



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la  
mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero de Minas**

**AUTORES:**

Br. Acosta Medina, Irwin Edinson (ORCID 0000-0002-7342-6809)

Br. Barón Cóndor, Hans Evanof (ORCID 0000-0003-1662-8444)

**ASESOR:**

Ing. Siccha Ruiz Orlando Alex (ORCID 0000-0002-0638-2391)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Análisis De Estabilidad De Taludes

Chiclayo– Perú

2019

## Dedicatoria

Acosta Medina, Irwin Edinson

A dios por ser el guía en el camino de cada paso que he dado y brindarme salud cada día, a mis padres que me brindaron su apoyo constante en todo momento y su sacrificio de día a día, también al entorno tanto estudiantil como familiar que brindaron indirectamente su apoyo y confiaron en mi para la realización de este presente trabajo.

Barón Córdor, Hans Evanof

Mi tesis la dedico con mucho cariño, y amor a mis padres, por ser ellos, el principal motivo de todos mis logros, por siempre apoyarme constantemente para no desistir.

Lo dedico también a mis familiares, especialmente a mis abuelas Flora Quiroz y Altemira Deza, a mis abuelos Saul Córdor y Jorge Barón a mi primo Sandro Barón y a mi tío Segundo, siempre los tengo presentes a ellos, en todos mis logros que hago en esta vida.

## Agradecimiento

Acosta Medina, Irwin Edinson

Le doy gracias a dios por darme la oportunidad de vivir y estudiar la carrera de ingeniería de minas y a la vez a mis padres por brindarme su apoyo constante, también le doy las gracias a mi enamorada por ser paciente y brindar su apoyo en cada momento; así mismo agradecer a mis docentes Mg. Aguinaga Vásquez Silvia Josefina y Mg. Ing. Siccha Ruiz Orlando Alex por guiarme en la elaboración de la tesis.

Barón Cóndor, Hans Evanof

Doy gracias a Dios por todo el amor recibido en todos estos años en la universidad, por las buenas amistades hechas y por todos los conocimientos adquiridos por los profesores.

Agradezco a mis padres por ser siempre los principales promotores e impulsores de todos mis sueños, por su apoyo constante y por todo el amor que siempre me brindan, por confiar en mí en cada paso que he dado en mi vida.

Gracias a Dios por permitirme seguir con mis triunfos y anhelos, por cada día bendecido y por esta gran oportunidad de disfrutar todo lo logrado con las personas que más quiero en esta vida.

Agradezco también a todos los ingenieros que nos ayudaron en esta investigación, por sus conocimientos, y paciencia para poder elaborar esta investigación.



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 9:00 horas del día 5 de Julio de 2019, de acuerdo a lo dispuesto por la Resolución de Dirección de Investigación N° 0646 - 2019/UCV-CH, de fecha 9 de Abril de 2019, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis **ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA LA ESTABILIDAD EN LAS LABORES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE LA MINA SANTA CLOTILDE 7, CHONGOYAPE - LAMBAYEQUE**", presentada por el Bach. **ACOSTA MEDINA IRWIN EDINSON y BARON CONDOR HANS EVANOF** con la finalidad de obtener el Título de Ingeniero de Minas, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:

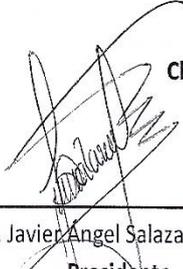
- Presidente: Mg. Javier Ángel Salazar Ipanaqué
- Secretario: Mg. Orlando Alex Siccha Ruiz
- Vocal: Mg. Jorge Omar Gonzales Torres

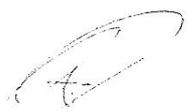
Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:

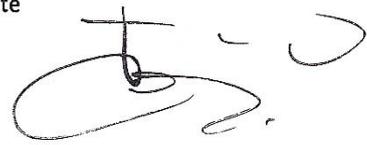
Aprobado por unanimidad

Siendo las 9:40 horas del mismo día, se dió por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Chiclayo, 5 de Julio de 2019

  
Mg. Javier Ángel Salazar Ipanaqué  
Presidente

  
Mg. Orlando Alex Siccha Ruiz  
Secretario

  
Mg. Jorge Omar Gonzales Torres  
Vocal

## Declaratoria de Autenticidad

Yo, Acosta Medina Irwin Edinson, identificado con el DNI 71436082, y Barón Cóndor Hans Evanof identificado con el DNI 77159538, de la escuela profesional de Ingeniería de Minas, autores de la Tesis la cual lleva como título Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de a mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque, declaro lo siguiente:

El contenido de esta tesis es original, es el resultado de trabajo diario, no ha sido imitado, se usaron ideas, formulaciones, imágenes, etc., propias del autor. Se ha empleado contenido importante el cual se ha extraído de libros e incluso de otros proyectos de tesis, los cuales han sido citados según los derechos del autor.

Considerando lo anterior soy responsable de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer copia, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que tomo cualquier responsabilidad que pudiese haber con respecto a esta tesis.

De tal modo me hago responsable ante la Universidad o terceros, de cualquier anomalía que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado.

Chiclayo, 16 de julio del 2019



DNI: 71436082

Acosta Medina, Irwin Edinson



DNI: 77159538

Barón Cóndor, Hans Evanof

## Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de Autenticidad.....	v
Índice.....	vi
RESUMEN.....	ix
ABSTARCT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad Problemática:.....	1
1.1.1. A nivel internacional.....	1
1.1.2. A nivel nacional.....	2
1.1.1. A nivel local.....	4
1.2. Trabajos previos.....	5
1.2.1. A nivel internacional.....	6
1.2.2. A nivel nacional.....	10
1.2.3. A nivel local.....	14
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	14
1.3.1. Ciencias.....	14
1.3.2. Variable independiente.....	15
1.3.3. Variable dependiente.....	31
1.3.4. Marco legal.....	35
1.3.5. Estado del arte.....	37
1.3.6. Impacto ambiental.....	38
1.3.7. Seguridad y salud ocupacional.....	38
1.3.8. Administración en prevención y riesgos y desastres.....	38
1.3.9. Definición de términos.....	39
1.4. Formulación al problema.....	40
1.5. Justificación del estudio.....	40
1.6. Hipótesis.....	41
1.7. Objetivo.....	41
1.7.1. General.....	41
1.7.2. Específicos.....	41
II. MÉTODO.....	42

2.1.	Tipo y diseño de investigación .....	42
2.2.	Operacionalización de variables .....	42
2.2.1.	Variable independiente .....	42
2.2.2.	Variable dependiente .....	42
2.3.	Población y muestra .....	44
2.3.1.	Población.....	44
2.3.2.	Muestra.....	44
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	44
2.4.1.	Técnica de recolección de datos .....	44
2.4.2.	Instrumentos de recolección de datos .....	45
2.4.3.	Validez y confiabilidad.....	45
2.5.	Procedimiento.....	45
2.5.1.	Analizar las características y dureza en la roca mediante ensayos en laboratorio: ...	45
2.5.2.	Especificar el factor de seguridad en las labores mineras .....	49
2.5.3.	Proponer el tipo de sostenimiento adecuado para la estabilidad en la mina .....	49
2.6.	Método de análisis de datos .....	50
2.6.1.	Diagrama de procesos.....	50
2.7.	Aspectos éticos .....	52
III.	RESULTADOS.....	53
3.1.	Análisis de las características y resistencia de la roca mediante los ensayos de laboratorio 53	
3.1.1.	Labor de desarrollo.....	53
3.1.2.	Labor de Producción.....	56
3.2.	Factor de seguridad en las labores mineras.....	59
3.2.1.	Labor de desarrollo.....	59
3.2.2.	Labor de producción.....	60
3.3.	Propuesta del tipo de sostenimiento conveniente para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7 .....	61
3.3.1.	Labor de desarrollo.....	61
3.3.2.	Labor de producción.....	65
IV.	DISCUSIÓN .....	71
V.	CONCLUSIONES: .....	72
VI.	RECOMENDACIONES .....	73
	REFERENCIAS.....	74

ANEXOS .....	81
Matriz de consistencia .....	82
Instrumentos de recolección de datos .....	83
Fotografías .....	103
Validación de recolección de datos de laboratorio .....	111
ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS .....	115
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS .....	116
AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL.....	118

### INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Camino de llegada a la empresa minera.....	5
Figura N° 2: Proceso para evaluar RQD por taladros .....	19
Figura N° 3: Espaciamiento vs RQD, Bieniawski (1989).....	20
Figura N° 4: Resistencia a Compresión uniaxial de la roca intacta .....	21
Figura N° 5: Números por juntas.....	22
Figura N° 6: Valores de Fe en función del RMR.....	23
Figura N° 7: Valores de Fs en función de ICE .....	24
Figura N° 8: Proceso de Diseño Geomecánico.....	28
Figura N° 9: Mecanismos de falla y estado de la roca caja para facilitar compresiones (modificado de Loring, 2009).....	29
Figura N° 10: Excavación de Túneles.....	33

### INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Coordenadas de ubicación .....	5
Tabla N° 2: Correlaciones entre los sistemas de clasificación .....	27
Tabla N° 3: Fs recomendados según la estabilidad.....	31
Tabla N° 4: Normativa ASTM.....	47
Tabla N° 6: Resultados de carga puntual y propiedades físicas de las rocas .....	53
Tabla N° 7: Resultados del análisis de RQD .....	53
Tabla N° 8: Resultado RMR .....	54
Tabla N° 9: Geomecánica .....	55
Tabla N° 10: Resultados Q de Barton .....	55
Tabla N° 11: Ensayo de compresión uniaxial y propiedades físicas de las rocas .....	56
Tabla N° 12: Resultados del análisis de RQD .....	57
Tabla N° 13: Resultados del análisis RMR .....	58
Tabla N° 14: Resultados del análisis Q de Barton.....	58

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Normativas .....	36
Cuadro N° 2: Operacionalización de variables .....	43
Cuadro N° 3: Ensayos realizados en laboratorio .....	44

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema N° 1: Diagrama de procesos .....	51
--	----

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito realizar un análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque. La investigación surgió de la observación de un problema vinculado con la estabilidad de las rocas en las labores en donde se hace el estudio, para dicha investigación se buscó trabajar con una muestra que son las labores de desarrollo y producción, utilizando como tipo y diseño de investigación, siendo cuantitativa con el diseño no experimental descriptivo transversal.

Asimismo, para el recojo de información se utilizaron métodos como es; método de análisis documental y método sistémico siendo las técnicas observación y análisis documental, junto a instrumentos empleados como guía de observación, a las implicadas muestras que se hace el estudio, además, se utilizó el programa Google. Toda esta metodología le da a este informe de investigación el respaldo, sustento y seriedad respectiva.

Finalmente, se obtuvo como resultados que en la labor de desarrollo su RQD de 80, con RMR 55 una valorización de 60-41, clase de roca III roca regular, teniendo un Q de Barton de 2.66 y GSI 60, en la labor de producción su RQD 75, con RMR 53 una valorización de 60-41, clase de roca III roca regular, teniendo un Q de Barton de 1.25 y GSI de 55 todos estos resultados se presentan por medio de cálculos, análisis de laboratorio y tablas geomecánicas, cada una con sus respectivos análisis que contribuyeron a comprobar la hipótesis: el análisis geomecánico permitirá determinar la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7 – Chongoyape-Lambayeque, todo este trabajo permitió concluir que el análisis geomecánico, permitió determinar, el grado de estabilidad de las labores, determinando, que las labores son inestables para los diferentes tipos de trabajos que se puedan realizar.

