZQUEZ, 2009) Arquímedes como científico y técnico en la corte del rey Herón en Siracusa en el año 287 a.C determinar si una corona recién fabricada era de oro puro o no. Por lo tanto Arquímedes calculó el peso específico de la corona gracias al empuje del agua para lo cual sumergió la corona, con la ayuda de una balanza y destacó el volumen del líquido desalojado son iguales al sólido de alegría salió corriendo desnudo por las calles de Siracusa gritando “¡Eureka!, ¡Eureka!” (¡Lo encontré!, ¡lo encontré!”).

El cálculo de la densidad de un líquido se puede obtener haciendo los pasos siguiente y hay que tener en cuenta la temperatura a que se realiza el experimento, pues la densidad de los líquidos es en función de ésta.

En el primer experimento haremos tres pesadas:

- a) La masa del sólido.
- b) Masa del recipiente más el líquido.
- c) Incluir la anterior más la masa del líquido desalojado.

Haciendo la operación matemática con estas tres relaciones despejamos la densidad del sólido. En el segundo experimento como conocemos la masa del sólido y su densidad sólo es necesario hacer dos pesadas:

- a) Masa del recipiente más la del líquido.
- b) Incluir la anterior más la masa del líquido desalojado.

Operando con estas relaciones y las conocidas del experimento anterior despejamos la densidad del líquido problema.” Ver ANEXO II.

Tabla 12 — Cuadro de resultados ensayo de propiedades físicas

Tipo de roca	Macizo rocoso	Densidad gr/cm3	Densidad promedio gr/cm3
Mineral	Halita	2.15	2.15
Mineral	Halita	2.17	
Caja piso	Halita	2.15	
Caja techo	Halita	2.14	

Extraído de Laboratorio de Mecánica de Rocas-UNAMBA.

En nuestro caso, mediante el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas “UNAMBA” se ha calculado un valor promedio de 2.15 gr/cm3 de calidad de halita. Con estos datos podemos deducir que nos hemos aproximado al valor teórico de 2.16 gr/cm3 de acuerdo a la enciclopedia libre (Wikipedia) y con este dato se va a calcular la reserva de la mina Puca Cachi.

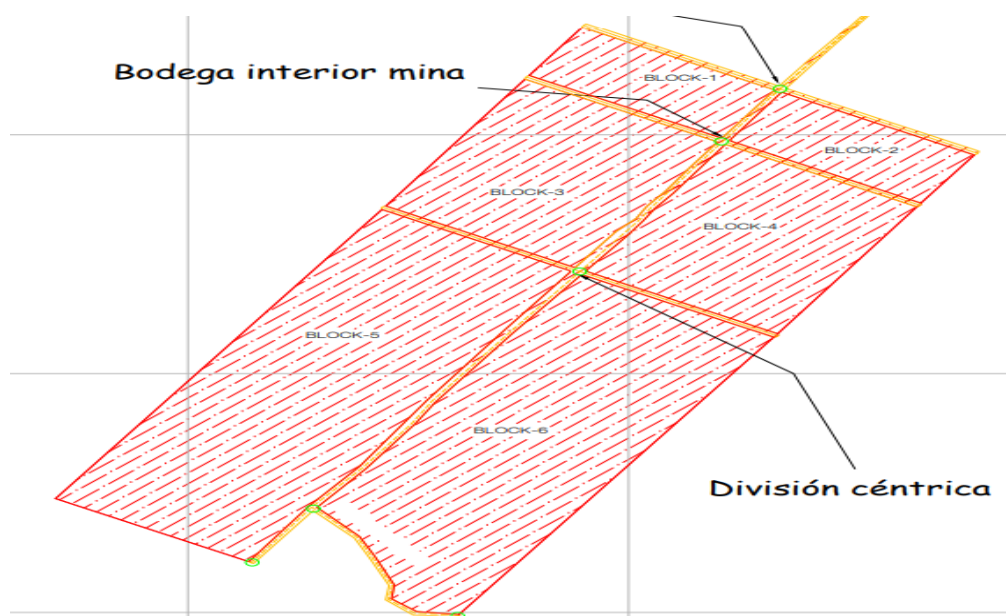


Figura 5 — Blocks preparados para el estudio de cálculo de reserva

Tabla 13 — Cálculo de reservas de la mina Salinas Cachihuancaray

Block	Mineral		Espesor (m)	Área (m ²)	Cálc.Vol. (m ³)	Peso Espec. Ton./m ³	Toneladas (Ton.)
	Calidad	Ley % CINa					
Block-1	Sal roja	83.1	3	1200.076	3600.228	2.15	7740.490
Block-2	Sal roja	83.1	3	1195.399	3586.197	2.15	7710.324
Block-3	Sal azul	83.4	5	3143.316	15716.58	2.15	33790.647
Block-4	Sal azul	83.4	5	3126.539	15632.695	2.15	33610.294
Block-5	Sal roja	83.4	5	7194.419	35972.095	2.15	77340.004
Block-6	Sal roja	83.4	5	6521.013	32605.065	2.15	70100.890
Total de reservas en ton.							230292.649

Los blocks se han diseñado en el AutoCAD desde un plano matriz, calidad, ley % CINa son datos calculados de campo, ver Tabla 13 (Análisis químico realizados por el INGENMET), el espesor es la dimensión tridimensional “in situ” de extracción de Halita parte intermedio del manto, área y volumen fue calculado en el autocad, peso específico ton./m³ es dato de laboratorio ver Tabla 14 Cuadro de resultados ensayo de propiedades físicas y por último cálculo de toneladas (Ton) fue calculado en el Microsoft Excel obteniendo 230292.64 Toneladas de Halita. Ver ANEXO II.

3.2.11 Modelo geomecánico

En la tesis de (CABELLO CORMAN, 2008 pág. 19). Hace los estudios correspondientes. El modelo geomecánico, es un estudio de ensayo de campo y laboratorio que permite cuantificar los diferentes parámetros de la masa rocosa con la valoración de calidad de roca de acuerdo al modelo geológico. Teniendo en cuenta los parámetros:

- Propiedades mecánicas de los materiales

- Propiedades mecánicas de las discontinuidades estructurales
- Calidad del macizo rocoso.
- Propiedades de resistencia del macizo rocoso
- Esfuerzos in-situ.

3.2.11.1 Geometría y características geotécnicas del proyecto

Los siguientes parámetros son considerados en la metodología de Nicholas, para la selección del método óptimo:

3.2.11.2 Yacimiento Equi-dimensional o masivo: dimensiones similares en todas las direcciones.

- Yacimiento tabular o elongado: dos direcciones son predominantes.
- Yacimiento Irregular: dimensiones del yacimiento varían en distancias cortas.

De acuerdo a los datos tomados en el campo se establece que el manto de halita es masivo

3.2.11.3 Potencia del manto mineralizado de Halita

- Baja potencia : 0- 10 m
- Potencia Intermedia : 10-30 m
- Potente : 30-100 m
- Muy potente : > 100 m

De acuerdo a los datos tomados en el campo se establece que el manto tiene una potencia intermedia.

3.2.11.4 Ángulo de inclinación del manto de halita

- Horizontal: 0- 20°
- Intermedio: 20°-55°
- Vertical > 55°

De acuerdo a los datos tomados en el campo se establece que el manto de halita tiene una inclinación horizontal.

3.2.11.5 Distribución de leyes del manto de halita

- Uniforme: La ley se mantiene constante en cualquier punto.

- Gradacional: Existen distintas leyes que gradualmente cambian en el espacio.
- Errática: Existen bolsones de ley sin un claro patrón.

De acuerdo a los datos tomados en el campo se establece que en el manto se observa la ley de Halita de forma uniforme.

3.2.11.6 Resistencia de la Roca Intacta

Tabla 14 Resistencia de la Roca Intacta

Resistencia a Compresión Simple (Mpa)	
Poco competente	<8
Competencia intermedia	8 a 15
Competencia alta	>15

Extraído de Nicholas (1980)

Hallaremos aplicando; el ensayo de compresión uniaxial a las probetas de roca tipo Halita en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Escuela Académico profesional de Ingeniería de Minas-UNAMBA.



Figura 6 — Ensayo de compresión uniaxial

Tabla 15 — Resistencia de la compresión uniaxial

Tipo de roca	Muestra	Macizo Rocoso	Diámetro Probeta (mm)	Altura Probeta (cm)	Compresión Simple(MPa)	Promedio (MPa)
Mineral	M-1	Halita	52	10	19.59	19.65
Caja piso	M-3	Halita	52	10	17.51	
Caja techo	M-5	Halita	52	10	21.84	

De acuerdo a los datos tomados en el laboratorio, se establece que la resistencia de la roca intacta es de **competencia alta con un promedio de 19.65 MPa**. Ver ANEXO II.

“Estos resultados se corroboran con el estudio de la Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Volumen 15, N° 1 pp. 20-38, Julio, 2015. Titulado; “Análisis de los factores que inciden en la desestabilización de las columnas de la catedral de sal en Zipaquirá-Cundinamarca” de la Escuela de Ingeniería de Minero de la Uptc. La población de revisión se compara con 25 ejemplos de rocas de halita de 2 metros de ancho por 4 metros de largo, con una proporción de delgadez de 2, caracterizados en tres grupos de pruebas. La principal reunión de pruebas tiene halita en un 70% en peso, la segunda en un 80% y la otra en un 90%.

Según el histograma de recurrencia (véase la figura 5), tiene una curvatura bimodal con una media ponderada de 22,02 MPa y una desviación estándar de $\pm 4,29$ ". Comparando los datos nos hemos aproximado muy favorablemente.

3.2.11.7 Espaciamiento entre fracturas

En la galería principal de avance se delimitó $1m^2$ en mineral, caja techo y caja piso para luego proceder con el conteo de discontinuidades existentes.

Tabla 16 — Número de discontinuidades

Estructura	Fracturas/m
Mineral	3
Caja techo	2
Caja piso	2

Tabla 17 — Espaciamiento entre fracturas del mineral

Espaciamiento entre Fracturas	N° de Fracturas	RQD (%)
Muy Fracturado	>16	0 a 20
Fracturado	10 a 16	20 a 40
Poco fracturado	3 a 10	40 a 70
Muy Poco fracturado	<3	70 a 100

Extraído de Nicholas (1980)

Tabla 18 — Espaciamiento entre fracturas pared colgante

Espaciamiento entre Fracturas	N° de Fracturas	RQD (%)
Muy Fracturado	>16	0 a 20
Fracturado	10 a 16	20 a 40
Poco fracturado	3 a 10	40 a 70
Muy Poco fracturado	<3	70 a 100

Extraído de Nicholas (1980)

Tabla 19 — Espaciamiento entre fracturas pared pendiente

Espaciamiento entre Fracturas	N° de Fracturas	RQD (%)
Muy Fracturado	>16	0 a 20
Fracturado	10 a 16	20 a 40
Poco fracturado	3 a 10	40 a 70
Muy Poco fracturado	<3	70 a 100

Extraído de Nicholas (1980)

3.2.11.8 Resistencia de las discontinuidades

La determinación de este parámetro se realizó en la galería de exploración “in situ”

Tabla 20 — Resistencia discontinuidades entre fracturas del mineral

Resistencia de las discontinuidades	
Pequeña	Limpia con una superficie suave
Media	Limpia con una superficie Rugosa
Alta	Rellena con material de resistencia= o> que la roca intacta

Extraído de Nicholas (1980)

Tabla 21 — Resistencia discontinuidades entre fracturas del pared colgante

Resistencia de las discontinuidades	
Pequeña	Limpia con una superficie suave
Media	Limpia con una superficie Rugosa
Alta	Rellena con material de resistencia= o> que la roca intacta

Extraído de NICHOLAS (1980)

Tabla 22 — Resistencia discontinuidades entre fracturas del pared pendiente

Resistencia de las discontinuidades	
Pequeña	Limpia con una superficie suave
Media	Limpia con una superficie Rugosa
Alta	Rellena con material de resistencia= o> que la roca intacta

Extraído de NICHOLAS (1980)

Tabla 23 — Resultado de las características Geomecánicas del macizo rocoso

Macizo rocoso	Resistencia a Compresión Simple (Mpa)	Espaciamiento entre Fracturas	RQD (%)	Resistencia de las discontinuidades
Mineral	Media	Poco fracturado	40 a 70	Media
Pared colgante	Alta	Muy poco fracturado	70 a 100	Alta
Pared pendiente	Alta	Muy poco fracturado	70 a 100	Alta

Extraído de NICHOLAS (1980)



3.3 Marco conceptual

- a) **Mina:** Corresponde al yacimiento de la extracción del mineral económicamente factible. La excavación puede ser superficial o subterránea. También pueden notarse ambos tipos (ORTIZ CABRERA, 2007).
- b) **Recursos geológicos:** Se entiende por recursos al conjunto de unidades del macizo rocoso, generalmente representadas a través de un modelo de bloques con leyes estimadas, que poseen una concentración de un elemento mineral anómala respecto a su entorno y que posee características geológica confirmadas mediante sondajes y mediante los estudios de campo de un geólogo con experiencia en ese tipo de mineralización (ORTIZ CABRERA, 2007).
- c) **Mineral:** Es una sustancia inorgánica de ocurrencia natural que se encuentra en la corteza terrestre, que posee un conjunto distintivo y característico de propiedades físicas y una composición expresada por una fórmula química (ORTIZ CABRERA, 2007).
- d) **Yacimiento minero:** Yacimientos es una anomalía geológica que implica la concentración fuera del nivel normal que se encuentra en la roca con mineral de interés que implica una concentración sin necesariamente ver su potencial beneficio económico (ORTIZ CABRERA, 2007).
- e) **Explotación:** Es la explotación de un mineral económico e inicia de manera sostenida la alimentación a planta (ORTIZ CABRERA, 2007).
- f) **Método de explotación:** es la forma de excavación y extracción de un cuerpo mineralizado del modo técnico y económico más óptimo (ORTIZ CABRERA, 2007)
- g) **Desarrollo:** Esta la etapa que constituye el inicio de la minería, para acceder al mineral ya sea removiendo la sobrecarga o iniciando excavaciones subterráneas (ORTIZ CABRERA, 2007).