Palabras clave: Geomecánica, estabilidad, tipo de roca, GSI, RQD, RMR.

## ABSTARCT

The purpose of this work is to perform a geomechanical analysis for stability in the development and production of the Santa Clotilde 7-chongoyape-Lambayeque mine. The investigation arose from the observation of a problem linked to the stability of the rocks in the work where the study is made, for this research we sought to work with a sample that are the tasks of development and production, using as type and design of investigation, being quantitative with the non-experimental descriptive transversal design.

Also, for the collection of information methods were used as is; method of documentary analysis and systemic method being the techniques of observation and documentary analysis, together with instruments used as an observation guide, to the implied samples that the study is made, in addition, the Google program was used. All this methodology gives this research report the support, sustenance and seriousness.

Finally, it was obtained as results that in the development work its RQD of 80, with RMR 55 a valuation of 60-41, class of rock III regular rock, having a Q of Barton of 2.66 and GSI 60, in the work of production its RQD 75, with RMR 53 a valuation of 60-41, class of rock III regular rock, having a Q of Barton of 1.25 and GSI of 55 all these results are presented by means of calculations, laboratory analysis and geomechanical tables, each one with their respective analyzes that contributed to verify the hypothesis: the geomechanical analysis will allow to determine the stability in the development and production tasks of the Santa Clotilde 7 – Chongoyape-Lambayeque mine, all this work allowed to conclude that the geomechanical analysis allowed to determine the degree of stability of the tasks, determining that the tasks are unstable for the different types of work that can be performed.

Keywords:

Geomechanics, stability, rock type, GSI, RQD, RMR.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática:

Custodio (2014) en Lambayeque, hay pequeñas empresas mineras, como las canteras, y la minería artesanal, en la que no se le toma mucha importancia. Desperdiciando así también, grandes oportunidades de negocios para los demás sectores económicos, que podrían ver a la minería como su potencial proveedor.

Nina (2017) en los trabajos que se realizan sobre geomecánica aplicada en las labores subterráneas, deben de ser recolectados los datos que se necesitan de las labores para poder realizar los cálculos necesarios para el estudio, facilitando a los trabajadores y al personal de explotación seguir con sus labores, teniendo en cuenta los pasos a seguir para un buen estudio geomecánico.

Cabello (2018) los estudios geomecánicos que se realizan, sirven también para tenerlos de guía para el uso de prevención de caídas y en el ámbito de seguridad en la minería, haciendo que el trabajo de los obreros sea más seguro y disminuir los riesgos que se puedan presentar.

Cruzado (2017) los estudios geomecánicos son de vital importancia para las labores subterráneas ya sean para extracción de minerales, o construcciones civiles, los estudios geomecánicos tienen que ir acompañados de los estudios geológicos para la orientación de las formaciones rocosas.

#### 1.1.1. A nivel internacional

Miranda (2018) los diferentes modelos de estudios que se realizan en las labores de las minas son muy relacionadas y se complementan entre sí, los modelos geológicos y geomecánicos se basan en el comportamiento de los macizos rocoso, para las operaciones de las labores.

Llumiquinga (2018) los modelos geomecánicos son importantes no solo para ver el tipo o cualidad de las rocas en donde se desarrollan las labores, también son

importantes para asegurar el ritmo y diseño de las explotaciones en relación con el factor seguridad.

Wang (2017) la geomecánica aplicada a las múltiples funciones físicas de las rocas que se encuentran en las excavaciones subterráneas para la explotación de minerales o crudos de petróleo, se pueden crear modelos de simulación bajo los principios de la geomecánica, apoyándose de los diferentes softwares de modelamiento, para acercarse más a lo real de la deformación y stress de macizo rocoso.

Mohanraj (2018) las alteraciones que se encuentran en las diferentes capas de las rocas pueden ser influenciadas en su estrés o deformación no solo por la compresión del macizo rocoso, sino también de los diferentes cambios térmicos que se pueden dar en fluidos subterráneos, afectando también la elasticidad de las rocas, teniendo cada tipo de roca o componente que se encuentre en ella un grado de temperatura adecuada para poder cambiar sus propiedades físicas de la roca.

#### 1.1.2. A nivel nacional

Quinto y Huamanyalli (2017) los análisis o estudios geomecánicos que se realizan a las labores mineras o construcciones subterráneas, son de vital importancia para los trabajadores, la geomecánica contribuye no solo con la clasificación rocosa, también contribuye bastante con la seguridad en las minas.

Mendieta (2014) en mecánica de rocas se sabe que, en la construcción de un túnel, habrá alteración de las fuerzas físicas que presenta la roca, ya que para dar un equilibrio de fuerzas que ejercerán directamente hacia el túnel, se tiene que elegir el tipo de sostenimiento adecuado, siempre y cuando guiándose previamente por los resultados del estudio geomecánico.

Soria (2018) la geomecánica que se aplica para la construcción de obras civiles como túneles, tiene de gran importancia para el conocimiento de los comportamientos mecánicos de las rocas, que se originan mediante la

deformación del macizo rocoso ante el avance de las labores, esta tiene a tener el punto paso más importante antes de las construcciones subterráneas.

Aquino (2018) en los estudios que se realizan en las minas o en las construcciones civiles subterráneas, la geomecánica sirve para diferentes puntos como, la estabilidad, la seguridad, el tipo de explotación o minado, y tiempo de auto sostenimiento del macizo rocoso, en la mina donde hace su estudio, realiza el análisis geomecánico para ver el tipo de minado que se puede realizar, pero teniendo en cuenta el factor seguridad para las labores.

Polo (2017) los diferentes métodos de minado, hacen que las labores dependen de la geomecánica por el tipo de roca que se puede ir encontrando mientras se van avanzando las labores, esto teniendo en cuenta la estabilidad y la seguridad de trabajo en cada una de las labores, un punto en el que se resalta en este tema de investigación es el grado de rotura de la roca, en la que se puede determinar también la cantidad de explosivo que requiere la roca para ser rota.

Torre (2015) los resultados geomecánicos sirven también para el factor de rotura de la roca para las voladuras que se realizan dentro de las labores, siendo este también uno de los factores para el sostenimiento adecuado de las labores, por las diferentes ondas que se originan en la voladura, alterando las rocas dentro de las labores.

Saenz (2017) los diferentes tipos de rocas que se presentan en las excavaciones o en construcciones directamente en las rocas son de vital importancia para poder determinar el grado de dureza de cada una, determinando el tipo de sostenimiento adecuado y conveniente para cada tipo de labor que se quiera desarrollar en ellas.

Ccorahua (2016) en las empresas artesanales en pequeñas mineras, siempre tienen problemas de los desprendimientos de las mazas rocosas, causando así pérdidas humanas o pérdidas materiales, para evitar estos tipos de sucesos, se debe hacer estudios geomecánicos en donde se pueda prevenir y evitar los accidentes favoreciendo a la seguridad en las minas subterráneas.

### 1.1.1. A nivel local

Santa Clotilde 7 se encuentra ubicada en la zona UTM 17 con unas 100 hectáreas formuladas, en el departamento de Lambayeque, provincia de Chiclayo y entre los distritos de Chongoyape y Pátapo.

La geología donde se encuentra la mina es un poco accidentada, y alejada de los centros poblados, está ubicada entre los distritos de Chongoyape y Pátapo, en los alrededores de la mina se encuentra el río Chancay. Los tipos de rocas que presenta son de carácter óxidos y sulfuros. La mina se encarga de extraer minerales metálicos, mediante la extracción subterránea, esta presenta 2 labores, las cuales son de desarrollo y producción, en estos dos frentes se observa que no cuenta con el debido sostenimiento para las labores de los trabajadores, aumentando así el riesgo de accidentes e incidentes. Las dimensiones aproximadas de éstas, con respecto a su altura son de 1.70 y de ancho 1.50, la cual no es favorable para el trabajo dentro de ella.

La mina no presenta mapeo geológico, ni sondajes, que como consecuencia no se tiene una inducción mineralógica. El tipo de trabajo que se ha estado realizando en los dos frentes ha sido mediante un taladro Bosch de barreno helicoidal, en la cual se perforaba para debilitar la roca y poder incrementar el avance en las labores. También se ha estado usando el uso de explosivo artesanal, y dinamita, alterando la estabilidad de las rocas que se encuentran en las dos labores, haciendo así que esta sea más inestable en cada estallido de roca que se haga por avance.

No solo el estallido de roca es un factor que altera la estabilidad en las labores, sino también el peso de las rocas hacia la construcción subterránea, alterándose y tratando de encajar en el espacio excavado.

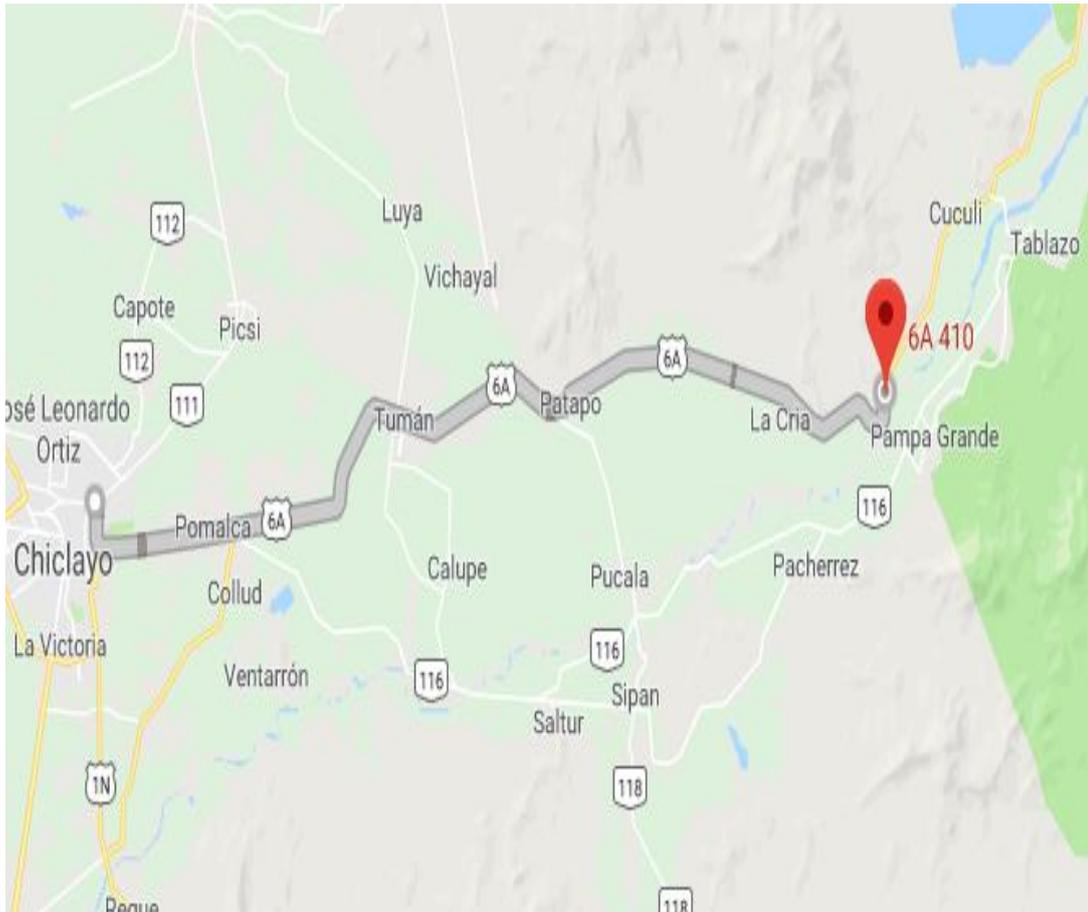


Figura N° 1: Camino de llegada a la empresa minera

Fuente: (Google Maps)

Tabla N° 1: Coordenadas de ubicación

COORDENADAS WGS84		HECTARIAS	ZONA UTM	CÓDIGO	CÓDIGO	ALTURA
NORTE	ESTE					
9,257,635.92	665,745.26	100	17	14-D	30010007	420MSNM
9,256,635.92	665,745.26					
9,256,635.91	664,745.28					
9,257,635.90	664,745.28					

Fuente (Elaboración Propia)

## 1.2.Trabajos previos

Se realiza indagaciones bibliográficas específicas como internacionales, nacionales y locales en la investigación.

### 1.2.1. A nivel internacional

En México según YEDRA PÉREZ, Misahel (2018) de la Universidad Nacional Autónoma de México expuso su tesis para obtener el título de Maestro en Ingeniería titulado: “Geomecánica aplicada a la simulación numérica de yacimientos”. Argumentando que:

Posteriormente se presenta la explicación y derivación de los modelos matemáticos de flujo de fluidos considerando la deformación del medio poroso y del modelo de geomecánica empleado para determinar su deformación. Se considera flujo monofásico e isotérmico de un fluido de compresibilidad constante en un yacimiento heterogéneo y anisótropico, cuyas propiedades petrofísicas están en función del esfuerzo medio y de la presión, suponiendo que la deformación del medio poroso ocurre de forma homogénea e isotrópica, de acuerdo con la teoría poroelástica lineal.

En Canadá según MOHAMMAD MEHDI, Khajeh (2013) de la universidad de Alberta presentó la tesis para obtener el título: Doctorado en Ingeniería geotécnica titulado: “Heterogeneity Consideration and Upscaling of Elastic Properties in Coupled Geomechanical Flow Simulation of SAGD”. Cuyo objetivo fue, “La nueva técnica de ampliación geomecánica incluye la capacidad de considerar Deformación isotrópica transversal e independencia de las propiedades de escala gruesa” concluyendo. “Se dará a conocer una nueva técnica numérica de la geomecánica considerando las deformaciones isotrópicas transversales e independencia de las propiedades con respecto al macizo rocoso encargado de promediar los datos reales en una simulación en el yacimiento” (p.4).

En México según RODRÍGUEZ TORRES, José (2013), de: Universidad Nacional Autónoma de México presentó la tesis para obtener el título de Ingeniero Petrolero titulado: “Evaluación geomecánica para el diseño de pozos”, cuyo objetivo fue: Realizar un modelado de campo concluye: “El diseño de

perforación de las rocas se mejora al considerar aspectos como las propiedades mecánicas de la roca y su comportamiento bajo estado de presiones y esfuerzos in – situ a los que están sujetos” (p.192).

En México según FERNÁNDEZ SILVA, Gloria (2013) en la tesis denominada: “Aplicación de la geomecánica en un pozo marino de la región norte del Golfo de México”, cuyo objetivo fue: Analizar la estabilidad mecánica del agujero concluye:

Utilizar el registro sísmico dipolar obtuvimos magnitudes altas y se utilizaron tablas de parámetros elásticos de las formaciones reportadas en la lectura para obtener un resultado final más apegado a la realidad; de la zona donde se encuentra ubicado el pozo (p.83).

Hoy en día gracias a la tecnología podemos tomar datos en momento y formas reales a un tiempo real donde logramos encontrar diferentes esfuerzos por medio de registros sísmicos y así hacer una comparación de su zona sísmica criticando los parámetros de la geomecánica.

En Colombia según Revista boletín científica de la tierra (2013) en la revista científica denominado correlaciones entre las clasificaciones geomecánicas Q y RMR en el túnel exploratorio de “La Línea”, cuyo objetivo es determinar y evaluar de forma cuantitativa y cualitativa de la calidad de los terrenos con el fin de definir aspectos de diseño, construcción, soporte y estabilidad, concluye:

El sistema Q tanto al RMR es muy utilizada en construcciones de túneles, en la que se tiene correlación es sus métodos de desarrollo, siendo así de gran utilidad para el desarrollo de túneles con diferentes tipos de objetivos, como el Túnel Segundo Centenario (p.50).

Según Geomechanical effects on CO<sub>2</sub> leakage through fault zones during large-scale underground injection (2014) en el artículo científico denominada: “Geomechanical effects on CO<sub>2</sub> leakage through fault zones during large-scale underground injection”, cuyo objetivo es, estudiar las respuestas a fallas durante

la inyección subterránea de CO<sub>2</sub>, centrándose en la integridad a corto plazo (5 años) del repositorio de CO<sub>2</sub>, y por lo tanto sobre la posible fuga de CO<sub>2</sub> a acuíferos de aguas subterráneas poco profundas, concluye:

En este documento, modelamos la reactivación de fallas potencial y la fuga de CO<sub>2</sub> a través de una zona de falla durante las actividades de secuestro de carbono geológico en una serie de diferentes escenarios, incluyendo geometrías diferentes del sistema reservorio / caprock / falla y diferentes dependientes mecánicas leyes de permeabilidad. (p.30)

En Suiza según RETO, Thöny (2014) en la tesis denominada: “Geomechanical analysis of excavation-induced rock mass behavior of faulted opalinus clay at the Mont Terri underground rock laboratory (Switzerland)”, cuyo objetivo; explorar los efectos de la deformabilidad y la heterogeneidad de la fuerza en la redistribución del esfuerzo inducido por la excavación y la fractura inducida asociada en el campo de la excavación. Concluye: “Mediante unos softwares se aprecian los efectos de deformidad y heterogeneidad de la masa rocosa y así contribuir a los trabajos presentes en la minería en cuanto a su infraestructura, método de explotación, el transporte, etc” (p.149).

En EE.UU según GARRETT TROY, Anderson (2018) en la tesis denominada: “CREATING A GEOMECHANICS LAB COURSE FOR THE MINING AND GEOLOGICAL ENGINEERING DEPARTMENT AT THE UNIVERSITY OF ARIZONA” cuyo objetivo, tener un curso para enseñar a los estudiantes de geomecánica sobre la instalación y el funcionamiento de equipos de monitorización geomecánica concluye: “Tenemos que tener unas instrucciones en los laboratorios para así poder usar eficientemente los equipos de laboratorio y lograr que todos los estudiantes de la universidad estén capacitados en el uso de los equipos residentes en la universidad” (p.5).

En Alemania según: A workflow for building and calibrating 3-D geomechanical models- a case study for a gas reservoir in the North German Basin (2013) en el

artículo científico denominado: “A workflow for building and calibrating 3-D geomechanical models – a case study for a gas reservoir in the North German Basin”, cuyo objetivo es presentar un flujo de trabajo detallado utilizando Técnicas FE para construir y calibrar yacimientos geomecánicos modelos concluye:

El flujo de trabajo es aplicable a todo tipo de reservorios sensibles al estrés, incluyendo hidrocarburos convencionales y no convencionales, así como Embalses geotérmicos. Todos los pasos fueron explicados en detalle, incluyendo La transferencia de geometría del yacimiento, incorporación de fallas, asignación de propiedades materiales y condiciones de contorno, y la calibración final del modelo (p.354).

En EE. UU PENGYU, Yang (2016) en la tesis denominada: “Investigation of the geomechanical behavior of mine backfill and its interaction with rock walls and barricades” cuyo objetivo principal es evaluar el estado de las restricciones en el terraplén confinado y sus interacciones con las barricadas poco después de su emplazamiento y con las tres paredes laterales para el terraplén expuesto a largo plazo concluye:

Los objetivos principales de este proyecto fueron evaluar el estado de estrés en rellenos confinados y sus interacciones con las estructuras de soporte (paredes de roca y barricadas) desde el momento muy temprano (poco después del llenado) después de la colocación hasta el tiempo más prolongado (unas pocas semanas después del relleno) Durante el tiempo del proyecto se identifica y evalúa los cambios de diferentes alteraciones en el relleno en las estructuras estudias por la geomecánica mediante ensayos sucesivos a largo plazo o futuro, mediante reacciones simultaneas en diferentes zonas de la estructura (p.214).

HÖLCK, Carlos (2016) en la tesis denominada: “Open pit geomechanics and mine planning integration: design & economic assessment of a subsurface slope deformation monitoring campaign.” Cuyo objetivo La geomecánica y planificación minera restricciones geomecánicas limitan al diseño minero y, así, los planes mineros factibles concluyen: “La geomecánica y la planificación van de la mano, basándose en las interrelaciones de monitoreo en el transcurso de su planificación proporcionando un beneficio al trabajador como: su seguridad, un ambiente eficaz para el trabajador, prevenir desastres, riesgos” (p.1).

MORALES, Mario (2009) en la tesis denominada: “Caracterización geotécnica y determinación de ángulos de talud en yacimiento franke.” Cuyo objetivo es: realizar correlación de los diferentes métodos de clasificación geomecánicos, al seleccionar el método GSI concluye: “Dependiendo de los métodos aplicados en este trabajo brinda la caracterización geotécnica y la determinación de ángulos para taludes que se propondrá a futuro en la empresa logrando así tener nuevas labores con lo largo del tiempo en operación” (p.8).

#### 1.2.2. A nivel nacional

En Huancayo, QUISPE MATOS, Kenlly (2018) en la tesis: “Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del NV. 720, Sociedad Minera Corona S.A.” cuyo objetivo: determinar la influencia de la evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el Túnel Yauricocha del Nv. 720, Sociedad Minera Corona S.A. – 2018 concluye: “Corroborando Bieniawski y la clasificación de Hoek y Brown desarrollada en (1989) logran acatar que los ensayos geomecánico nos pueden determinar el tipo de roca que se presenta en dicho yacimiento, logrando especificar el tipo de sostenimiento a utilizar en las labores” (p.109).

En Trujillo, MAURICIO LAGUNA, Nelson (2016) en la tesis denominada: “Mejoramiento de la producción en tajo mediante la optimización de las operaciones de perforación y voladura en la veta Milagros PEC nivel 2360 de la

mina de la Compañía Consorcio Minero Horizonte S.A. – 2016” tiene como objetivo mejorar la producción de mina concluye:

Para los resultados que se obtienen en laboratorio, se puede determinar el tipo de roca, y formación geológica donde se encuentra las labores mineras, a través de estos ensayos se puede determinar la densidad de la roca promedio, siendo 2.7, siendo así el tipo de roca competente típico de un tipo de roca granodiorita, teniendo en cuenta que el tipo de roca también depende de la densidad. Las rocas que tienen mayor densidad son los tipos de rocas compactas, mientras las que tienen menor densidad son las más frágiles (p.79).