- h) **Geomecánica;** es el estudio técnico de las características del macizo rocoso hasta determinar su falla, los esfuerzos, presión, temperatura y otros parámetros ambientales. (COOK, 2016).
- i) **Recurso mineral:** están compuestos por minerales económicos que se explotan con fines industriales. La industria dedicada a la extracción y el procesamiento de los recursos minerales recibe el nombre de minería.
- j) **Reservas mineras:** “[...] se refiere a la porción de los minerales económicos que es factible explotar generando un beneficio económico y que considera las características de continuidad de la mineralización, leyes y una serie de factores que modifican el valor del recurso, tales como factores políticos, financieros, medioambientales, laborales, geográficos, etc.” (ORTIZ CABRERA, 2007).
- k) **Reservas probables.-** Volumen de mineral que se calcula en base a información de estudios de exploración que en el caso de las reservas probadas. Tanto la geometría, volumen de mineral y la ley han sido inferidos a partir de estudios preliminares, por lo que se indica que existe riesgo de discontinuidad. (SNMPE, 2011)
- l) **Halita:** “[...] La sal gema es un mineral sedimentario que se forma por la disipación del agua salada, en almacenes sedimentarios y bóvedas de sal. Está relacionada con la silvita, la carnallita y diferentes minerales.. Su composición química es cloruro de sodio (NaCl)” (WALES, 2001).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La investigación en curso, es de tipo **Aplicada**.

“[...] la investigación aplicada guarda la relación con la anterior sosteniéndose en los descubrimientos y avances de la investigación básica” (EGG HERNÁNDEZ, 2011 pág. 41).

4.1.2 Nivel de investigación

Esta investigación se precisa que es de carácter correlacional.

“[...] Este tipo de estudios correlacional guarda la relación o grado de asociación entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular” (HERNADES SAMPIERI, 2014, pág.83).

4.2 Diseño de la investigación

La investigación tendrá un diseño no experimental.

“[...] en un estudio no experimental no se hace ninguna situación y se observan eventos ya existentes, no provocadas intencionalmente en el estudio de interés personal” (HERNANDEZ SAMPIERI, 2014 pág. 152).



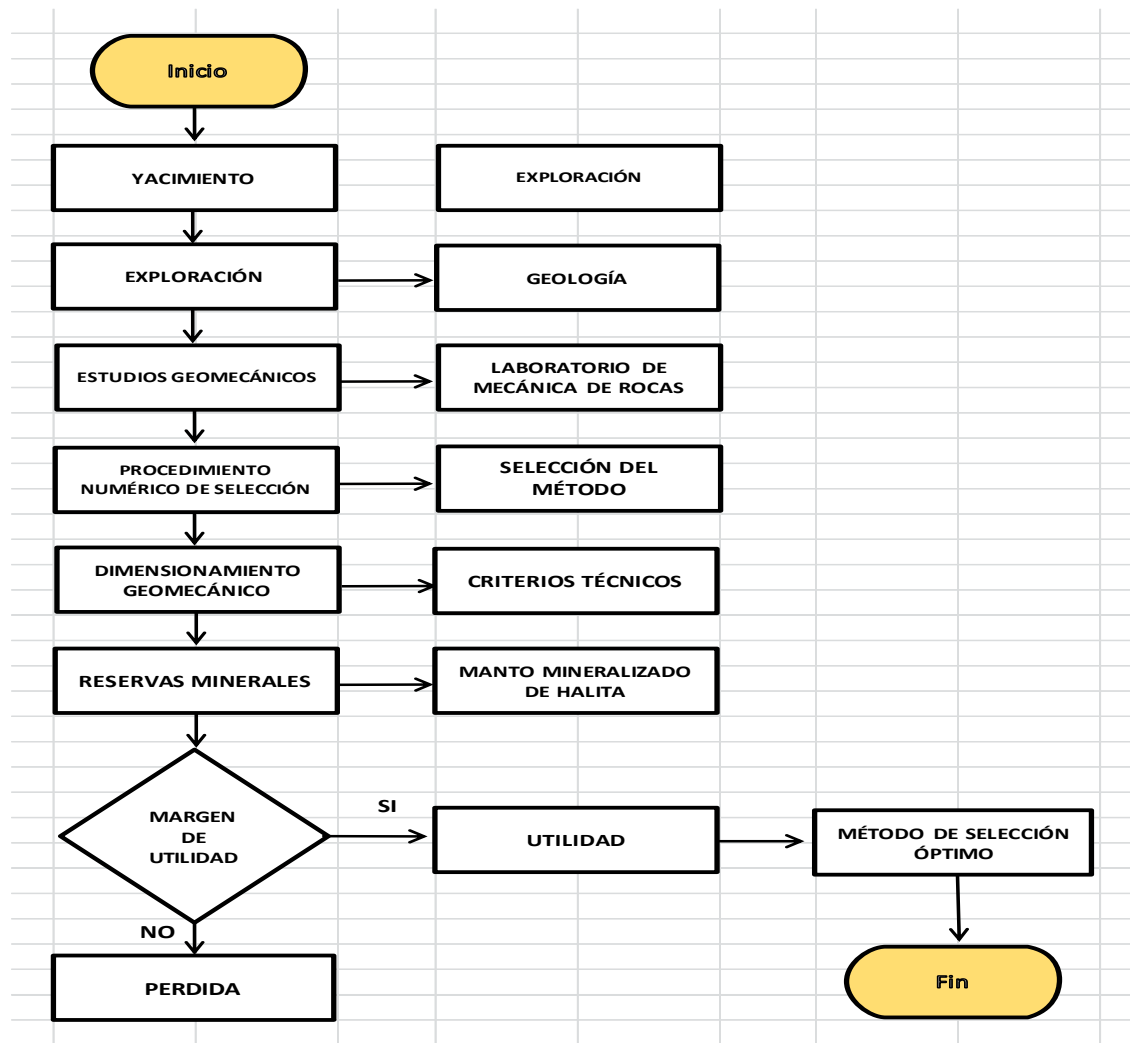


Figura 7 — Diagrama de Flujo del diseño de investigación

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

Pertenece al método de minado por cámaras y pilares en el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de mineros Artesanales Puca Cachi.

4.3.2 Muestra

La muestra se eligió de forma intencional y fue el manto de Halita del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de mineros Artesanales Puca Cachi.

4.4 Procedimiento

Trata de la selección del método de minado óptimo para la explotación del manto de Halita del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de mineros Artesanales Puca Cachi. Para tal efecto hay que tener en cuenta el siguiente procedimiento:

- a) Se revisa las tablas propuestas en el método número de Nicholas, elaborando los formatos y material para precisar los datos y muestras obtenidas en campo y laboratorio.
- b) Se elabora la Tabla 24, considerando la metodología de Nicholas, en siguiente orden:
 - yacimiento general, donde se precisa si es masivo, tabular o irregular.
 - Ancho del yacimiento, donde se precisa si es angosto, intermedio, ancho o muy ancho.
 - Orientación del yacimiento, donde se precisa si es horizontal, intermedio o vertical.
 - Distribución de las leyes en el yacimiento, donde se precisa si es uniforme, gradacional o errático.

Tabla 24 — Clasificación de la geometría y distribución de leyes

Método de explotación	Forma del yacimiento			Ancho del yacimiento				Orientación			Distribución de las leyes		
	Masivo	Tabular	Irregular	Angosto	Intermedio	Ancho	Muy ancho	Horizontal	Intermedio	Vertical	Uniforme	Gradacional	Errático
Open pit	3	2	3	2	3	4	4	3	3	4	3	3	3
Block Caving	4	2	0	-49	0	2	4	3	2	4	4	2	0
Sublevel Stopping	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	3	1
Sublevel Caving	3	4	1	-49	0	4	3	1	1	4	4	2	0
Long wall mining	-49	4	-49	4	0	-49	-49	4	0	-49	4	2	0
Room and Pillar	0	4	2	4	2	-49	-49	4	1	0	3	3	3
Shrinkage Stopping	2	2	1	1	1	2	4	2	1	4	3	2	1
Cut and Fill Stopping	0	4	2	4	4	0	0	0	3	4	3	3	3
Top Slicing	3	3	0	-49	0	3	4	4	1	2	4	2	0
Square Set	0	2	4	4	4	4	1	2	3	3	3	3	3

Extraído de NICHOLAS (1980)



- c) Se elabora la Tabla 25, en la cual se considera las características geomecánica del macizo rocoso según estudio de campo y laboratorio:
- Resistencia a compresión simple (MPa) de la matriz valorando si es pequeña, media o alta.
 - Espaciamiento entre Fracturas: muy fracturado, fracturado, poco fracturado, muy poco fracturado.
 - Resistencia de las discontinuidades: Limpia con una superficie suave, rugosa y rellena con material de resistencia.

Tabla 25 — Características geomecánica de la matriz rocosa

Resistencia de la Matriz Rocosa				
Resistencia a Compresión Simple (Mpa)	Espaciamiento entre Fracturas	N° de Fracturas	RQD (%)	Resistencia de las discontinuidades
Pequeña <8	Muy fracturado	<16	0 a 20	Limpia con una superficie suave
Media 8 a 15	Fracturado	10 a 16	20 a 40	Limpia con una superficie rugosa
Alta >15	Poco fracturado	3 a 10	40 a 70	Rellena con material de resistencia = 0> que la roca intacta
	Muy Poco fracturado	<3	70 a 100	

Extraído de Nicholas (1980)

- d) Se elaboró la Tabla 26, para la clasificación de los métodos mineros atendiendo a las características geomecánicas de la roca Zona del mineral en la que consiste en la

clasificación de los métodos mineros en función de la geometría y distribución de leyes del yacimiento, en la que se asignaron valores numéricos según (Nicholas, 1981) para cada método de explotación: En la cual consiste en lo siguiente:

- Competencia macizo.
- Espaciamiento entre fracturas.
- Condición de estructuras.

Tabla 26 — Valoración de las características geomecánica del mineral

Método de explotación	Competencia del macizo rocoso			Espaciamiento de fracturas				Condición de estructuras		
	Baja	Mediana	Alta	Muy cercana	Poco espaciada	Espaciada	Muy espaciada	Baja	Mediana	Alta
Open pit	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block Caving	4	1	1	4	4	3	0	4	3	0
Sublevel Stopping	-49	3	4	0	0	1	4	0	2	4
Sublevel Caving	0	3	3	0	2	4	4	0	2	2
Longwall mining	4	1	0	4	4	0	0	4	3	0
Room and Pillar	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Shrinkage Stopping	1	3	4	0	1	3	4	0	2	4
Cut and Fill Stopping	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2
Top Slicing	2	3	3	1	1	2	4	1	2	4
Square Set	4	1	1	4	4	2	1	4	3	2

Extraído de NICHOLAS (1980)

- e) Para la clasificación de los métodos de minado considerando las características geomecánicas de la Pared colgante, que comprende:
- Competencia macizo.
 - Espaciamiento entre fracturas.
 - Condición de estructuras.



Tabla 27 — Valoración de las características geomecánica de la pared colgante

Método de explotación	Competencia del macizo rocoso			Espaciamiento de fracturas				Condición de estructuras		
	Baja	Mediana	Alta	Muy cercana	Poco espaciada	Espaciada	Muy espaciada	Baja	Mediana	Alta
Open pit	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block Caving	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Sublevel Stopping	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4
Sublevel Caving	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4
Longwall mining	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3
Room and Pillar	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3
Shrinkage Stopping	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Cut and Fill Stopping	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2
Top Slicing	2	3	3	1	3	3	3	1	2	3
Square Set	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2

Extraído de NICHOLAS (1980)

f) Para la clasificación de los métodos mineros atendiendo a las características geomecánicas de la roca. Pared pendiente, se elaboró la Tabla 25 que comprende:

- Competencia macizo.
- Espaciamiento de fracturas.
- Condición de estructuras.

Tabla 28 — Valoración de las características geomecánica de la pared pendiente

Método de explotación	Competencia del macizo rocoso			Espaciamiento de fracturas				Condición de estructuras		
	Baja	Mediana	Alta	Muy cercana	Poco espaciada	Espaciada	Muy espaciada	Baja	Mediana	Alta
Open pit	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block Caving	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Sublevel Stopping	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4
Sublevel Caving	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4
Longwall mining	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3
Room and Pillar	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3
Shrinkage Stopping	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Cut and Fill Stopping	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2
Top Slicing	2	3	3	1	3	3	3	1	2	3
Square Set	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2

Extraído de NICHOLAS (1980)

4.5 Técnicas e instrumentos

4.5.1 Técnicas

a) Observación directa

En la etapa de construcción de la galería principal se visualiza la Halita masiva en manto de ley muy buena, por entonces se tiene problema de optar un método de minado para la explotación.

b) Análisis documental

Con respecto a la zona de estudio no hay antecedentes de investigaciones por otros estudios o investigadores, por lo tanto se recopila y se analiza la información de tesis, páginas web, bibliografías, artículos científicos, etc. Relacionados al tema en estudio para optar el método más óptimo de minado.

c) Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó de forma ordenada en equipo con el único objetivo de recolectar datos de campo y laboratorio de acuerdo requerimiento del método numérico de NICHOLAS (1981).

d) Trabajo en gabinete

Procesamiento de datos de campo y laboratorio en un computador utilizando; Microsoft Office, Excel, programas informáticos, software de diseño y otros, que crean convenientes.