En Lima, MENDIETA BRITTO, Luis (2014) en la tesis denominada “Optimización de los costos operativos en la unidad cerro chico” cuyo objetivo es: evaluar el tipo de sostenimiento actual e implementar uno de mayor eficiencia y que genere mayor productividad concluye:

La innovación en el sostenimiento adecuado se requiere para la estabilidad de los frentes en las labores mineras, depende mucho del tipo de roca, en el caso de roca tipo IV A, en la que mayormente se utiliza cuadros de madera, dependiendo de los datos recolectados, siendo así basándonos en la ayuda del software geomecánicos para un mejor entendimiento (p.75).

En Huancavelica, FABIAN FLORES, Edwin; GUERRERO PORRAS, Jhoel (2017) en la tesis denominada: “Aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina – Áncash” cuyo objetivo es determinar la influencia de la aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la CIA. Minera Reyna Cristina concluye:

Con aplicación de geomecánica, en las conclusiones de los meses que se realiza el trabajo en minería concluyo enero hasta octubre del año 2015, se obtuvo 292% de accidentes, lográndose así reducir los riesgos de desprendimientos en las rocas (p.135).

QUINTO, Jim y HUAMANYALLI, Robeli (2017) en la tesis denominada: “Análisis geomecánico para la selección óptima del método de explotación de la veta almiranta – zona profundización de la mina Quiruvilca – sociedad minera Quiruvilca inversiones s.a. – la libertad” cuyo objetivo es seleccionar un método de explotación óptimo para la veta Almiranta, mediante el análisis geomecánico concluye:

En correlación de geometría, ancho, ángulo de reposo, y nivel de profundidad en la que se trabaja, e debe tener en cuenta las correlaciones geomecánicas o geotécnicas de la roca, aja techo y caja piso, que están presentes en la veta Almiranta y en los entornos del método que se realiza Cut and Fill, la cual es favorable (p.105).

DEPAZ, Lizeth y CACERES, Carlos (2018) en la tesis denominada: “Geomecánica aplicada al diseño de malla de perforación de la Ga - 475e del nivel 2050 en la unidad Alpacay, Mysac año 2016” cuyo objetivo es diseñar la malla, para la GA 475 E según el tipo de roca (calidad de roca y RMR), para cumplir con dicho objetivo concluye: “La formal de aplicar perforación basándose en los métodos geomecánicos ha influido bastante en la disminución de incidencias en las voladuras en la GA 475E de la empresa MYSAC” (p.59).

CAMACHO, Orlando (2017) en la tesis denominada: “Aplicación de la clasificación geomecánica para mejorar el rendimiento de la voladura en la empresa minera Catalina Huanca S.A.C” cuyo objetivo es optimizar la distribución de energía en el diseño de malla según la calidad de la roca concluye: “Se mejoró el rendimiento de avance en el by pass 823 usando las clasificaciones geomecánicas de 3,10 m de avance a 4,10 m de avance/disparo”. (p.219)

GUERRERO, José (2017) en la tesis denominada: “Geomecánica para la selección del método de explotación de la veta almiranta de la compañía minera Quiruvilca s.a. – 2017” cuyo objetivo es: análisis geomecánico de la veta Almiranta, considerando las propiedades físicas mediante mapeos geológicos – depositación, mapeo geomecánico y tipo del macizo rocoso para determinar los parámetros geomecánicos concluye: “En los diferentes tipos de morfología o denostación de los minerales en las rocas, se tiene que tener en cuenta la distribución o porcentaje de leyes en la zona” (p.92).

LIZA, Shugar (2017) en la tesis denominada: “Geomecánica aplicada para mejorar la estabilidad de las labores mineras subterráneas de la unidad Alpacay de minera Yanauquihua s.a.c – año 2015” cuyo objetivo es determinar el tipo de sostenimiento adecuado para cada tipo de roca (calidad de roca), concluye:

Se ha determinado que las condiciones geomecánicas más críticas para la estabilización del macizo rocoso se encuentran en las galerías, subniveles, tajeos de explotación e intercepciones de labores con galerías a diferencia de las labores de desarrollo (cruceos y bypass) que presentan mejores condiciones. (p.89)

En Lima SALVADOR VARA, G (2017) en su tesis denominada: “Geomecánica aplicada al diseño de minado por el método sub level stoping para cuerpos mineralizados irregulares de la unidad minera Cerro Lindo – Milpo.” Cuyo objetivo: Diseño de minado ya que se dimensiona tanto en lo que es su producción planeada y su índices de seguridad que toda unidad minera cuenta, mediante ello da la conformidad de los trabajadores a la empresa.

Las cualidades geomecánicas de la masa rocosa debajo del Nv. 1820, en el OB1 y OB2, son de calidad Buena (II) el 37 %, las de calidad Regular (IIIA) el 34 %, las de calidad Regular (IIIB) el 17 %, las de calidad Mala (IVA) el 6 %, las de calidad Mala (IVB) el 5 %, y las de calidad Muy Mala (V) menos del 1 % (p.157).

### 1.2.3. A nivel local

No se encontró tesis o temas relacionados a geomecánica.

## 1.3. Teorías relacionadas al tema

### 1.3.1. Ciencias

#### a. Mecánica de rocas

Mecánica de rocas nos da a conocer la influencia del desarrollo de las minerías, en la cual esta ciencia se basa en las propiedades físicas y el comportamiento de la roca in-situ, para poder saber sobre eso, se hace pruebas de ensayos en la cual se le podrá determinar.

Esta ciencia es muy importante ya que estudia los diferentes comportamientos de la roca, para los diseños de los túneles o taludes, también pudiendo demostrar el grado de seguridad de las labores, el grado de fractura de las rocas, el tipo de método que se puede utilizar, dependiendo de la mineralización y el tipo de roca en donde se desarrollará la minería o construcción civil.

#### b. Geología

Ciencia que se basa en su vida de la tierra, su formación, origen y comportamiento de esta. La formación de la tierra depende mucho sobre su estudio geológico, especialmente de las formaciones rocosas que hay en ella, porque en sus rocas, está la historia de la formación de esta. Una peculiaridad de la geología es el estudio de las formaciones de diferentes grupos o familias de rocas, las formaciones de diferentes tipos de estructuras rocosas como la orogénesis y epirogénesis. Mediante esta ciencia se hizo el hallazgo de fósiles, que sirvieron para entender la evolución de la vida, su cronología y mineralización en nuestro planeta.

#### c. Matemáticas

La matemática es una de las bases que es utilizada para diferentes ramas de la ciencia, en la cual se dedica a analizar de forma abstracta, estando basada en los números y símbolos que nos permiten desarrollar cálculos simples y complejos.

#### d. Física

Pertenece a las ciencias más usadas en la actualidad, ya que gracias a ella podemos estudiar y entender el comportamiento de la naturaleza, siendo así una de las ciencias más antiguas junto con las matemáticas, y desarrollada por pensadores y grandes científicos. Esta ciencia está basada y apoyada por la matemática.

#### 1.3.2. Variable independiente

### ANÁLISIS GEOMECÁNICO

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) el análisis geomecánico cubren los aspectos necesarios para la investigación y recopilación de datos in situ y laboratorio, permitiendo posteriormente clasificar al macizo rocoso, lo que sumado a las estructuras geológicas principales y al estado de esfuerzos previo al minado, permitirán establecer un modelo geomecánico.

#### Recolección de información

##### Inspección de campo en etapa de estudios

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) los diferentes tipos de procesos que se hacen en la minería donde no presentan excavaciones o construcciones subterráneas, se puede iniciar con mapeos geológicos de los diferentes afloramientos que presentan las rocas, haciendo el registro como evidencia de las estructuras geológicas que se encuentran, como las fallas in-situ, realizando estaciones geomecánicas en los afloramientos.

Mayormente, el tipo de trabajo es iniciado en el desarrollo de las áreas geológicas, siendo así los geólogos se encargan de la exploración, siendo los primeros en documentar el yacimiento. Debiendo realizarse y complementarse con los estudios o análisis geomecánicos, determinando los diferentes tipos de rocas que se encuentran, las zonas de alteraciones rocosas, la presencia de las fallas regionales o locales, las fracturas, el RQD (índice de calidad de la roca), las que son compilados cada cierto tiempo, a partir de que se inicia la planificación del minado. Mayormente es común que en las etapas de inicio de los proyectos se utilicen técnicas para las

interpretaciones, como se usan ahora las fotografías satelitales o in-situ, que pueden ser revisados después detenidamente y ayudar en los modelos geomecánicos.

a. Mapeo geomecánico subterráneo

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) los mapeos geomecánicos puede ser desarrollados en celdas, en línea de detalle o arco rebatido.

Mapeo geomecánico por la línea de detalle

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) Este tipo de mapeo, se realiza principalmente mediante una hilera, por lo que se adopta mayormente una banda métrica o una cinta de medición, en donde se va a identificar todas las estructuras presentes dentro de esta línea que se interpretan, Se toma las orientaciones en la medición, después la orientación de la línea, y se registra todas las discontinuidades presentes empezando con las distancias en la intersección, anotando también sus orientaciones (rumbo y buzamientos), sus tipos de discontinuidades, persistencias rocosas, las aperturas, los rellenos, la rugosidad y la presencia de agua en la zona.

Toda la información recogida, tiene que ser empadronada en una lámina que tenga un formato que lograra recaudar todos los datos recogidos en el campo, de una manera ordenada y simple. Siendo también importante tener los criterios para determinar en qué momento se debe realizar el mapeo geomecánico mediante la línea de detalle, en vez de otras técnicas, mayormente esto se debe a la evaluación a realizarse. Lo recomendable para los estudios que se desarrollan en la ingeniería, es hacer por la línea de detalle si es que se quiere recopilar más información estructural sobre un área o zona.

Descripción cuantitativa del macizo rocoso

a. Propiedades de roca intacta

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) El macizo rocoso Está conformado por roca intacta por las diferentes estructuras geológicas. Principalmente si es roca masiva de alta resistencia a los esfuerzos que se presentan

in-situ, se puede inducir a estallidos de las rocas por los diferentes tipos de esfuerzos y deformaciones que presentan, por otro lado, una roca que presenta pequeñas propiedades de dureza tiende a ser más elasticidad y plasticidad en las deformaciones que, a través del tiempo pueden dar a cierra a las excavaciones.

La disposición de las muestras para las pruebas en geomecánica, las dimensiones de los diferentes números de ensayos que tienen que ser sometidos son importantes, ya que tienen que ser bien elegidos en el campo (in-situ) para ser sometidos a laboratorio. Los diferentes tipos de ensayos existentes tienen sus normas y procedimientos adecuados, dimensionamiento en las orientaciones del ensayo, la cual se tiene que ser cuidadosamente realizado con resultados representativos para que puedan ser aplicables al diseño.

Se mencionan en resumen los tipos de ensayos:

Ensayo para propiedades físicas

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) Determinar mediante ensayos las propiedades que se encuentran en las rocas. Siguiendo las normas ASTM e ISRM

Realizándose en este ensayo la propiedad de la densidad de la roca.