4.5.2 Instrumentos

- Instrumentos de la informática: hojas de cálculo de Word y Excel para el procesamiento y análisis de datos de campo y laboratorio.
- Instrumentos topográficos: Estación total, distanciómetro, GPS, brújula, trípode, jalones, cinta métrica para la recolección de datos para realizar plano superficial y subterráneo de la mina.

4.6 Análisis estadístico

A los 10 candidatos métodos de minado se asumirá el análisis estadístico descriptivo para definir el método de minado óptimo que más se busca para nuestro yacimiento minero Salinas de Cachihuancaray. Ver Tabla 39.



4.6.1 Cálculo y gráfico estadístico

a) Cálculo estadístico

Con el uso del Excel se hará los cálculos estadísticos para predecir la posibilidad de contar con un método de minado óptimo para el manto mineralizado del yacimiento minero Salinas de Cachihuancaray:

Tabla 29 — Ingreso de datos de la aplicación del Método cuántico de Nicholas

Método de Minado	Ranking Total
Opin Pit	27.2
Block Caving	10.35
Sublevel Stopping	24.45
Sublevel Caving	16.95
Longwall Mining	12.75
Room and Pillar	28.45
Shrinkage Stopping	16.85
Cut and Fill Stopping	19.1
Top Slicing	19.85
Square Set	17.6

Tabla 30 — Cálculo estadístico de la aplicación del Método Cuántico de Nicholas

Cálculo estadístico	
Media	19.355
Error típico	1.8570803
Mediana	18.35
Moda	#N/A
Desviación estándar	5.87260353
Varianza de la muestra	34.4874722
Curtosis	-0.69399723
Coefficiente de asimetría	0.21540422
Rango	18.1
Mínimo	10.35
Máximo	28.45
Suma	193.55
Cuenta	10

Tabla 31 — Cálculo estadístico del Método cuántico de Nicholas

Clase	Frecuencia	% acumulado
10.3	0	0.00%
14.8	2	20.00%
19.3	4	60.00%
23.8	1	70.00%
28.4	2	90.00%
33	1	100.00%
y mayor...	0	100.00%

b) Gráfico estadístico

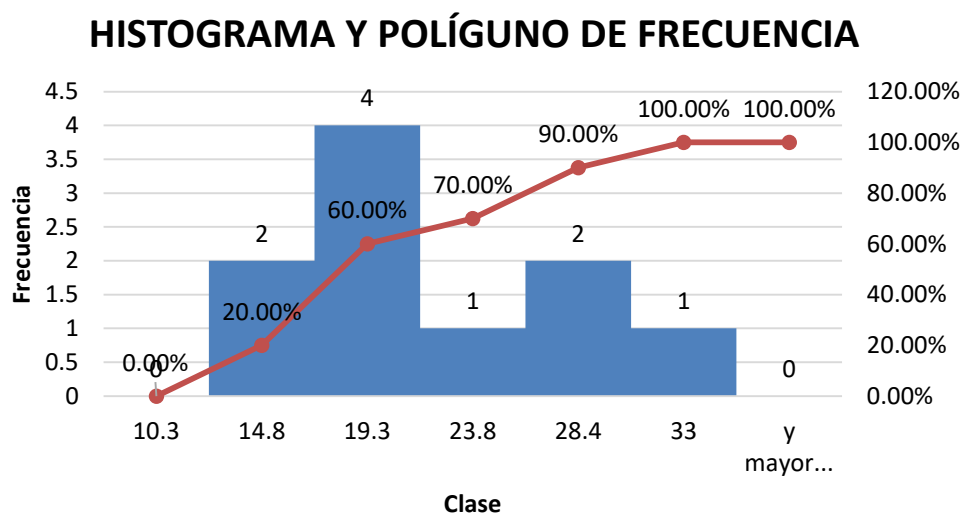


Figura 8 — Histograma y polígono de frecuencia

Observación:

- Se está estudiando el histograma y polígono de frecuencia con tamaño de muestra menor a 20 datos, es posible el histograma no contenga suficientes puntos para mostrar exactamente la distribución de los datos.
- Se muestra en el histograma datos multimodales con dos picos la que puede ser no normales. Pero se puede afirmar al 90%, 2 métodos de minado sean posibles candidatos a ser electas después de la aplicación del método cuántico de Nicholas, veamos más adelante en su estudio de tabla de resultados.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

Se hace estudios técnicos de acuerdo el método numérico y estudios de NICHOLAS (1992).

5.1.1 Alternativa de Análisis de los métodos de minado

Para lo cual, veamos estudios realizados por las distintas minas de latino américa en desarrollo y explotación de los yacimientos reconocidos:

- a) **Alternativa 1, Método de minado Tajo abierto (Open Pit).** Según la tesis de (ROMERO GÉLVEZ, 2012 pág. 44) define, la técnica de explotación a tajo abierto es la explotación superficial. Considera parámetros relacionados de descapote y ángulo del talud paran determinar si es aplicable este método de minado al yacimiento. La explotación a tajo abierto se usa en minas de metales, de carbón y depósitos industriales de construcción como de piedra caliza y granito.



Figura 9 — Tajo bierto (Open Pit)

Extraído de la Mina Chuquicamata, Chile (2012)

b) **Alternativa 2, Método de minado hundimiento por bloques (Block Caving).**

Según la tesis (ROMERO GELVEZ, 2012 pág.45). El objetivo, es dividir el yacimiento en grandes bloques de sección cuadrangular de varios miles de metros cuadrados. Cada bloque tiene una excavación horizontal con explosivos en su base. El mineral queda sin apoyo y se fractura gracias a tensiones internas y efectos de la gravedad a todo el bloque.

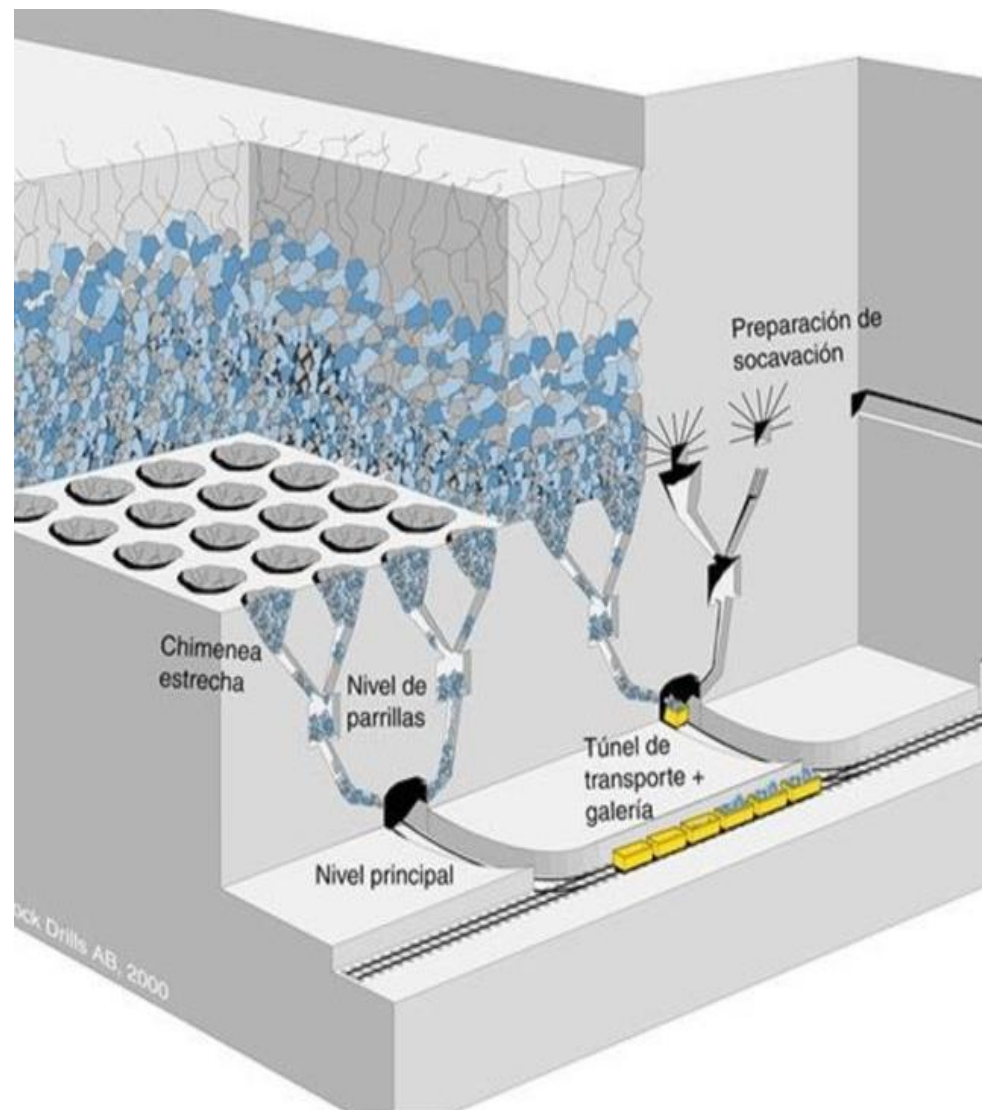


Figura 10 — Hundimiento por bloques (Block Caving)

Extraído de MUÑOZ (2002)

- c) **Alternativa 3, Método de minado por Cámaras por Subniveles (*Sublevel Stopping*)**. Según la tesis (ROMERO GELVEZ, 2012 pág.45). Se aplica a yacimientos verticales con fuerte pendiente y que genéricamente se clasifican en cráteres invertidos, barrenos largos y barrenos de abanico. Todos estos métodos tienen en común realizar la explotación desde los subniveles y niveles horizontales a intervalos verticales fijos, abriendo los subniveles dentro del yacimiento entre los niveles principales.

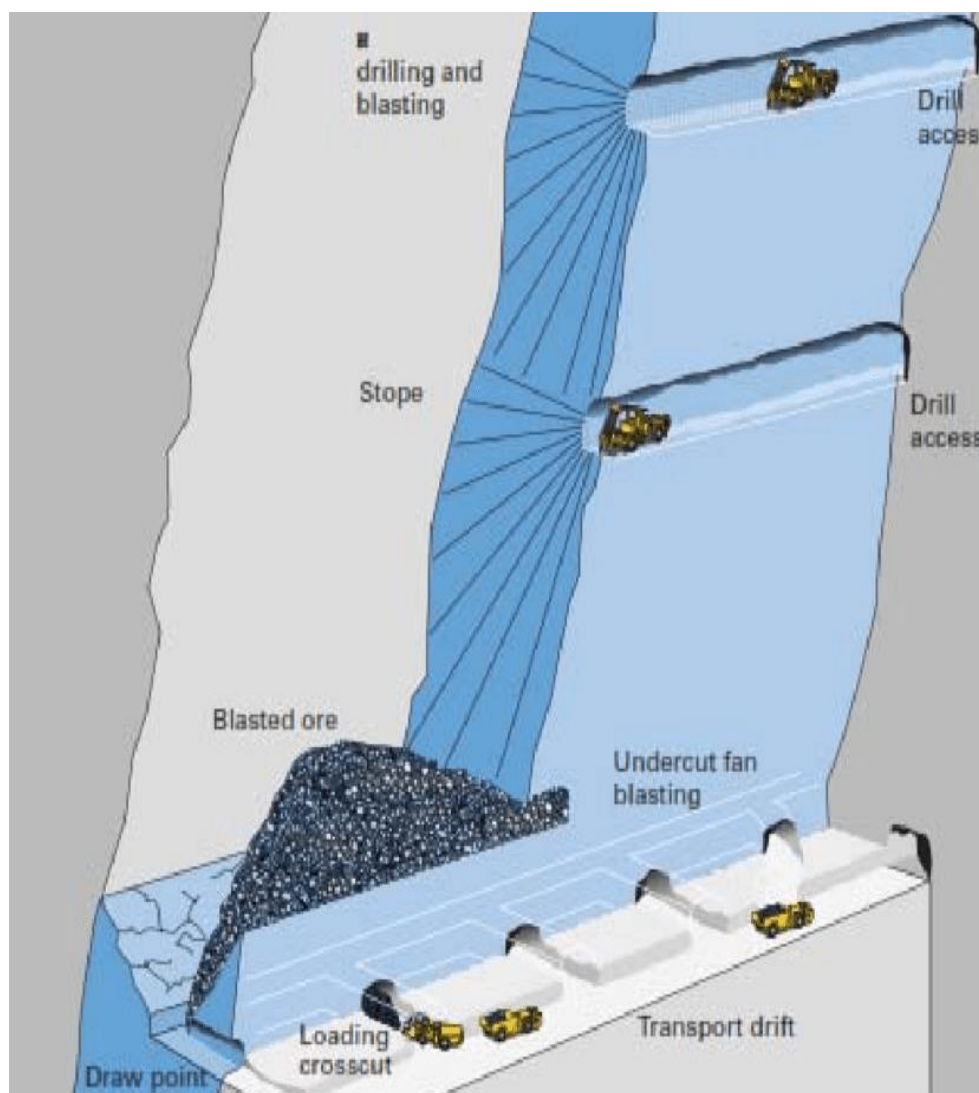


Figura 11 — Cámaras por Subniveles (*Sublevel Stopping*)

Extraído de tesis de MUÑOZ (2002)

- d) **Alternativa 4, Método de minado por Hundimiento por subniveles (*Sublevel Caving*)** según la tesis (ROMERO GELVEZ, 2012 pág.46) define. Consiste en la división del yacimiento en niveles y subniveles que se van explotando en sentido descendente. La distancia entre subniveles se considera

entre los 8 y 15 m y cada uno de ellos se conforma de conjunto de galerías que cubren la zona completa del mineral. Se perforan en abanico en sentido ascendente desde las galerías con barrenos. El mineral fragmentado cae por gravedad dentro de las galerías desde las cuales se carga y transporta hasta una piquera que lo descarga sobre una galería principal. El techo estéril se fragmenta y se hunde de forma gradual dentro de los huecos dejados por el mineral. Este método de minado se aplica en yacimiento masivo, donde tanto el techo estéril como el mineral se fragmentan y hunden fácilmente.