Ensayo de compresión simple (UCS)

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) El objetivo principal en este ensayo es obtener la resistencia máxima del testigo. El estrés máximo que puede resistir verticalmente, llamado con el nombre del ensayo simple.

A la vez hay más tipos de ensayos que se pueden determinar el estrés máximo que pueden resistir las rocas, como son: carga puntual, compresión simple, y el esclerómetro.

Ensayo de carga puntual

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) La resistencia a la compresión simple (UCS) son los siguientes:

- Primeramente, se debe tener el diámetro requerido para el tipo de ensayo.

- Segundo, establecer la estimación de  $I_s$  a través de los denominadores  $P$  y el diámetro.

$$I_s = \left(\frac{P}{D_e^2}\right) \dots \dots \dots (1)$$

- Tercero, teniendo el valor  $I_s$  en función de su diámetro de ensayo, se hace la corrección para su resistencia, la cual se le ama  $I_s(50)$ , en la que su diámetro mínimo para este ensayo es de 50mm

$$I_{s(50)} = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} * \left(\frac{P}{D_e^2}\right) \dots \dots \dots (2)$$

- Finalmente, para la estimación, se tiene que tener en cuenta el factor para la conversión, en donde puede ser variado de 10 a 50, dependiendo del tipo de roca. Para eso se recomienda hacer una serie de pruebas a través de la compresión simple y carga puntual donde encontraremos factores convenientes para la utilización.

$$\sigma\sigma cc = KK(50) \dots \dots \dots (3)$$

### Índice de calidad de roca RQD

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) Existe necesidad en cuantificar competencia de roca para comunicación de este tipo de información y el desarrollo de guías de diseño de ingeniería de rocas. El RQD (Deere, 1964), es el más utilizado y adecuado para la caracterización de la roca.

Se mide la frecuencia de la cifra de fracturas naturales encontradas en macizo rocoso, un punto importante es: si la continuación de fracturas aumenta, la evaluación del tipo de roca mediante RQD disminuye.

Principalmente, el método RQD o rock quality index, se desarrolló para los taladros de las perforaciones que se hacen en la exploración, con perforadoras diamantinas mayores a 54 mm. Pero mayormente en las perforaciones actuales de las exploraciones mineras son menores, clasificándose en BQ (47.6) y NQ (50.5), Teniendo en cuenta que las perforaciones diamantinas con menor

diámetro para las exploraciones están más propensas a tener fracturas, por eso mayormente es recomendable para estos tipos de estudios, usar esos dos tipos de brocas para las perforaciones

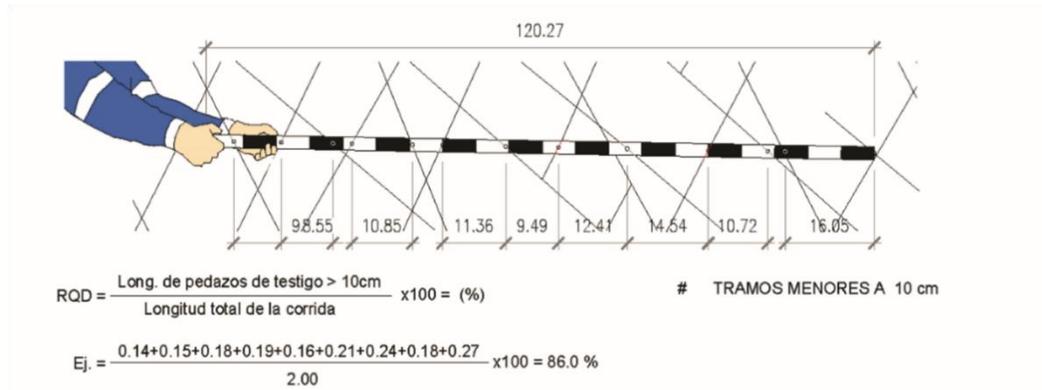


Figura N° 2: Proceso para evaluar RQD por taladros

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2017

### Frecuencia lineal para discontinuidades

Una elección al RQD, la continuación de las discontinuidades en forma lineal lograra poder evaluar las intensidades que tienen las juntas en el macizo rocoso, se deduce teniendo valores en cada discontinuidad avanzando metro a metro en cada muestreo en los testigos de perforación, o también en una hilera del fragmento en el frente de roca en la excavación.

El RQD es medido luego que los testigos hayan sido manipulados de una manera adecuada, siendo así usados firmemente para los ensayos.

Mayormente la estimación del RQD se hace mediante el método lineal o línea de detalle. Lo que hace que en estas áreas ya no se requiera una lectura de testigos, teniendo así una mejor imagen geológica de la zona de las rocas que se hace el estudio, para eso, se recomiendo lo siguiente:

- a) Para poder obtener la información necesaria del mapeo por método lineal, se tiene que hacer las lecturas de los espaciamientos que hay entre las juntas y determinar la cantidad de discontinuidades que presentan divididos en sus tamaños. E RQD se puede encontrar por medio de la ecuación de Priest y Hudson (1976):

$$RRRRRR = 100 * ee - 0.1\lambda\lambda * (0.1\lambda\lambda + 1) \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

$$\lambda\lambda = \frac{1}{f \text{ frecuencia de discontinuidades}} \dots \dots \dots (5)$$

Se relaciona el espaciamiento que presentan los desplazamientos en el método de RQD promedio, empleándose en la figura n°5, donde conduce a tener precedentes moderados. Con uso esta ecuación será lo apropiado, pero se tiene que tener la cuenta las direcciones de los ejes que se encuentran en los espaciamientos de las discontinuidades, tienen un rango significativo el RQD.

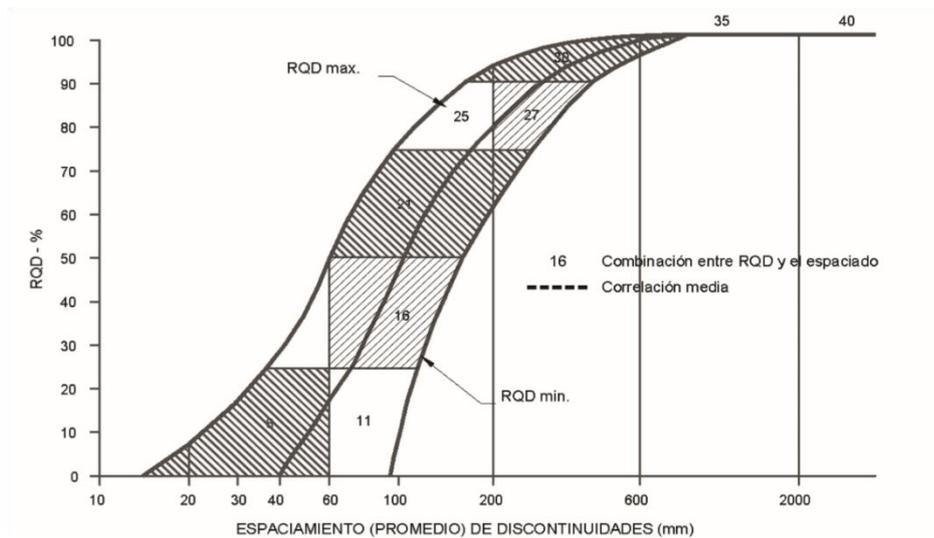


Figura N° 3: Espaciamiento vs RQD, Bieniawski (1989)

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2017

Los valores del RQD y la frecuencia de las líneas de discontinuidades, puede ser modificado y visto de manera electrónicamente, haciendo así que sea una herramienta útil teniendo una buena información para desarrollar el modelo confiablemente. Teniendo así los resultados del macizo rocoso permitiendo al área de geomecánica y planeamiento tener un mejor avance para los diferentes usos que se pueden dar para la extracción y seguridad en las labores mineras.

## Clasificación del macizo rocoso

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) Los sistemas para clasificación del macizo rocoso sustituyen un enfoque a gran escala. En la minería el GSI, el RMR y Q, son parámetros o métodos que pueden ser usados para diferentes métodos de diseño, o también para poder determinar el grado de seguridad y estabilidad en las labores. También sirviendo para muchos parámetros de programas para modelamiento numérico, haciendo así la clasificación de los tipos de roca encontrados en las excavaciones mineras, siendo así las rocas o el macizo rocoso altamente anisotrópico su composición teniendo más sistemas de como clasificarlos la variación de la roca.

Los ingenieros deben tener la clasificación de las rocas más realísticas para los diferentes tipos de requerimientos para los diseños, teniendo también las diversificaciones de las adaptaciones para los diferentes tipos de los sistemas que se mencionan en la clasificación geomecánica usados habitualmente en el Perú los sistemas usados

### Sistema RMR

El sistema Rock Mass Rating (RMR) Pertenece como una referencia mundial para poder clasificar geomecánicamente el tipo de macizo rocoso.

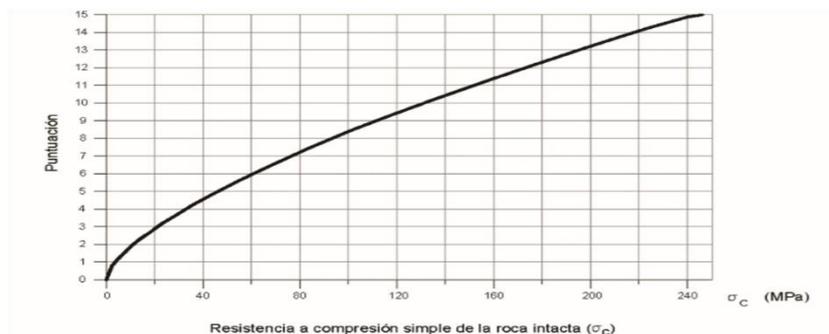


Figura N° 4: Resistencia a Compresión uniaxial de la roca intacta

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017)

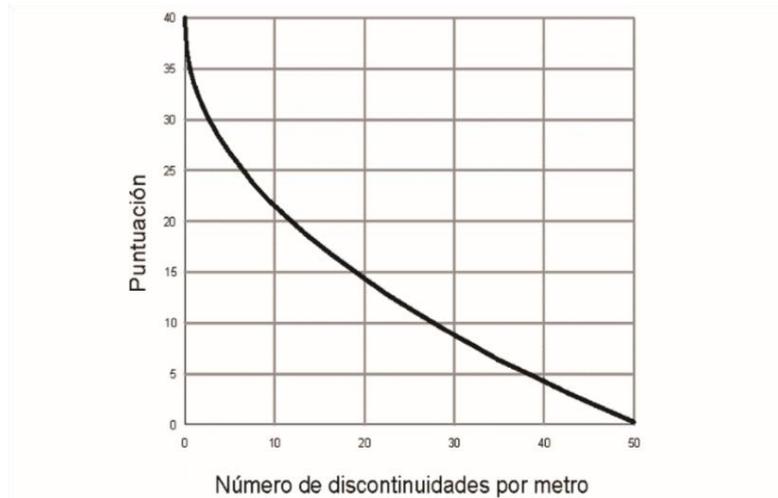


Figura N° 5: Números por juntas

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017)

El RMR14 realizó numerosos cambios al criterio de RMR, basándose a añadir dos factores nuevos a la de corrección consiguiendo el nuevo RMR14 se corrige de la siguiente manera:

$$RMR14 = (RMRb + F0) * Fe * Fs..... (9)$$

Corrección por orientación del eje del túnel (F0)

La forma del RMR14 considera que sigue utilizando el punto de vista de la guía del eje a través del túnel reconocido como la clasificación de RMR89.

Corrección procedente a las excavaciones por medio de las tuneladoras o TBM (Fe), el cálculo del factor relacionado a la corrección Fe se determina así:

$$\text{Para } RMR < 40: F_e = 1 + 2 * \left(\frac{RMR}{100}\right)^2 \dots \dots \dots (10)$$

$$\text{Para } RMR > 40: F_e = 1.32 - \frac{\sqrt{(RMR-40)}}{25} \dots \dots \dots (11)$$

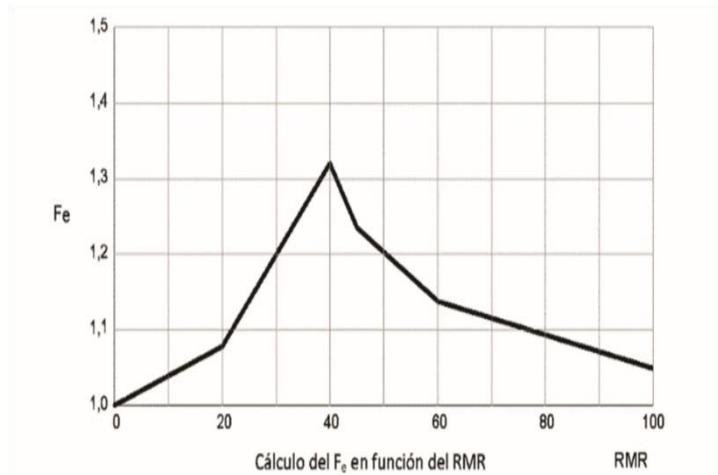


Figura N° 6: Valores de Fe en función del RMR

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017)

Corrección mediante la influencia para plastificación de frente (FS). Se considera realizar otro método que presente en la planificación de frente. Mediante el factor de corrección FS, se logra implantar el mencionado Índice de Comportamiento Elástico (ICE).

$$\text{Para } K_0 \leq 1: ICE = \frac{3704 * \sigma_{ci} * e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3-K_0)*H} \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Para } K_0 \geq 1: ICE = \frac{3704 * \sigma_{ci} * e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3-K_0)*H} \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

$\sigma_{ci}$ : compresión uniaxial intacta (MPa)

$K_0$ : Coeficiente de distribución de los esfuerzos naturales

H: Profundidad a la que se encuentra el frente del túnel (m)

$ff$ : Factor de forma del túnel

En conclusión, se termina que el Fs se altera en un 1.0 y 1.3.

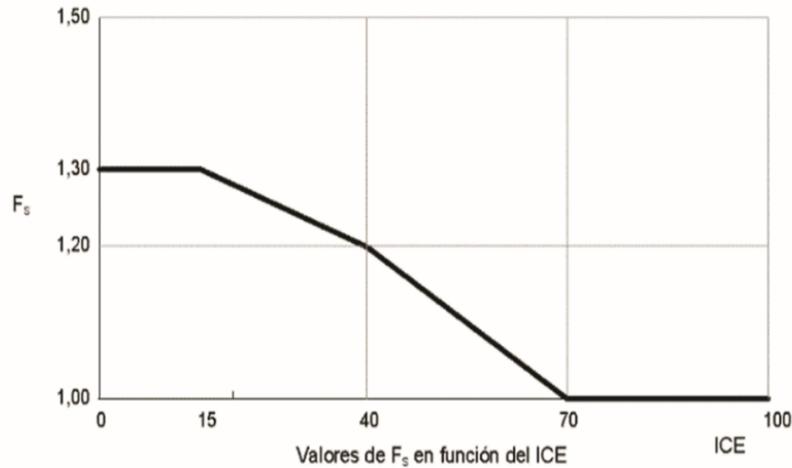


Figura N° 7: Valores de F<sub>s</sub> en función de ICE

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017)

Asimismo, se determinó que la conformidad entre el RMR89 y el RMR14, en donde se define por medio de esta ecuación:

$$RMR14 = 1.1 * RMR 89 + 2 \dots\dots\dots (14)$$

$$MR14 = 1.1 * RMR89 + 2\dots\dots\dots (15)$$

### Sistema Q

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) Se desarrolló un sistema Q en lugar que el NGI (Norwegian Geotechnical Institute), basada al estudio del diseño subterráneo en las excavaciones (túneles). Se realizó un estudio de mejora de que cuenta con actualizaciones constantes, logrando su última actualización en el año 2007 siendo un estudio analítico en su investigación.

El estudio del sistema Q nos demuestra la clasificación del macizo rocoso nos proporciona la estabilidad durante la labor en la empresa subterránea (excavaciones) logrando así la explicación del estudio de la matriz de la roca. Tenemos un sistema Q donde muestra seis parámetros de estimación y calidad del macizo, en donde:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \dots\dots\dots (17)$$

En la cual:

RQD = Índice de calidad de la roca

$J_n$  = Parámetro basado en la cantidad de familias de discontinuidades

$J_r$  = Parámetro basado en la rugosidad de discontinuidades

$J_a$  = Parámetro basado en la alteración de discontinuidades

$J_w$  = Parámetro basado en la aparición de aguas

SRF = Parámetro de seguridad.

#### 1.1.1.1. Índice de calidad del Raise Bore ( $Q_r$ )

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) Según los autores McCracken y Stacey (1989) emplearon el sistema Q para las chimeneas de grandes diámetros como lo ejecutaron con la Raise Bore, en donde se vio solo la calidad de macizo rocoso.

Durante la excavación del Raise Bore se tiene las consideraciones existentes en base a su estabilidad: el Raise Bore influye en las paredes de la labor subterránea tanto vertical u horizontal de los ejes controlando así la estabilidad en la labor y el interperismo del macizo rocoso.

Para el Raise Bore ( $Q_r$ ), se deberá tener en cuenta las siguientes transacciones en el índice Q, basado al estudio en las prácticas.

$$Q_r = Q_{\text{paredes}} \times \text{parámetro de ajuste por orientación} \times \text{parámetro de ajuste por interperismo} \dots \dots \dots (18)$$

Ajustes en la excavación para las paredes

Para una excavación tenemos que orientarnos al sistema Q principalmente al techo del túnel. El Raise Bore toma mucha importancia ya que gracias a ello podemos ver la estabilidad de las paredes en la excavación. Teniendo en cuenta que:

$$Q_{\text{paredes laterales}} = 2.5 \times Q, \text{ donde } Q > 1$$

$$Q_{\text{paredes laterales}} = Q, \text{ donde } Q < 1$$

Ajuste por orientación

La importancia del Raise Bore en los ejes de orientación en cuanto a las discontinuidades tanto como predominantes o duradero están presentes, tanto el

grupo de discontinuidades es diferente al efecto que pueden hacer en un frente, por eso en la siguiente tabla podemos ver los factores que tenemos de tener en cuenta; estos son ajustes determinados que no sustituyen un análisis de la estabilidad en donde será necesario hacer un estudio de las fallas y cuñas de los bloques que se genera en el macizo.

#### Ajuste por intemperismo

Se es conveniente aceptar al grado de interperismo del macizo rocoso ya que gracias a ello podemos ver la estabilidad que efectuara en el Raise Bore al transcurso del tiempo que se va a emplear; su terminología para el ajuste de interperismo es “Ja” para el sistema Q.

Para el desarrollo nos sugiere tomar los valores de 0.9, 0.75 y 0.5 en base a los grados leves, moderados y severos que nos ofrece el interperismo en sus estructuras laterales.

Los valores antes mencionados tienen una acumulación para su aplicación, tenemos el siguiente ejemplo que ilustra los valores del Raise.

En la pared de un Raise Bore se aprecia dos familias de discontinuidades que tiene tanto como buzamiento e interperismo moderado. El Q es de 4.2 de su valor inicial de la roca donde tenemos que aplicar: el ajuste de pared q es de 2.5; el ajuste de orientación que es de 0.75 y su ajuste por interperismo que es de 0.75. Así que mostrando esta fórmula:

$$Q_r = Q \times 2.5 \times 0.75 \times 0.75 = 1.4Q = 5.88 \dots \dots \dots (19)$$

#### Clasificación geomecánica en minería (RMR' y Q')

Una proporción que logro destacar fue la clasificación del sistema en un minado es de simplificar los sistemas en las clasificaciones para incluir valores que dependientes, que ignoren tanto el esfuerzo y la orientación que tiene el macizo rocoso en un sistema.

Según el sistema RMR Y Q se utiliza el signo (´) utilizado para métodos empíricos en desarrollo en el diseño. Su valor que arroge dependerá de las propiedades de la roca tanto en su profundidad y orientación que se efectuara dentro de la labor.

Su aplicación se dio para los sistemas de RMR Y Q. (Milne, D. Hadjigeorgiou J. Pakalnis, R. ,1998)

El RMR son las orientaciones de una excavación, juntas y la consideración la presencia de agua; correlacionando el RMR'.

Según la determinación del Q' se considera un método empírico, cuando toma el valor SFR = 1 y H<sub>2</sub>O = 1 (Mathews, K. E. Hoek Wyllie, C. Stewart, S.B.V, 1980)

#### Correlaciones entre sistemas de clasificación

(Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2017) Dando variedad al sistema para clasificación han tomado mucha importancia el macizo rocoso en la minería, ya que han tomado diversas clasificaciones para los diversos sistemas de tipo de roca según vemos en la tabla siguiente:

Tabla N° 2: Correlaciones entre los sistemas de clasificación

Correlación
$RMR_{76} = 9 * \ln Q_{74} + 44$
$RMR_{76} = RMR_{89} - 5$
$RMR'_{76} = GSI = RMR'_{89} - 5$

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017)

Geomecánica se basa en definir parámetros para lograr tener un valor en un sistema. Esto puede demandar mucho tiempo y recurso por eso se decide tener una data para simular un análisis estático, logrando así tener un sistema de correlación para la empresa minera, por ello se recomienda hacer uso de las fórmulas antes de llevarlo al campo virtual para si no cometer margen de error.

#### Esfuerzos de pre minado

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017) Los esfuerzos de pre minado son referido a la presión del macizo rocoso encerrado en el volumen de roca alrededor del yacimiento antes de la explotación. Estos esfuerzos son una fuente de energía que podrían ocasionar fallas en la roca caja. Tanto, importante describir los estados de los esfuerzos en pre minado, ya que es uno de los peligros relacionados con fallas en el macizo rocoso.