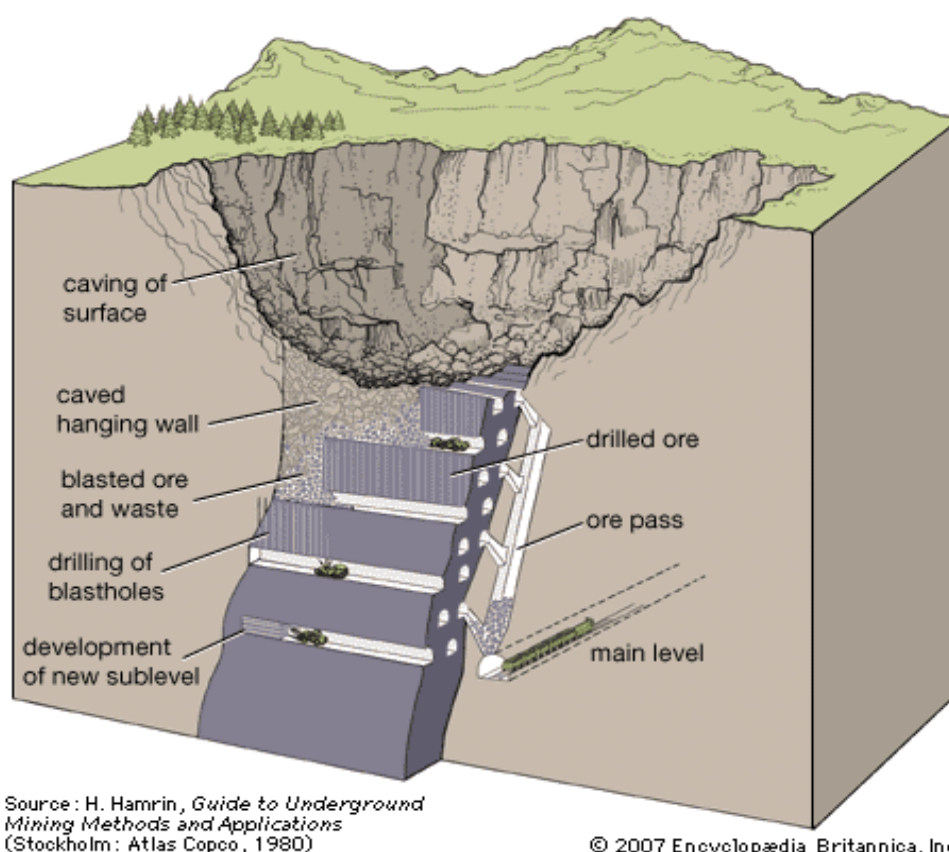


Figura 12 — Hundimiento por subniveles (Sublevel Caving)

Extraído de ATLAS COPCO (1980)

- e) **Alternativa 5, Método de minado por Tajos Largos (Longwall Mining).** Según la tesis (ROMERO GELVEZ, 2012 pág.47) enfoca. Un método de explotación se aplica en depósitos horizontales, con espesores que oscilan entre 1 m y 2,5 m, propiciando un área, block minero con un frente amplio y sucesivo, que puede ser trabajado con antelación o en retirada, introduciendo la ruptura de la cubierta en las áreas previamente aprovechadas. El block es de una longitud increíble, abarcando desde unos cientos de metros hasta unos

2 km. Además, la anchura es mucho más modesta, variando entre unos 60 m y 200 m.

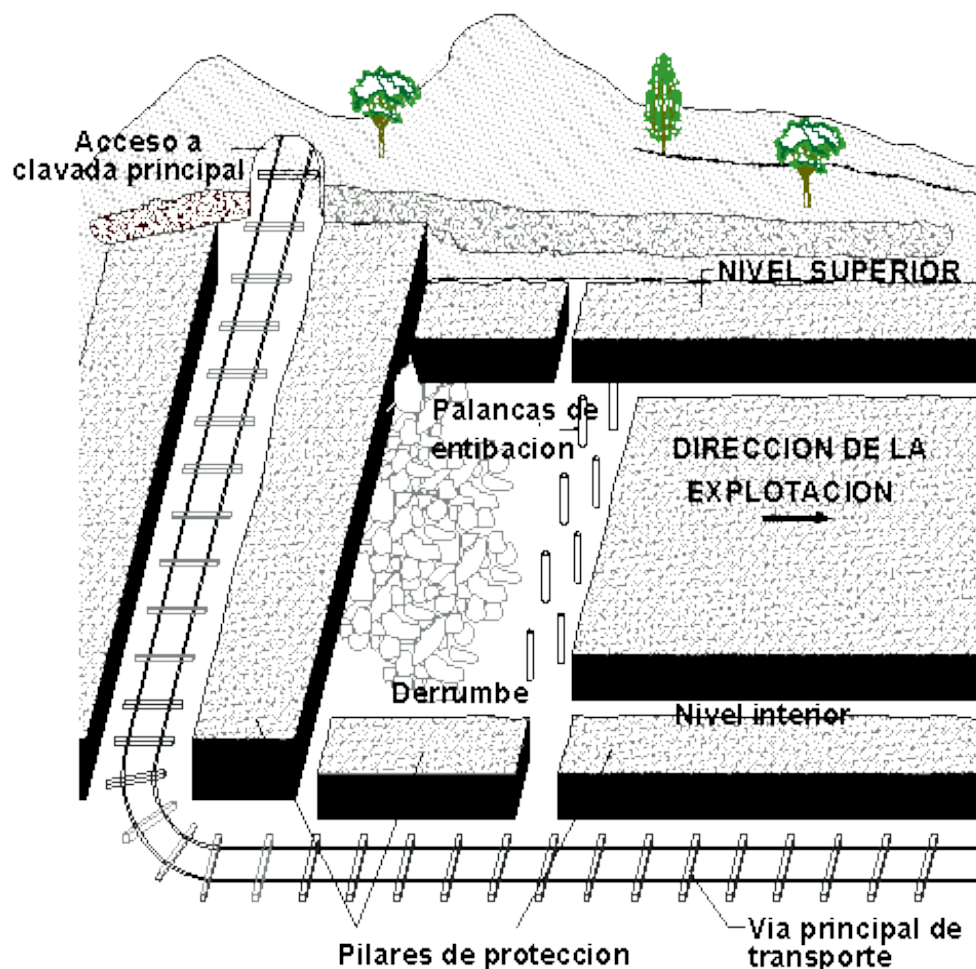


Figura 13 — Tajos Largos (Longwall Mining)

Extraído de LONDOÑO, J. Y RADA, M. (1995)

- f) **Alternativa 6, Método de minado Cámaras y pilares (Room and Pillar).** Según la tesis (ROMERO GELVEZ, 2012 pág.48) En esta estrategia, se realiza un conjunto de cámaras dejando cámaras hacia el techo de la labor. En esta técnica, los puntos de apoyo metálicos pueden ser recuperados o simplemente abandonados. El almacén debe estar básicamente tan nivelado como pueda esperarse y el grosor del almacén no debe superar los 150 pies (50 m), esta es la principal variable que influye en la decisión de la técnica. El tamaño de las cámaras y los puntos de apoyo se resuelve en función de la profundidad y la resistencia de la tierra.

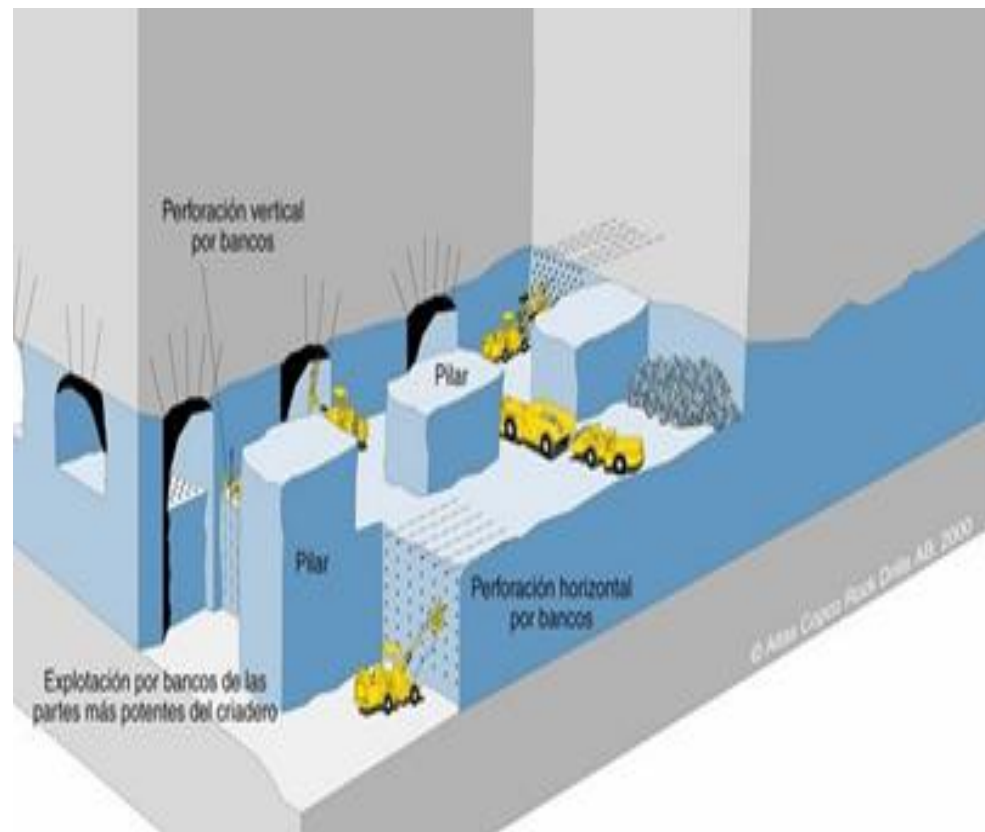


Figura 14 — Cámaras y pilares (Room and Pillar)

Extraído de ATLAS COPCO (2000)

- g) **Alternativa 7, Método de minado por Cámaras almacén (*Shrinkage Stopping*)**. Según la tesis (ROMERO GELVEZ, 2012 pág.49) precisa, este método se caracteriza por la explotación por almacenamiento provisional o cámaras almacén, el mineral se corta en aberturas horizontales, iniciando de la parte baja y avanzando hacia arriba. El minado por almacenamiento provisional es muy utilizado en vetas con pendientes pronunciados de 60° donde el mineral es lo suficientemente resistente como para mantener sin soporte tanto las rocas encajonadas como el techo del tajeo.