## Dominios geomecánicos

### Modelo geomecánico

En el desarrollo de los diferentes modelos geomecánicos que son fundamentales para desarrollar los diseños de las minas, se tiene que tener en cuenta los siguientes:

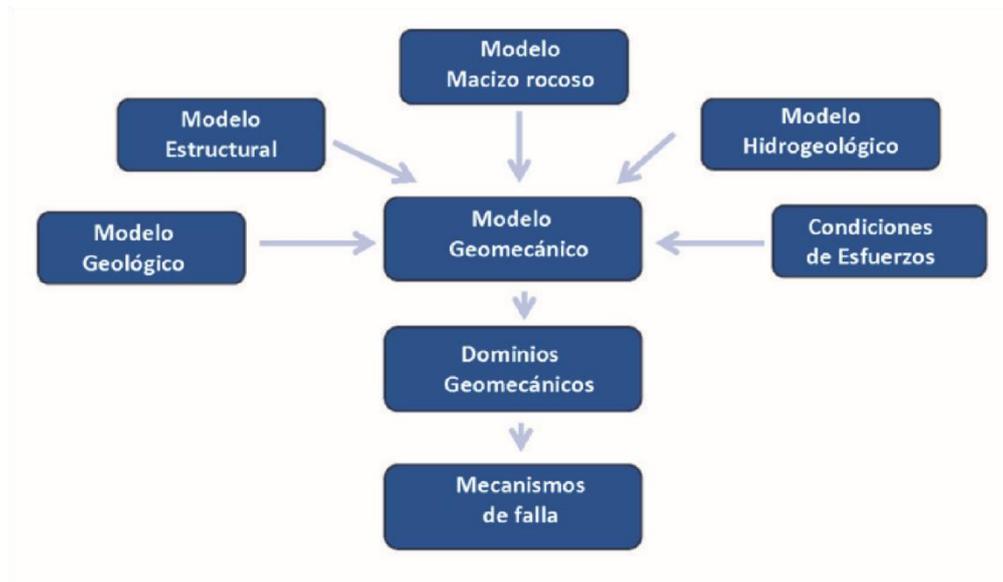


Figura N° 8: Proceso de Diseño Geomecánico

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017)

Para generar un modelo geomecánico resulta fundamental una adecuada caracterización geológica geotécnica del sector de interés y su entorno. El mencionado modelo debe facilitar la gestión de información de cada componente y contener información eficiente para la incorporación de nueva información. El modelo debe ser actualizado de acuerdo a la etapa en la que se desarrolla el proyecto (conceptual, prefactibilidad, factibilidad, operación, etc.). Típicamente el modelo geomecánico se conforma de dominios geomecánicos y propiedades asociadas que incluye: Distribución de los materiales, Anisotropía estructural, Parámetros de resistencia y Factores hidrogeológicos.

#### ➤ Modelo de macizo rocoso

Un modelo de macizo rocoso debe estar conformado por los siguientes análisis:

- Propiedades de la roca intacta
- Índice RQD
- Clasificación Geomecánica (RMR, Q, etc.)

- Propiedades del macizo rocoso en cuanto a la dureza (resistencia).
- Mecanismo de falla controlada por estructuras

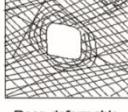
	Masivo (RMR>75)	Moderadamente fracturada (50>RMR<75)	Altamente fracturada (RMR<50)
Esfuerzos in situ bajos	 Respuesta elástica lineal	 Destizamiento o caída de bloques y cuñas	 Deslajamiento de bloques de la superficie de la excavación
Esfuerzos in situ intermedios	 Falla rígida adyacente al contorno de la excavación	 Falla rígida localizada de roca intacta y movimiento de bloques	 Falla rígida de roca intacta y deslajamiento a lo largo de las discontinuidades
Esfuerzos in situ altos	 Falla rígida alrededor de la excavación	 Falla rígida de roca intacta alrededor de la excavación y movimiento de bloques	 Roca deformable. comportamiento plástico

Figura N° 9: Mecanismos de falla y estado de la roca caja para facilitar compresiones (modificado de Loring, 2009)

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017)

Una excavación minera a poca profundidad está influenciada principalmente por los sistemas estructurales del macizo rocoso. A medida que el minado se profundiza, los esfuerzos inducidos en las excavaciones aumentan Considerablemente llegando a originar zonas de fallamiento por sobre esfuerzos.

Realizar una excavación se origina una cara libre, quedando expuestos bloques cuñas definidos como un volumen de roca que se puede deslizar sobre una superficie o caer por su propio peso. Se debe realizar la evaluación de las estructuras (discontinuidades). Es importante identificar si los sistemas principales de discontinuidades son paralelos a la labor o perpendiculares a ésta; una labor con avance paralelo a un sistema de discontinuidades será crítica, a diferencia de una labor que avanza perpendicularmente ya que en la primera se generaran cuñas de mayor volumen; el volumen o tamaño de la cuña permitirá determinar la cantidad de sostenimiento requerido para estabilizar la cuña. Se debe asegurar una adherencia adecuada entre el elemento estabilizador y el macizo rocoso

para que el elemento estabilizador trabaje a su máxima capacidad, lo que es posible con una buena instalación de dichos elementos.

### Criterios geomecánicos

Los criterios geomecánicos que se adopten para el desarrollo de una explotación subterránea cumplirán un papel importante, y sus necesidades deben reflejarse en la política corporativa. Es decir, antes de la aceptación de un diseño de explotación, estas deben estar alineadas con los criterios geomecánicos específicos de diseño, operación y cierre.

Los principales criterios, que se tiene que debe tener son los siguientes:

- Criterio de geomecánica.
- Criterio de método de excavación.
- Criterio de rotura.
- Criterio de seguridad.
- Criterio de resistencia máxima.
- Criterio para construcciones civiles.
- Criterio geológico.

### Criterio de aceptación

#### Factor de seguridad

Consiste en un diseño basado en las estructuras de un sistema considerando la resistencia y carga del mástico rocoso, para eso se efectúa un factor de seguridad (FS) mediante la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{C}{D} \dots \dots \dots (21)$$

Siendo:

FS = Factor de Seguridad

C = Carga a la que se somete.

D = Resistencia del sostenimiento hacia la carga.

Se tiene 3 tipos de factores:

- Si el  $f_c$  es igual a 1, la seguridad es buena y en equilibrio.
- Si el  $f_c$  es menor a 1 no es estable.
- Si el  $f_c$  es mayor a 1 es estable.

La correlación del  $f_c$  se plasma en el siguiente cuadro, en donde se muestra los rangos adecuados para un mejor factor, siendo así basado en experiencia de expertos.

Tabla N° 3:  $F_s$  recomendados según la estabilidad

Plazo	Rangos de $F_S$
Estabilidad a largo plazo (LP)	>1.5
Estabilidad a mediano plazo (MP)	1.3-1.5
Estabilidad a corto plazo (CP)	1.1-1.3

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017)

Los grados para la confiabilidad está en función de capacidad (C) dependiendo de la variabilidad de la resistencia al corte, prueba errores, procedimientos mineros, procedimientos de inspección, etc. Similarmente la función de demanda (D) incluye factores de fuerza de carga gravitacional de la masa rocosa, aceleración sísmica, esfuerzos circundantes y ubicación del nivel freático.

### 1.3.3. Variable dependiente

#### ➤ ESTABILIDAD EN TÚNELES

Es un estudio en donde verán la influencia de la forma, tamaño y su orientación de las labores, logrando así promover el diseño de la infraestructura en la labor minera.

Al iniciar una construcción de túnel (u otra estructura de excavación subterránea) es de vital importancia determinar la estabilidad de este, ya que el frente de la infraestructura podría colapsar durante la construcción si la presión aplicada no es la adecuada, con consecuencias fatales.

El conocimiento de la estabilidad de frente está adquiriendo mayor importancia debido a que cada día los túneles se ejecutan en terrenos más complejos, aumentando los riesgos de derrumbe. Este fenómeno de inestabilidad del frente de excavación se da

sobre todo en túneles ejecutados por métodos tradicionales en rocas blandas (sin utilizar tuneladora u otros mecanismos para confinar el frente).

Es importante valorar el colapso del frente porque puede tener consecuencias muy graves durante la construcción: puede producir una rotura compleja en tres dimensiones, formándose una chimenea que provoque grandes problemas en superficie y que llegue a costar la vida de los trabajadores.

De todos los colapsos existentes el HSE (Health and Safety Executive) asignó que las causas se encuentran dentro de estos tres grupos:

1. Colapsos debidos a problemas en la estabilidad del frente o cercanías.
2. Colapsos debidos al sostenimiento provisional.
3. Colapsos debidos a otras causas.

La mayor parte de estos colapsos (el 50 %) corresponden al primer punto, por lo que es muy importante asegurar la estabilidad del frente.

Una vez dispongamos de los parámetros geotécnicos del terreno y de la geometría del túnel que queremos excavar, una aproximación aceptable al realizar un estudio de estabilidad en un frente es la resultante de emplear la ecuación clásica propuesta por Broms y Bennermark, modificada por Davies et al y Atkinson y Mair, años después:

$$N = \frac{\sigma_s - \sigma_T + \gamma \left[ \frac{C+D}{2} \right]}{c_u} \dots\dots\dots (21)$$

Donde:

N = número de estabilidad

$\sigma_s$  = presión de sobrecarga en superficie (kPa)

$\sigma_T$  = presión interior del túnel (kPa)

$\gamma$  = densidad aparente del terreno (KN/m<sup>3</sup>)

C = Cobertura hasta clave del túnel (m)

D = diámetro del túnel (m)

$c_u$  = resistencia al corte sin drenaje (kPa)

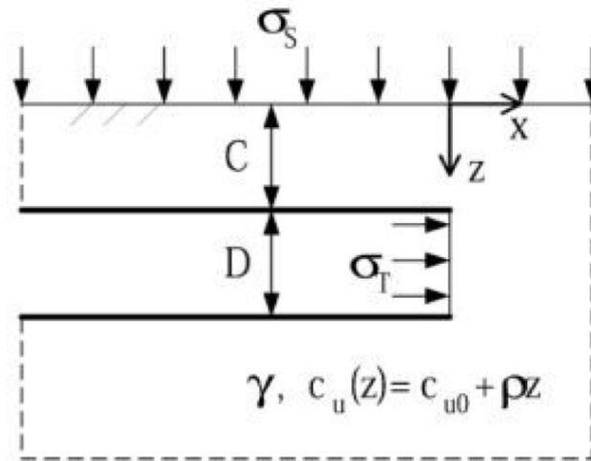


Figura N° 10: Excavación de Túneles

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2017)

Logrando su valor obtenido, dada la ecuación es inferior a 6,0, el frente se puede considerar estable. Si el valor de la ecuación es superior a este número, pueden presentarse problemas de inestabilidad.

Como decíamos, esta ecuación representa de forma simplificada la realidad, ya que no contempla que el fenómeno real se produce en tres dimensiones, pero nos permite obtener un valor orientativo de la estabilidad de frente de un túnel bastante aproximado.

Adicionalmente existen otros métodos numéricos en tres dimensiones que permite calcular la estabilidad de frente con resultados mucho más precisos mediante programas de software avanzado.

#### a. CRITERIO DE ROTURA

Aplicación al macizo rocoso, este criterio se dio para los efectos que tiene voladuras al ser realizadas ya que al ser aplicados en el momento de la explosión arroja una fuerza rompedora en la roca encajónate logrando las fracturas necesarias en la roca caja, para esté criterio es necesario el tamaño de bloques.