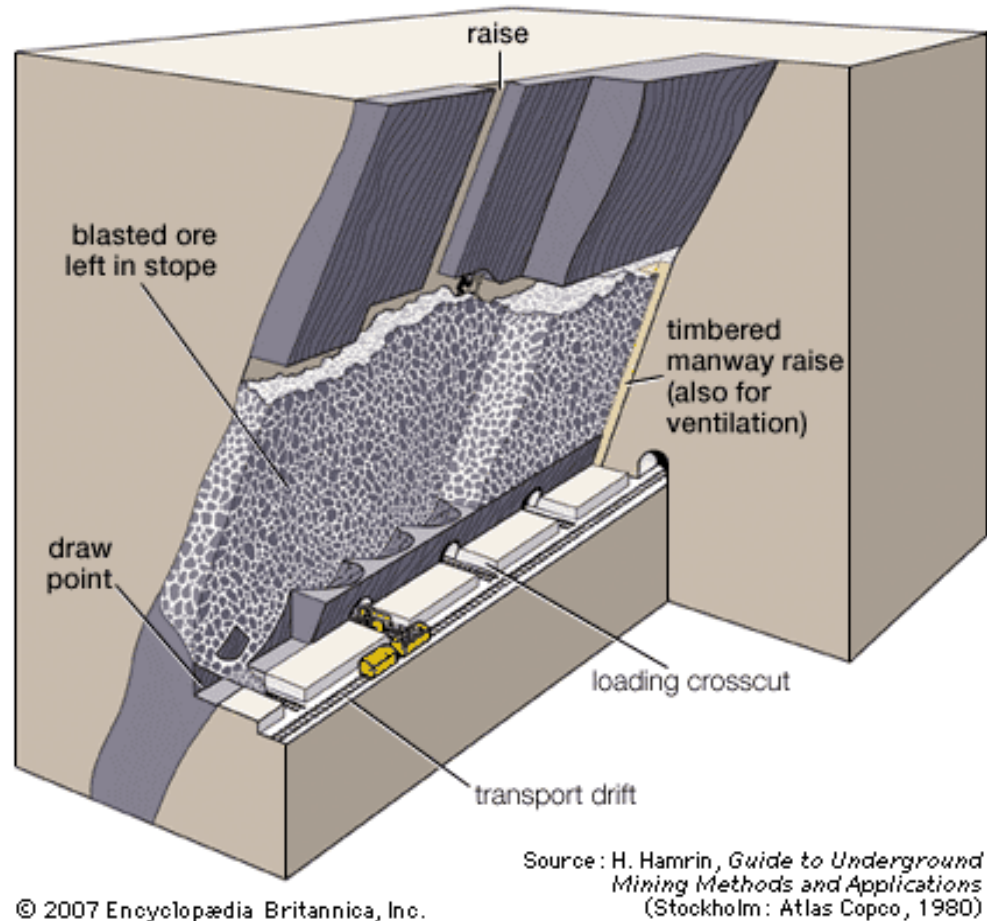
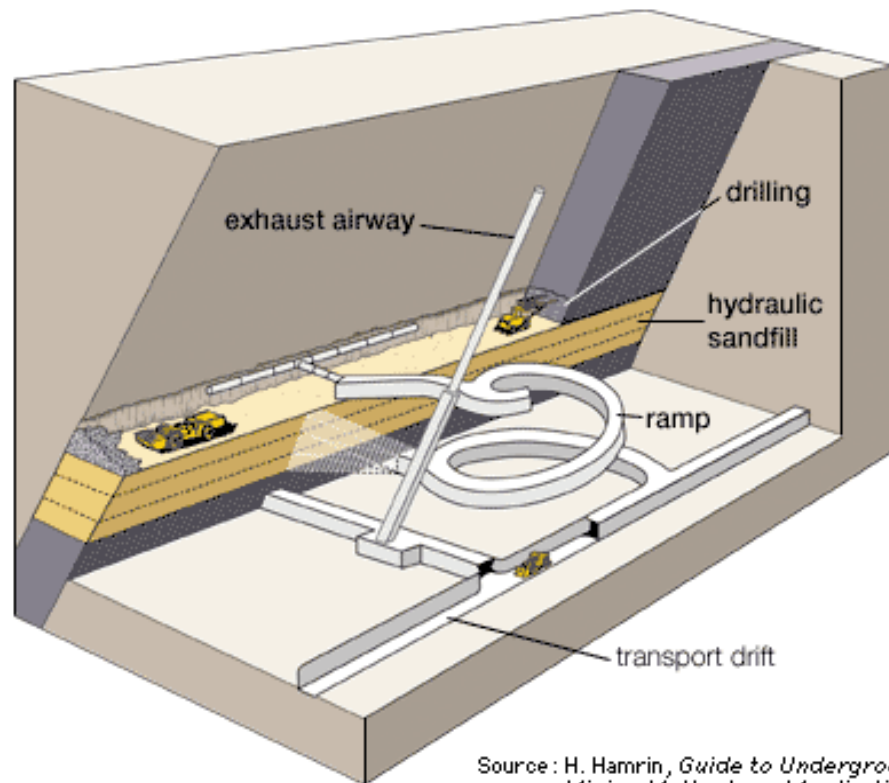


Figura 15 — Cámaras almacén (Shrinkage Stopping)

Tomado de Atlas COPCO (1980)

- h) **Alternativa 8, Método de minado por Corte y Relleno (Cut and Fill Stopping).** Según la tesis (ROMERO GELVEZ, 2012 pág.50) El mineral se extrae por tajadas horizontales, en sentido ascendente, desde la galería de abajo. Una vez hecha la voladura se extrae completamente de la cámara, efectuándose a continuación el relleno del hueco creado con estériles, con lo que se consigue crear una plataforma de trabajo estable y el sostenimiento de los hastiales.



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Source: H. Hamrin, *Guide to Underground Mining Methods and Applications* (Stockholm: Atlas Copco, 1997)

Figura 16 — Corte y Relleno (Cut and Fill)

Tomado de ATLAS COPCO (1997)

i) Alternativa 9, Método de minado por hundimiento por rebanadas (Top Slicing).

Es un método de rebaje que se utiliza en la explotación de bloques mineralizados de resistencia baja.

Los mineros rebajan extrayendo el mineral en un frente vertical, luego la perforación se realiza siempre en sentido horizontal, el arranque está íntimamente ligado a los problemas de en maderación, los que a su vez dependen de la resistencia de la roca y el precio de la madera.



Metode Top Slicing

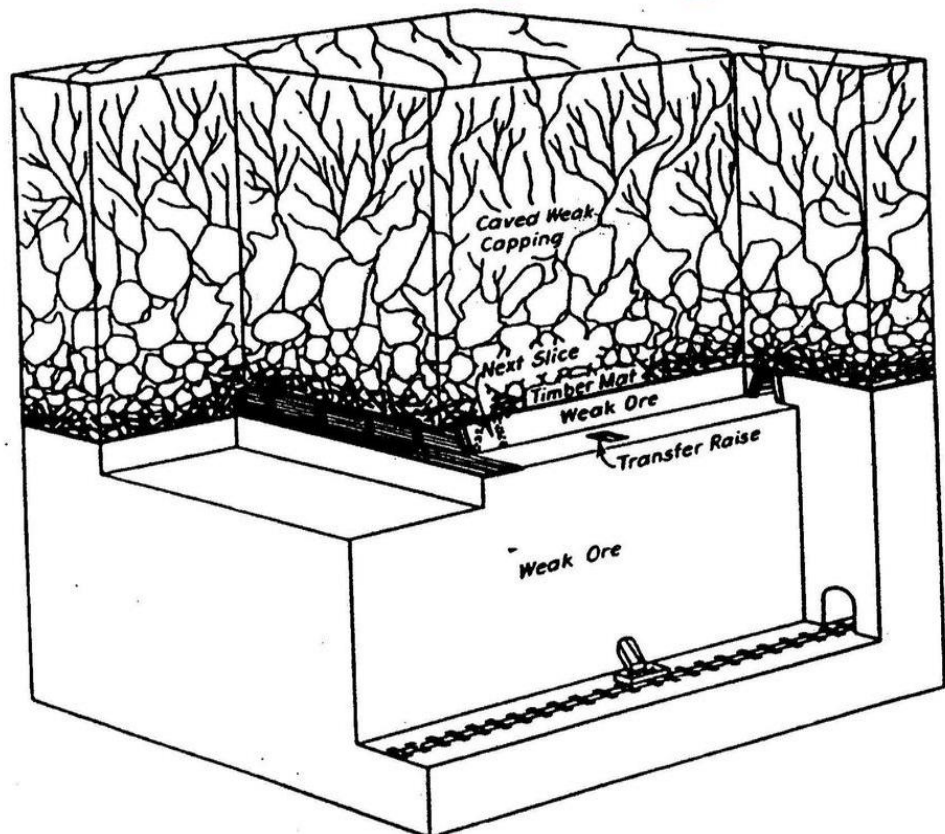


Figura 17 — Hundimiento por Rebanadas (Top Slicing)

Extraído de ATLAS COPCO (1997)

- j) **Alternativa 10, Método de minado por Entibación con Cuadros e madera (Square Set).** Según la tesis (ROMERO GELVEZ, 2012 pág.51). Consiste en el sostenimiento con madera fortificada, disponiendo está en forma de paralelepípedo rectos donde los elementos verticales o estemples soportan las presiones verticales, los horizontales y los cuatro elementos de unión restantes rigidizan el conjunto. Esta técnica de fortificación se emplea preferentemente en yacimientos de rocas débiles e intensamente fracturadas, cuando el mineral se presenta con formas irregulares, con ramificaciones y contactos más definidos.

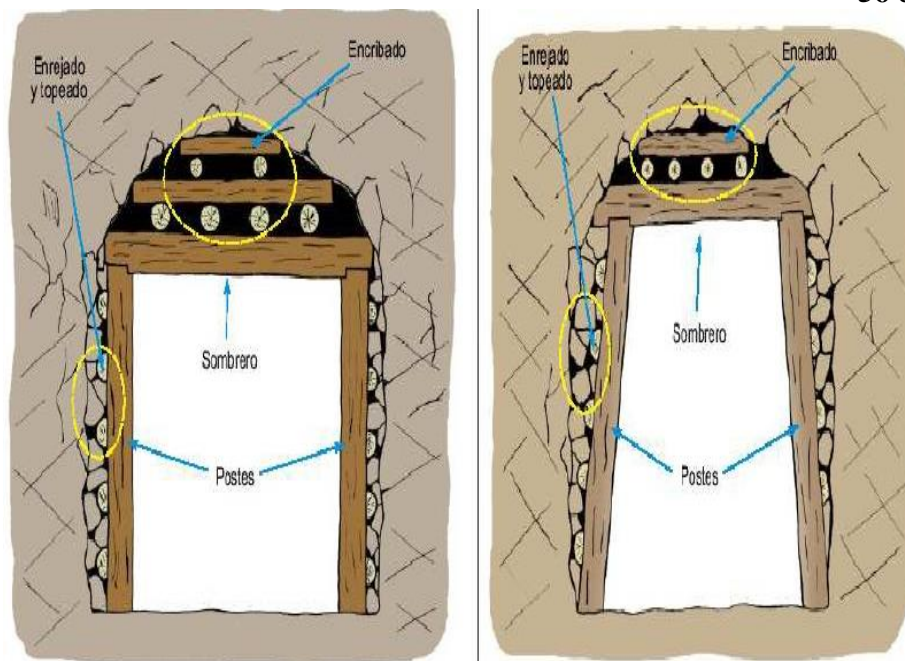


Figura 18 — Cuadros de Madera

Extraído del Ing. ESTEBAN AQUINO A-UNA (2015)

5.1.2 Selección del método de explotación apropiada

Para seleccionar el método de minado más óptimo a usar en el yacimiento Salinas de Cachihuancaray. Se debe analizar los parámetros; como la geometría del yacimiento y las características geotécnicas presentes “in situ” planteado por David E. Nicholas.

Tabla 32 — Criterios considerados para el manto Salinas Cachihuancaray

Criterios	Subcriterios	Parámetro	Calidad	
1. Geometría del yacimiento	SC-1	Forma del yacimiento	Tabular o elongado	Dos direcciones son predominantes
	SC-2	Ángulo de inclinación	Horizontal	0-20°
	SC-3	Potencia del manto	Potencia intermedia	10-30m.
	SC-4	profundidad aproximado	Superficial	100m
2. Características Geotécnicas	SC-5	Distribución de la ley	Uniforme	La ley se mantiene constante en cualquier punto.
	SC-6	espaciamiento entre fracturas	RQD (%)	40 a 70
	SC-7	resistencia de la roca intacta	Competencia alta	>15 Mpa.

Extraído de NICHOLAS (1980)



5.1.3 Aplicación del Método Cuántico de Nicholas

Aplicación del Método Cuántico de Nicholas al manto del yacimiento minero de Salinas Cachihuancaray.

Tabla 33 — Aplicación del Método cuántico de Nicholas al yacimiento

Método de explotación	Forma del yacimiento			Ancho del yacimiento				Orientación			Distribución de las leyes		
	Ma-si-vo	Tabu-lar	Irre-gular	Ang-os-ta	Inter-medi-o	An-ch-o	Muy anch-o	Hori-zont-al	Inter-medi-o	Verti-cal	Uni-forme	Grada-cional	Errático
Open pit	3	2	3	2	3	4	4	3	3	4	3	3	3
Block Caving	4	2	0	-49	0	2	4	3	2	4	4	2	0
Sublevel Stopping	2	2	1	1	2	4	3	2	1	4	3	3	1
Sublevel Caving	3	4	1	-49	0	4	3	1	1	4	4	2	0
Longwall mining	-49	4	-49	4	0	-49	-49	4	0	-49	4	2	0
Room and Pillar	0	4	2	4	2	-49	-49	4	1	0	3	3	3
Shrinkage Stopping	2	2	1	1	1	2	4	2	1	4	3	2	1
Cut and Fill Stopping	0	4	2	4	4	0	0	0	3	4	3	3	3
Top Slicing	3	3	0	-49	0	3	4	4	1	2	4	2	0
Square Set	0	2	4	4	4	4	1	2	3	3	3	3	3



Tabla 34 — Aplicación del Método cuántico de Nicholas al mineral

Método de explotación	Competencia del macizo rocoso			Espaciamiento de fracturas				Condición de estructuras		
	Baja	Media	Alta	Muy cercana	Poco espaciada	Espaciada	Muy espaciada	Baja	Media	Alta
Open pit	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block Caving	4	1	1	4	4	3	0	4	3	0
Sublevel Stopping	-49	3	4	0	0	1	4	0	2	4
Sublevel Caving	0	3	3	0	2	4	4	0	2	2
Longwall mining	4	1	0	4	4	0	0	4	3	0
Room and Pillar	0	3	4	0	1	2	4	0	2	4
Shrinkage Stopping	1	3	4	0	1	3	4	0	2	4
Cut and Fill Stopping	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2
Top Slicing	2	3	3	1	1	2	4	1	2	4
Square Set	4	1	1	4	4	2	1	4	3	2

Tabla 35 — Aplicación del Método cuántico de Nicholas a la pared colgante

Método de explotación	Competencia del macizo rocoso			Espaciamiento de fracturas				Condición de estructuras		
	Baja	Media	Alta	Muy cercana	Poco espaciada	Espaciada	Muy espaciada	Baja	Mediana	Alta
Open pit	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block Caving	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Sublevel Stopping	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4
Sublevel Caving	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4
Longwall mining	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3
Room and Pillar	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3
Shrinkage Stopping	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Cut and Fill Stopping	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2
Top Slicing	2	3	3	1	3	3	3	1	2	3
Square Set	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2

Tabla 36 — Aplicación del Método cuántico de Nicholas a la pared pendiente

Método de explotación	Competencia del macizo rocoso			Espaciamiento de fracturas				Condición de estructuras		
	Baja	Media	Alta	Muy cercana	Poco espaciada	Espaciada	Muy espaciada	Baja	Media	Alta
Open pit	3	4	4	2	3	4	4	2	3	4
Block Caving	2	3	3	1	3	3	3	1	3	3
Sublevel Stopping	0	2	4	0	0	2	4	0	1	4
Sublevel Caving	0	2	4	0	1	3	4	0	2	4
Longwall mining	2	3	3	1	2	4	3	1	3	3
Room and Pillar	0	2	4	0	1	3	3	0	3	3
Shrinkage Stopping	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3
Cut and Fill Stopping	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2
Top Slicing	2	3	3	1	3	3	3	1	2	3
Square Set	4	2	2	4	4	2	2	4	4	2

Tabla 37 — Rating métodos para la aplicación del Método cuántico de Nicholas

Factores de peso	
Geometría del Yacimiento	1
Condiciones geomecánica mineral	0.75
Condiciones geomecánica pared colgante	0.6
Condiciones geomecánica pared yacente	0.38

$$\text{Ranking} = AK1 + BK2 + CK3 + DK4$$

A, B, C y D = Peso valorado por Nicholas

K1, K2, K3 y K4 = Constante del factor de peso

5.1.4 Resultados obtenidos

Tabla 38 — Resultados después de aplicar el método cuántico de Nicholas

Métodos	Yacimiento	Mineral	Pared colgante	Pared pendiente	Total	Ranking
Open pit	11	9	7.2	4.56	27.2	2°
Block Caving	9	0.75	0.6	3.42	10.35	10°
Sublevel Stopping	9	8.25	7.2	4.56	24.45	3°
Sublevel Caving	9	6.75	1.2	4.56	16.95	7°
Longwall mining	12	0.75	0	3.42	12.75	9°
Room and Pillar	13	8.25	7.2	3.8	28.45	1°
Shrinkage Stopping	8	8.25	0.6	3.04	16.85	8°
Cut and Fill Stopping	11	4.5	3.6	2.28	19.1	5°
Top Slicing	11	8.25	0.6	3.42	19.85	4°
Square Set	11	3	3.6	2.28	17.6	6°

Reemplazando los valores en la tabulación del método cuántico se determina que el mejor método desde el punto de vista de David E. Nicholas es el Room and Pillar con un ponderado o ranking de 28.45, seguido por Open Pit con un ponderado o ranking de 27.20 y Finalmente Sublevel Stopping con un ponderado o ranking de 24.45.

5.2 Discusión

El método de minado óptimo para explotación del yacimiento es **Room and Pillar**, es el que alcanzó mayor ranking, por lo cual se ajusta al yacimiento en estudio y necesidad para la aplicación en el manto del yacimiento de Salinas Cachihuancaray de la mina AMA Puca Cachi.

El método de explotación **Open Pit**, es el que alcanzó un segundo mayor ranking, por lo cual se ajusta a nuestra realidad y necesidad para la aplicación en el manto del yacimiento de Salinas Cachihuancaray de la mina AMA Puca Cachi. Pero se deja de manifiesto que se hizo un estudio de la geomorfología del yacimiento y se considera que existe sobre la mina el Anexo de Cachihuancaray con un aproximado de 87 habitantes y un manante de Ñahuinpuquio (Ver Tabla 8) de agua dulce subterráneo la que capta el Anexo de San Juan Bautista que es aprovechado por más de 180 comuneros. Se hizo todos los esfuerzos técnicos por reubicar y proteger el agua, para este método y no se llegó a negociar, por la cual la comunidad pide solo explotación subterránea con todas las medidas de seguridad y la participación de ingeniería minera. Por ello y por otras razones este método de Open Pit queda sin efecto.

Room and Pillar: es un método de minado es muy flexible y se adapta a las características del yacimiento Salinas Cachihuancaray, su uso en la recuperación es buena, en seguridad requiere un buen cálculo de los pilares naturales de mineral. Ver ANEXO I2.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se concluye el proyecto Mina Puca Cachi de la concesión minera Salinas Cachihuancaray, se compara con el antiguo cuenca occidental peruano que comenzó a individualizarse en el Jurásico Inferior con el inicio del recodo volcánico Chocolate (190-170 Mama), y la carga sedimentaria con carbonatos, turbiditas y silicio-clásticos hasta el Cretácico Inferior. Luego, en el Cretácico Superior, la cubeta se reordena porque las zonas de frente de agua comienzan a elevarse, y la sedimentación en tierra firme resulta cada vez más trascendente.
- Para los cálculos de las características geomecánicas se ha utilizado el laboratorio de mecánicas de rocas de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas con la asesoría del Ingeniero de Minas José Cárdenas Catalán, obteniendo datos muy favorables, tales como; densidad de la halita 2.15m³, Resistencia a Compresión Simple del mineral (19.59 Mpa), Caja piso (17.51 Mpa) y caja techo (21.84 Mpa). Concluyendo la resistencia de la roca intacta es de competencia alta con un promedio de 19.65 MPa.
- Se concluye el método de minado de explotación apropiado, se logró al Valorar los parámetros del método numérico de Nicholas en una tabla de Excel. Teniendo como resultado final: Room and Pillar con un valoración de 28.45 ubicándose como una 1° opción de método de explotación apropiado de Halita, Open Pit con una valoración de 27.20 ubicándose como una 2° opción de método de explotación apropiado, este último fue descartado por interés socioculturales de población sobre la mina en estudio.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda a la Asociación de Mineros Artesanales AMA Puca Cachi realizar la “Propuesta de Clasificación Ambiental del Proyecto” porque se tiene la intención de explotar el recurso minero en el ámbito de minería artesanal y debe tener como fin



obtener la clasificación ambiental en la categoría I, para la formulación y elaboración de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), considerando que en las diversas etapas del proyecto se generara impactos ambientales mínimos de categoría leves, ya que en las operaciones no se usara insumos químicos ni materiales tóxicos que pudieran impactar negativamente al ambiente.

- Para el uso del método de explotación apropiado de Cámaras y Pilares, se recomienda construir los componentes que permitan realizar las operaciones mineras en concordancia a la normatividad vigente del ministerio de energía y minas.
- Se recomienda a los practicantes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas-UNAMBA, continuar con las investigaciones con respecto al dimensionamiento de cámaras y pilares, métodos de sostenimiento, ventilación y mecanización de la extracción de la Halita.
- Se recomienda realizar investigaciones para la transformación de la Halita en sal yodada en vista que hoy se extrae para el consumo pecuario y en fragmentos considerables de 1kg, 2kg, 11.5kg, 20kg y 50kg de alta ley de 83.4%. Lo que se pretende es darle un valor agregado para que sea la producción rentable y sostenible en el tiempo.
- El Anexo Mina Cachihuancaray se acentúa sobre la mina AMA Puca Cachi, la cual realiza la explotación de la Halita con el método subterráneo Cámaras y pilares. Se recomienda la reubicación a las zonas más segura como Minascahuarina, Paraje Kiswi o Ranchopampa. Para que la actividad operativa se lleve con seguridad y que contribuya eficazmente al desarrollo sostenible de la zona de influencia del proyecto.



REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS

- BELLENDEZ VAZQUEZ, AUGUSTO. 2009.** *Experiencias de Física, demostraciones y Práctica de Laboratorio.* Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig-Alicante-España: 2009.
- BELLOSO GOMEZ, Jean Arnold y CARDENAS GALLARDO, Alex Diego. 2020.** *Propuesta del método de minado en función a las características geomecánicas en la veta colorada, Cajamarca - Hualgayoc 2019.* Universidad Privada del Norte, Cajamarca: 2020.
- CABELLO CORMAN, Noé Neftalí. 2008.** *Selección del metodo de explotación para la veta Piedad en la Mina Catalina Huanca, Ayacucho.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima: 2008.
- COOK, John. 2016.** *La geomecanica.* s.l.: copyright, 2016.
- EGG HERNÁNDEZ, Ezequiel Ander. 2011.** *Aprender a investigar 1° edición.* Argentina: Editorial brujas, 2011. 9789875912717.
- FIGMMG, Luís G. et al. 1968.** *Columna estategráfica del Grupo Pucará en la sección Chinchao, Huánuco.* Lima-perú: UNMSM, 1968. Vol. 13. 15610888.
- GALVIS BOTÍA, Diana Rocío. 2015.** *Análisis de los factores que inciden en la desestabilización de las columnas de la catedral de sal en Zipaquirá, Cundinamarca.* Cundimarca: Uptc, 2015. 1900771x.
- GOMEZ CHOQUE, Diógenes Enmanuel. 2009.** *Aspectos generales del distrito de San Antonio de Cachi.* Andahuaylas: S/E, 2009. SIN/ISBN trámite.
- HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto. 2014.** *Metodologia de la investigación , sexta edición.* México: Interamericana Editores, S.A, 2014. 9781456223960.
- INGEMMET. 2003.** *Estudio de recursos minerales del Perú, Franja N°3.* Lima-Perú: Primera edición, INGEMMET 2002, 2003. ISBN/Trámite 15013020034762.
- INGEMMET, Mamani et al. 2010.** *Petrogénesis de las rocas intrusivas del Grupo Casma(145-105Ma) en el segmento Acarí-San Juan de Marcona.* lima Perú: INGEMMET, 2010. 00791091.



MURUAGA ROJAS, Sebastián Ignacio. 2016. *Selección de Método de Explotación para Vetas Angostas*. UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CHILE, Santiago-Chile: 2016.

NICHOLAS, D.E. 1981. *Method Selection A Numerical Approach*. New York: -, 1981. -.

ORTIZ CABRERA, Julián. 2007. *Apuntes del curso de explotación de minas (Métodos de explotación-selección de método) MI57E*. Antofagasta, Chile: Universidad de Antofagasta, 2007. ISBN/Trámite.

ROMERO GÉLVEZ, Jorge Iván. 2012. *Selección del método extractivo y su impacto en la productividad minera- estudio de caso en la minería de carbón colombiana*. Universidad de Colombia, Bogotá-Colombia: 2012.

SNMPE. 2011. *Informe Quincenal Minería Reservas mineras*. 2011.

TAMAYO, Jesús Francisco Roberto. 2017. *La industria de la minería en el Perú*. Lima: Gráficas Biblios S.A., 2017. 9786124735011.

WALES, Jimmy. 2001. Wikipedia. *Sitio web MediaWiki*. [En línea] Estados Unidos, 15 de Enero de 2001. [Citado el: 20 de Julio de 2018.] <https://www.wikipedia.org..9781413304541>.



ANEXOS



ANEXO I:

Tabla 39 — Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	DEFINICIÓN DE VARIABLES	POBLACION Y MUESTRA
<p>¿Cuál es el método de minado apropiado para la explotación al utilizar el método numérico de Nicholas para el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray por la asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuáles son las formaciones de la geología regional y local en el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray?</p> <p>¿Cómo influye los resultados de los estudios técnicos en el laboratorio de mecánica de rocas que permita evaluar las características geomecánicas del macizo rocoso para elegir un método de minado de explotación apropiado para el yacimiento minero</p>	<p>Seleccionar el método de minado apropiado para la explotación al utilizar el método numérico de Nicholas para el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray por la asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar las formaciones de la geología regional y local en el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray.</p> <p>Determinar el método de explotación apropiado que se adecua mejor a las características geomecánicas del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la</p>	<p>Al aplicar el método numérico de Nicholas se obtendrá la selección del método de explotación apropiado que sea factible y viable para el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray, por la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018.</p> <p>Hipótesis Especificas</p> <p>Haciendo el cateo y prospección de campo se logró identificar las formaciones de la geología regional y local en el yacimiento minero Salinas Cachihuancaray. Los estudios técnicos en el laboratorio de mecánica de rocas permite evaluar las características</p>	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>La investigación en curso, es de tipo Aplicada.</p> <p>Nivel de Investigación:</p> <p>Esta investigación se precisa que es de carácter correlacional.</p>	<p>La investigación tendrá un diseño no experimental.</p>	<p>Variable Independiente :</p> <p>Manto de Halita del yacimiento minero Salinas Cachihuancara y que necesita un método de explotación optimo por la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018.</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>Selección del método minado óptimo para el yacimiento minero Salinas Cachihuancara y por la Asociación de</p>	<p>Población :</p> <p>Pertenece al método de minado por cámaras y pilares en el yacimiento minero Salinas Cachihuancara y de la Asociación de mineros Artesanales Puca Cachi.</p> <p>Muestra:</p> <p>La muestra se eligió de forma intencional y fue el manto de Halita del yacimiento minero Salinas Cachihuancara y de la Asociación de mineros</p>

<p>Salinas Cachihuancaray de la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi?</p> <p>¿Cuál es el resultado del análisis técnico al utilizar las ponderaciones sugeridas de la tabla de valores del método numérico de Nicholas para el manto mineralizado del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi?</p>	<p>Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018</p> <p>Obtener los resultados del análisis técnico al utilizar las ponderaciones sugeridas del método numérico de Nicholas para el manto mineralizado del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018.</p>	<p>geomecánicas del macizo rocoso para luego adaptar los resultados al método de minado electa para la explotación racional del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray de la Asociación de Mineros Artesanales Puca Cachi.</p> <p>La tabla de valores del método numérico recomendada por Nicholas será de mucha ayuda para la selección del método minado para la explotación racional del yacimiento minero Salinas Cachihuancaray.</p>			<p>Mineros Artesanales Puca Cachi, 2018.</p>	<p>Artesanales Puca Cachi.</p>
--	--	---	--	--	--	--------------------------------

ANEXO II: LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS-UNAMBA



Figura 19 — Estufa de secado de muestras de Halita



Figura 20 — Principio de Arquímedes para el cálculo de la densidad de Halita



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS DE LA UNAMBA-APURÍMAC
ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS
Normas sugeridas por ISRM (International Society for Rock Mechanics)

INFORME : LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS-UNAMBA

RESP.DE LABOR. : Ing. JOSÉ CÁRDENAS CATALÁN

SOLICITANTE : Bach. AVELINO ACOSTA VENEGAS
Tesista 2018

ESTUDIO : ESTUDIOS GEOMECÁNICOS

MINA : AMA PUCA CACHI (Salinas Cachihuancaray).

MUESTRAS : ZONA I, ZONA II

UBICACIÓN UTM : 651805.18 E, 8475769.65 N, 3546.51 m.s.n.m.

Departamento Apurímac, Provincia Andahuaylas, Distrito San Antonio de cachi, Anexo Cachihuancaray.

FECHA : Agosto, 2018

Tabla 40 — Cuadro de resultados ensayo de propiedades físicas

Zona	Muestra	Litolo.	Densi. Gr/cm3	Densi.prom gr/cm3	P.e.a %
Zona i	M-1	Halita	2.15	2.16	15.76
	M-2	Halita	2.17		
Zona ii	M-3	Halita	2.15	2.15	11.51
	M-4	Halita	2.14		





Figura 21 Muestras de Halita para el ensayo de compresión uniaxial



Figura 22 — Equipo sacatesticos de Halita



Figura 23 — Equipo cortadora de testigos de laboratorio y esmerilado



Figura 24 — Probetas de Halita para el ensayo de compresión uniaxial



Figura 25 — Equipo semi automático digital para el ensayo de compresión uniaxial



Figura 26 — Probeta después del ensayo a la resistencia de compresión uniaxial



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS DE LA UNAMBA-APURÍMAC
ENSAYO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL
Normas sugeridas por ISRM (International Society for Rock Mechanics)

INFORME : LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS-UNAMBA

RESP.DE LABOR. : Ing. JOSÉ CÁRDENAS CATALÁN

SOLICITANTE : Bach. AVELINO ACOSTA VENEGAS

Tesista 2018

ESTUDIO : ESTUDIOS GEOMECÁNICOS

MINA : AMA PUCA CACHI (Salinas Cachihuancaray).

MUESTRAS : ZONA I, ZONA II

UBICACIÓN UTM : 651805.18 E, 8475769.65 N, 3546.51 m.s.n.m.

Departamento Apurímac, Provincia Andahuaylas, Distrito San Antonio de cachi, Anexo Cachihuancaray.

FECHA : Agosto, 2018

Tabla 41 — Cuadro de resultados de ensayo a la resistencia a la compresión uniaxial

Zona	N° muestra	Tipo de roca o litología	Ø (mm)	σ (mpa)
Zona i	M-1	Halita	52	19.59
	M-2	Halita	52	17.51
Zona ii	M3	Halita	52	21.84

ANEXO III: ETAPA DE EXPLORACIÓN POR LA HALITA, 2017



Figura 27— Personal de la mina AMA Puca Cachi



Figura 28 — Mantenimiento de cuadros de madera



Figura 29 — Personal minero preparados para los trabajos en las cámaras y pilares



Figura 30 — Galería principal a estándar actual y acceso a las cámaras y pilares



Figura 31 — Piqueo manual en los frentes de las cámaras y pilares



Figura 32 — Comercialización de la Halita en bloques

ANEXO IV: CONJUNTO DE PLANOS ASOCIADOS

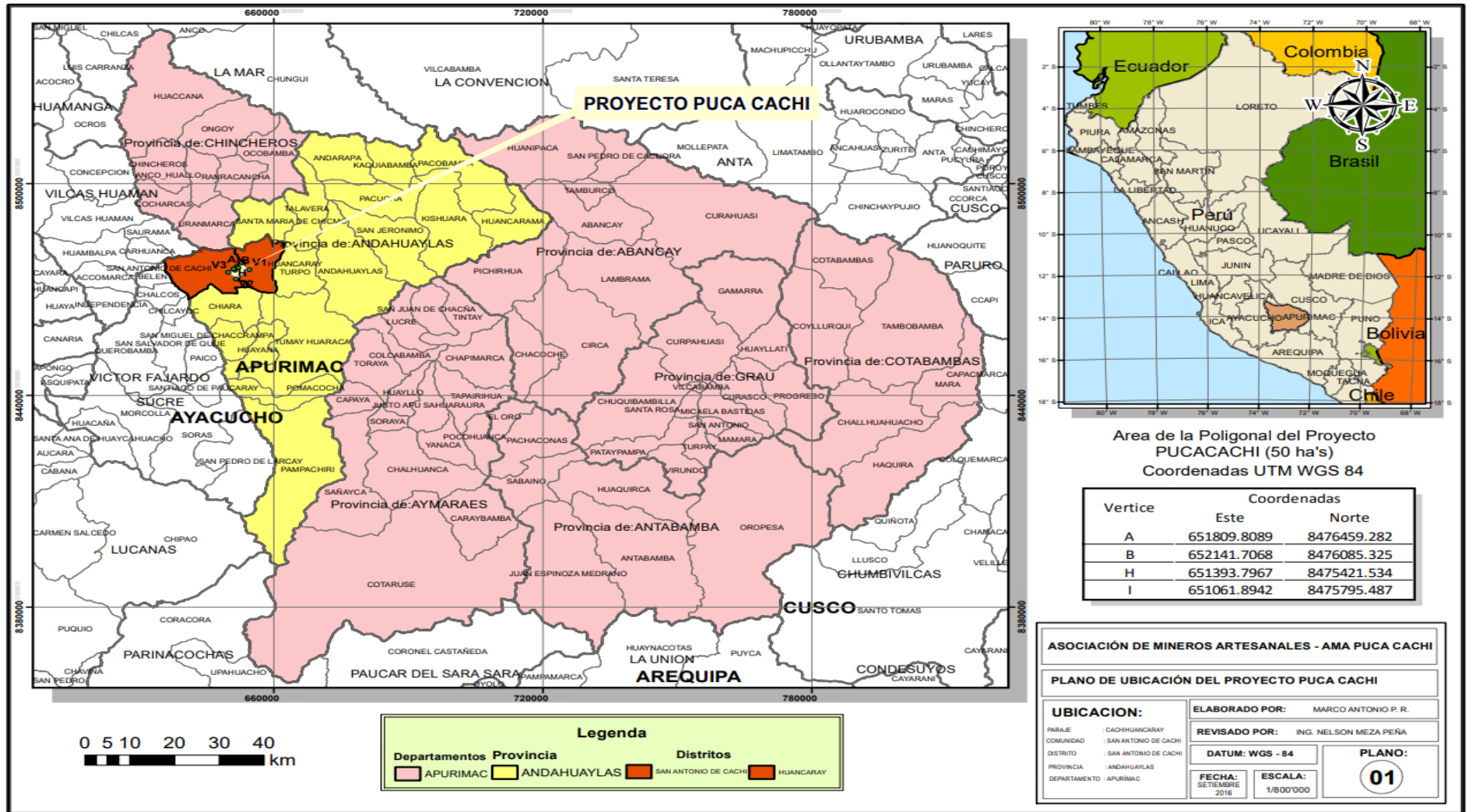


Figura 33 — Plano ubicación del proyecto minero Puca Cachi

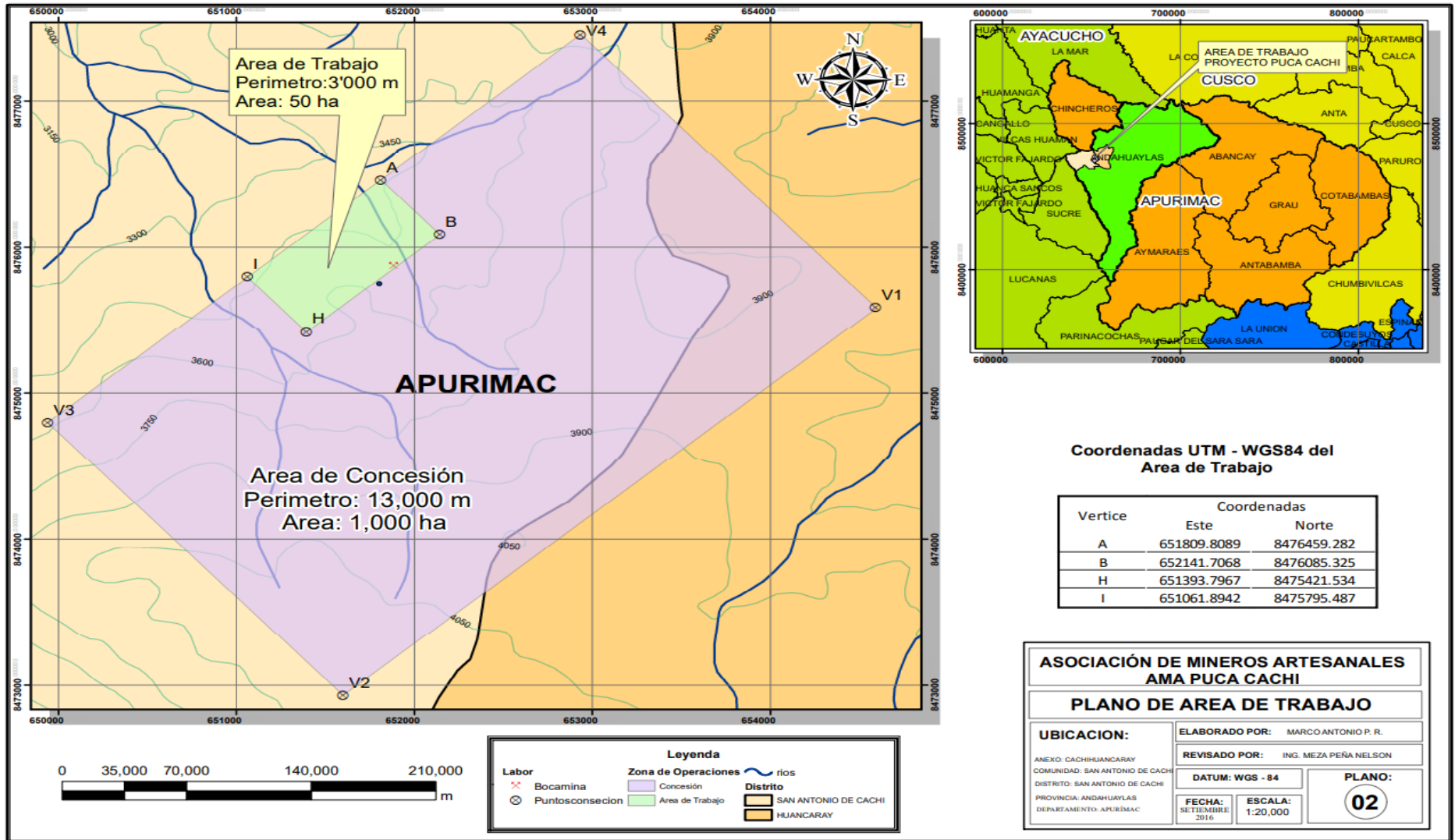


Figura 34 — Plano área de trabajo

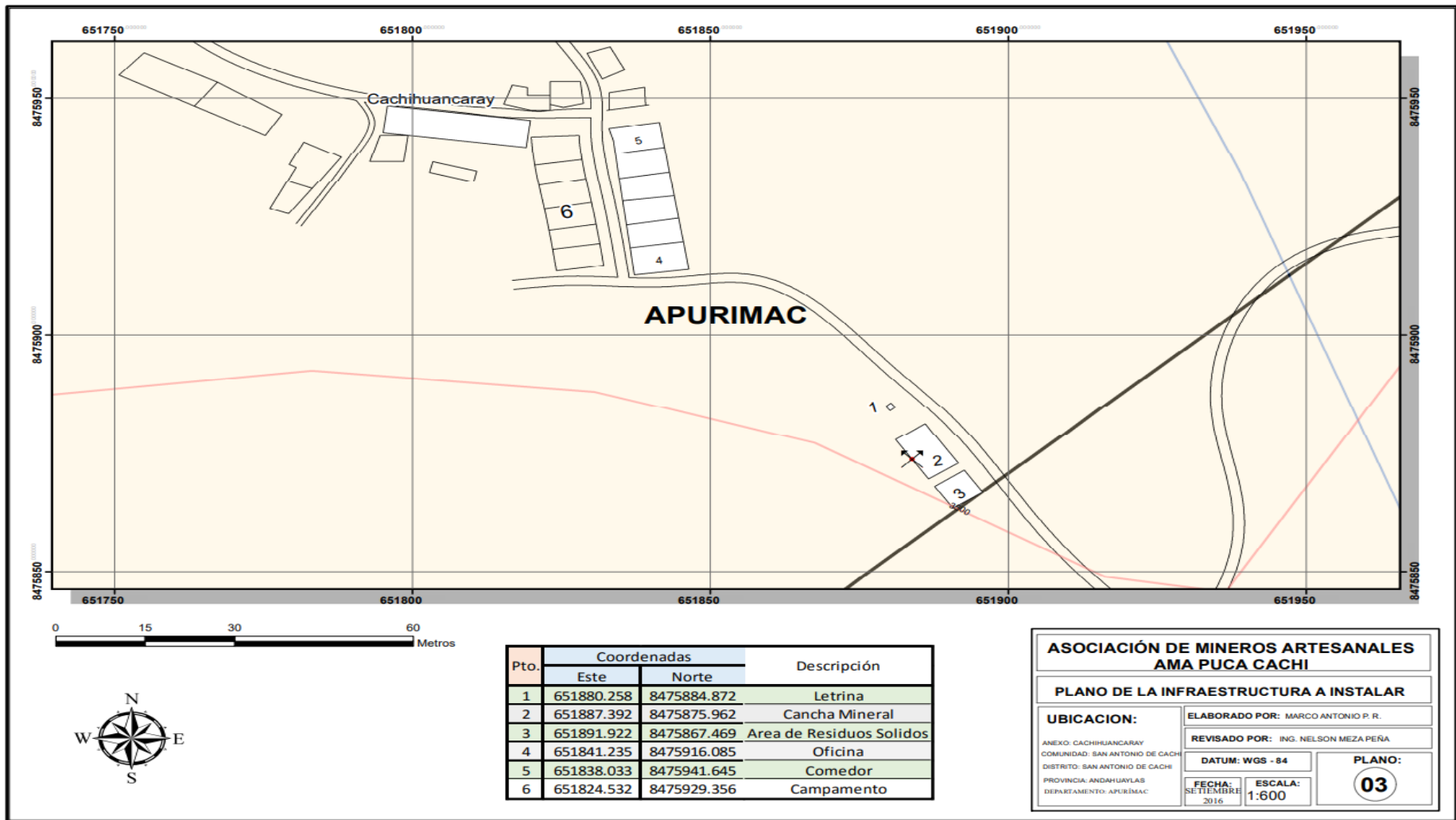
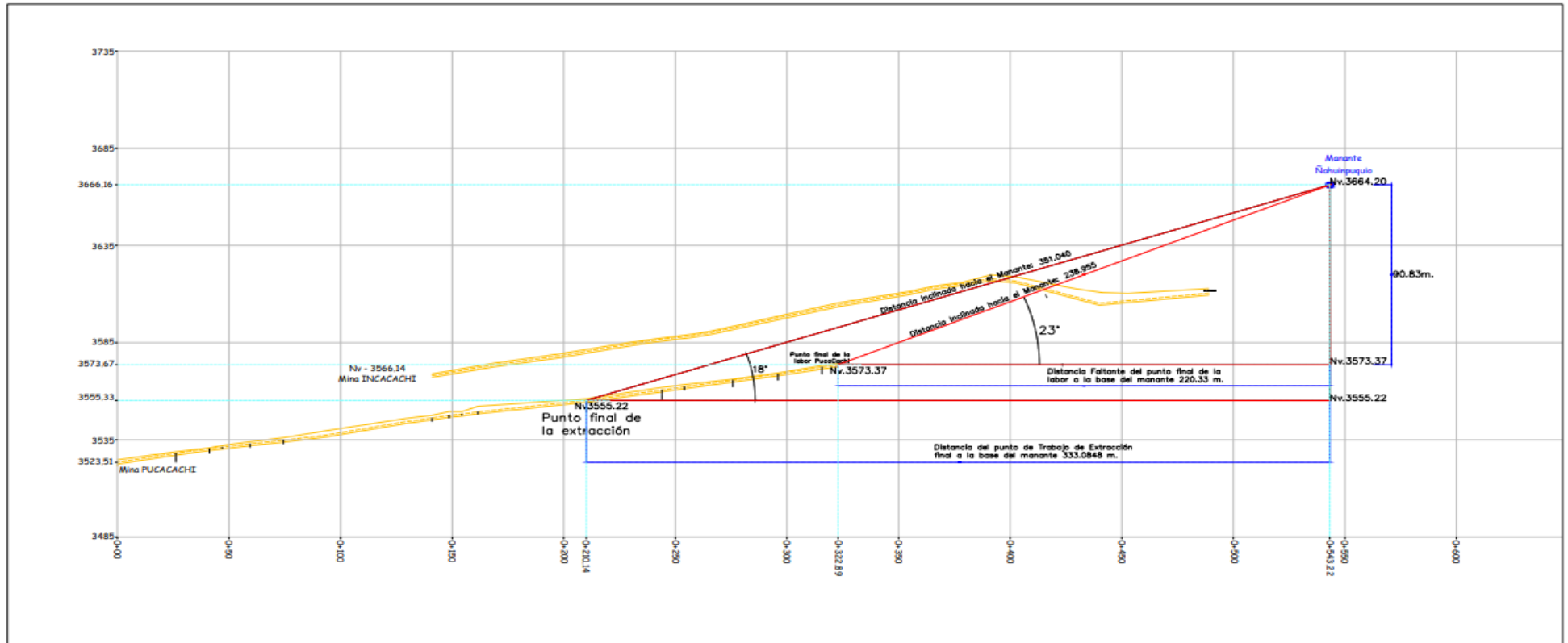
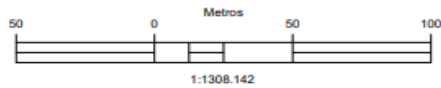


Figura 35 — Plano de la infraestructura a instalar



PUNTOS DE REPLANTEO	
COORDENADAS UTM DATUM WGS84 ZONA 18S	
PUNTO	COTA
Bocamina	3523.51
inicio de extr.	3547.51
Fin de la extr.	3555.22
Manan.Ñawinp.	3664.20



ESTUDIO TOPOGRAFICO PROYECTO MINERO MINA PUCA CACHI		
PLANO: PERFIL DE LABOR		
UBICACION: MUNICIPIO : MINA CACHIRUNICARAY COMUNIDAD : SAN ANTONIO DE CACHI DISTRITO : SAN ANTONIO DE CACHI PROVINCIA : ANDAHUAYLAS DEPARTAMENTO : APURIMAC	ELABORADO POR: Bach. Avelino A.V	REVISADO POR: INGMINAS TOTAL E.I.R.L
ESCALA: 1 / 1250	FECHA: JULIO 2017	LAMINA: P - 02

Figura 36 — Topografía subterráneo mina AMA Puca Cachi

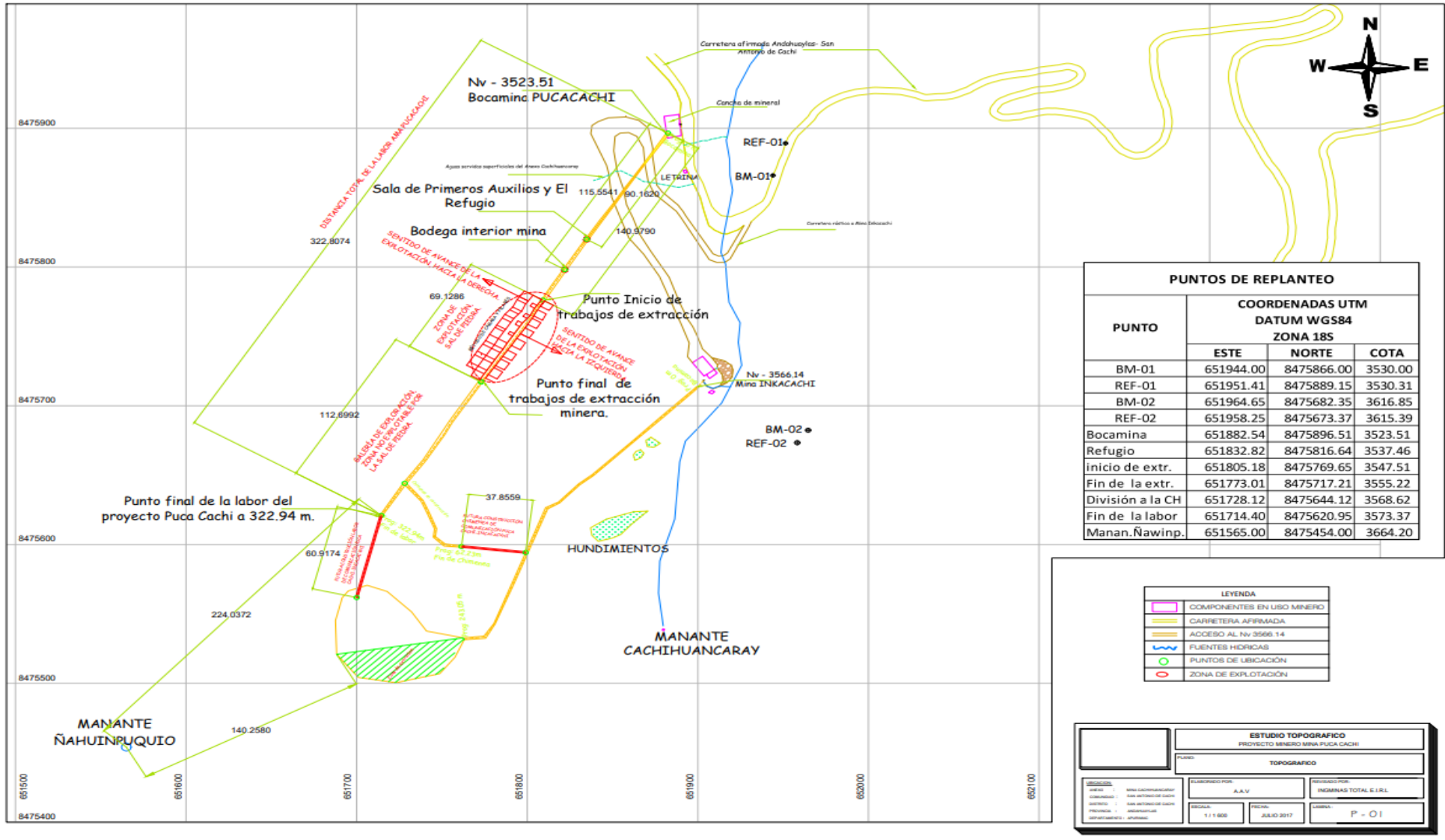


Figura 37 — Vista horizontal de la mina AMA Puca Cachi

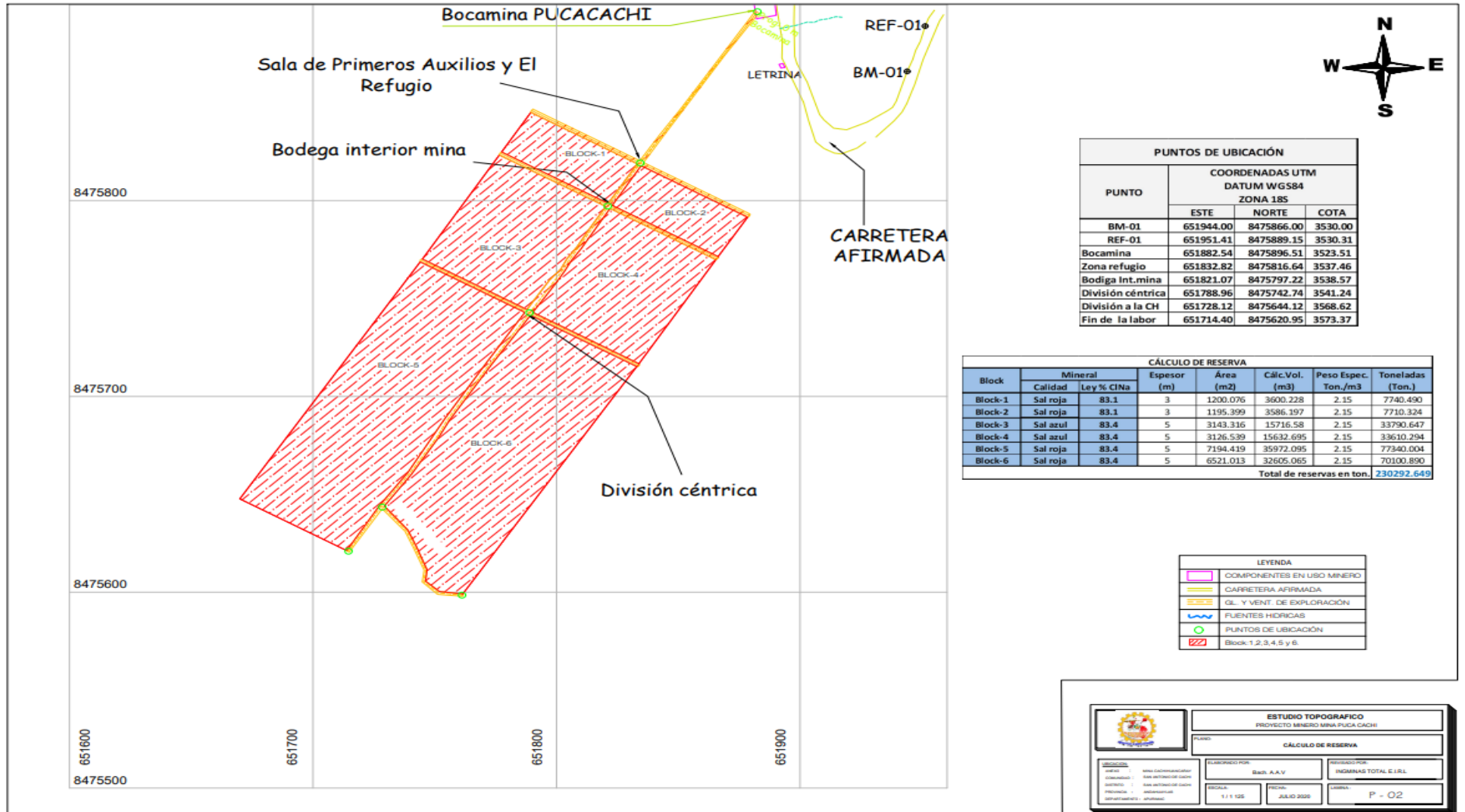


Figura 38 — Cálculo de reservas del proyecto minero Puca Cachi