#### b. CRITERIO DE ROTURA LINEAL

Esta teoría fue desarrollada por coulomb en 1773, consiste en un criterio de rotura llamada Mohr-Coulomb, realizado para ser empleado en estudios de suelos considerándose una ecuación lineal. Pese a ello no concuerde el ensayo triaxial son lo lineal, es utilizado según

el criterio de Mohr-Coulomb, se denomina por su tensión tanto normal como tangencial en un plano. Siguiendo la forma  $\sigma\tau = f$  donde se muestra la siguiente:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \theta \dots \dots \dots (22)$$

Siendo:

- $c$  = cohesión.
- $\theta$  = el ángulo de fricción,
- $\tau$  = tensión tangencial
- $\sigma_n$  = Tensión normal.

## ESTABILIDAD

(Hugo Rojas Aguirre) Es un estudio basado en la infraestructura del yacimiento viendo así sus esfuerzos de deformación, desestabilidad estática o dinámicas analizadas desde un punto de la investigación de ensayos logrando, así como y por donde construir la infraestructura de la empresa.

## PRODUCCIÓN MINERA.

La producción minera se define en la gran cantidad de material que una empresa minera puede extraer diariamente, o anualmente, basándose esta en el tipo de flota y ritmo de extracción en las labores.

La producción minera se basa principalmente en la obtención de los recursos mineralógicos de la corteza terrestre, siguiendo una serie de parámetros de extracción, desde su preparación hasta desarrollo.

## DESARROLLO DE LABORES MINERAS

Para las explotaciones en las empresas mineras, se tiene en cuenta las labores de desarrollo, porque sin estas, no se puede acceder fácilmente a la zona de extracción de los minerales, siguiendo así una serie de parámetros adecuados, en las que permite el acceso de las maquinarias y del personal capacitado para las diferentes operaciones que se desarrolla en la mina.

▪ **LABORES DE DESARROLLO:**

Son aquellas labores encargadas de producir accesos y caminos internos para las zonas mineralizadas con el fin de dividir o seccionar el yacimiento en unidades de explotación.

**Productivo:** Se emplea para un avance se realiza en menas blandas y en donde el estéril es más compacto que la mena brindando que las vetas sean más rentables para la empresa.

**Improductivo:** Se realiza un avance con estéril sin ninguna ganancia, enfocado en seguir el rastro de la mena.

▪ **LABORES EN PREPARACIÓN:**

En este caso se concretiza a realizar un diseño para la explotación en un yacimiento o depósito para así extraer el mineral con el estéril.

1.3.4. Marco legal

a. Normativa ambiental

- (artículo 67°) En este artículo de la constitución del Perú del año 1993 nos manifiesta la política nacional de los recursos naturales y del medio ambiente.
- (01.05.93) Con este artículo nos brinda la protección del ambiente en cuanto la actividad minero - metalurgia.
- D.S. N° 016-93-EM. Nos manifiesta el Reglamento de Protección Ambiental.

b. Normativa de seguridad

- D.S N° 024-2016-EM Nos ofrece el reglamento de Seguridad Ocupacional de minería.

c. Normativa legal

- (DS N° 014-92-EM) Es referente al Texto único ordenado de la Ley General de la Minería.

d. Norma técnica

- Normativa general de ensayos ATSM normal general para realizar ensayos de geomecánica.

Cuadro N° 1: Normativas

Norma	Descripción	Aplicación
Normativa de densidad ASTM D – 2937	Esta norma se utiliza para la realización de ensayos de la densidad de las rocas, y para la aceptación y realización del producto	La normativa de densidad ASTM D – 2937 se aplica para diferentes ensayos de ingeniería, en la cual se describe en ella los diferentes pasos que se tienen que realizar para obtener los resultados adecuados, y para su validación de esta.
Norma	Descripción	Aplicación
ASTM D 2166 – 00	Esta norma se utiliza para el desarrollo del estudio del ensayo de compresión simple, en la cual sirve para validar y aceptar la realización del productor de ensayo.	La normativa del ensayo de compresión simple ASTM D 2166-00 se aplica para diferentes ensayos de la ingeniería, especialmente para construcciones, en la que describe los pasos que se deben tener en cuenta para la obtención de los resultados adecuados, y para la validación de esta.
Norma	Descripción	Aplicación
UNE 22950 – 5	Esta norma se utilizará ejecutando los ensayos de carga puntual, en la cual sirve para validar y aceptar la realización del productor de ensayo.	La normativa del ensayo de carga puntual UNE 22950 – 5 se aplica para diferentes ensayos de la ingeniería, especialmente para construcciones, en la que describe los pasos que se deben tener en cuenta para la obtención de los resultados adecuados, y para la validación de esta.

Norma	Descripción	Aplicación
ASTM D4767-88.	Esta norma se utiliza para la realización de los ensayos triaxiales, en la cual sirve para validar y aceptar la realización del productor de ensayo.	La normativa del ensayo triaxial ASTM D4767-88. Se aplica para diferentes ensayos de la ingeniería, especialmente para construcciones, en la que describe los pasos que se deben tener en cuenta para la obtención de los resultados adecuados, y para la validación de esta.

### 1.3.5. Estado del arte

La tecnología de hoy en día permite tener un mejor estudio en el campo de la geomecánica, Como la implementación de softwares, que nos ayudan a entender más sobre las deformaciones rocosas en las construcciones de las labores mineras. También los diferentes tipos de máquinas que nos ayudan a elaborar ensayos, para poder determinar las cargas puntuales, elasticidad, tipo de roca y su grado de deformación.

Los softwares que nos ayudan a entender sobre las deformaciones rocosas y sus proyecciones son:

- Software Dips (rocscience)
- Phase 2 (rocscience)
- Examine 2D (rocscience)
- Geotable

Las maquinas que se usan en estudios geomecánicos.

- Perforadora
- Cortadora
- Máquina de compresión uniaxial.
- Máquina de compresión triaxial.

- Brújula brunton
- Clinómetro
- Martillo Schmidt

#### 1.3.6. Impacto ambiental

La mecánica de rocas es una técnica que se aplica en la minería, esta, es muy importante para muchos tipos de estudios y trabajos que se van a realizar en la minería y en otros campos como en la ingeniería civil.

La mecánica de rocas con respecto al impacto ambiental está muy asociada, por las deformaciones rocosas que se hacen en las construcciones subterráneas de la minería o en túneles de la ingeniería civil. La mecánica de rocas hace influencia en casi todos los tipos de procesos o acciones que se toman en la minería, uno de los procesos que tiene más influencia es en la voladura, tipo de método de explotación y sostenimiento, pero teniendo en cuenta el impacto ambiental, la geomecánica y la perforación; La perforación puede delimitar la cantidad de explosivo que se puede utilizar para poder hacer efecto en la rotura de la roca, así emitiendo gases de los explosivos hacia el medio ambiente.

Esta estudia los diferentes tipos de cargas puntuales que presenta las rocas en las deformaciones, y da a entender el hundimiento del terreno, deformación del macizo rocoso y su inestabilidad, así afectando la formación de la orogénesis.

#### 1.3.7. Seguridad y salud ocupacional

Los estudios geomecánicos se hacen con la finalidad, de delimitar las cualidades y calidades de las rocas que se están estudiando, los resultados de un estudio geomecánico sirve para dar inicio a diferentes tipos de procesos en la minería.

La geomecánica ayuda para delimitar e identificar el tipo de soporte que se necesitan en caso de que la roca sea muy débil, en un punto específico de las labores mineras, contribuyendo con la seguridad de los trabajadores, así cumpliendo desde el D.S No 023-2017-EM.

#### 1.3.8. Administración en prevención y riesgos y desastres.

Con un estudio geomecánico se puede prevenir diferentes tipos de desastres que se ocasionarían en las labores de labor de la minera, uno de la prevención de

desastre es el hundimiento por la deformación de la masa rocosa en las construcciones subterráneas, así dando parámetro para la seguridad para cada frente de labor.

Otro parámetro de prevención de accidentes en la estabilidad de la masa rocosa, proponiendo los diferentes tipos de sostenimientos adecuados que encajan mejor de acuerdo con los resultados del estudio.

#### 1.3.9. Definición de términos

##### Geomecánica

Se encargada de un estudio del macizo rocoso para la ver las estructuras para los esfuerzos que se presenta en el yacimiento, logrando estudios in-situ y laboratorio.

##### Factor de seguridad

Se trata de estimar un valor determinado para ejercer seguridad en las estructuras, basándose en los esfuerzos, tensiones, desplazamientos y compresión que presenta el macizo rocoso a través de las labores de excavaciones.

##### Mecánica de rocas

Es una ciencia basada en el comportamiento de las rocas y del macizo rocoso, trabajando de la mano con la geología viendo su litología, tipos de estructura, grietas, familias discontinuidades que tiene un macizo rocoso en un yacimiento minero subterráneo.

##### Ondas de corte

Es los análisis sísmicos generadas por las placas tectónicas, estas ondas son llamados ondas S estas ondas se generan por el desplazamiento o sobre posición de las placas tectónicas que se encuentran en el medio subterráneo.

##### Minado

Secuencias de corte de la roca, para el aumento de producción y desarrollo en las minas.

##### Esfuerzos

Es la cantidad de fuerza máxima que puede aguantar una roca con presión de otra respecto a su área.

## Roca

Consiste en la estructuración de un cuerpo mediante materiales sólidos de minerales dependiendo su clase, estructura, morfología y proporciones variables de cada material creado a lo largo de tiempo por la naturaleza.

## Abrasión

Desgaste mecánico de las rocas por fricción o impacto.

RQD: Rock quality designation

RMR: Rock mass rating

GSI: Geological strength index

### 1.4. Formulación al problema

¿Cómo determinar la estabilidad del macizo rocoso en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque?

### 1.5. Justificación del estudio

#### TEÓRICA:

Se consultó bibliografía sobre diferentes tipos de estudios que se han hecho en diferentes minas sobre el comportamiento geomecánico de las rocas, estos sirven como guía y fuente de información para describir los efectos que causan en la minería, así como el desconocimiento del tipo de macizo rocoso al que se está enfrentando. Esto influenciará en una mejor producción, seguridad, y en la implementación de producción en la empresa minera subterránea "Santa Clotilde 7", enfocado la presente investigación.

#### PRÁCTICO:

El desarrollo de la geomecánica para ver los diferentes problemas de estabilidad asociados a la construcción de las excavaciones rocosas, para los diferentes propósitos en las que están sometidas y los problemas físicos reales de la zona.

## SOCIAL:

Mediante la geomecánica se puede verificar el tipo de deformación que se dará en el terreno al hacer las excavaciones, y esto sirve para evitar daños asegurando el bienestar de los trabajadores.

## METODOLÓGICO:

Este trabajo de investigación servirá como fuente de información para nuevas investigaciones futuras relacionadas al tema.

## AMBIENTAL:

Mediante este trabajo se pretende disminuir y verificar los diferentes tipos de alteraciones rocosas, así como las deformaciones que se presentan.

## TECNOLÓGICO:

En este estudio geomecánico se hará uso de diversas tecnologías que hay hasta la fecha, que ayudan a tener resultados con menos factor de error en los cálculos.

### 1.6.Hipótesis

El análisis geomecánico permitirá determinar la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7–Chongoyape-Lambayeque.

### 1.7.Objetivo

#### 1.7.1. General

- Desarrollar un análisis geomecánico para la estabilidad del macizo rocoso en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7.

#### 1.7.2. Específicos

- Analizar las características y resistencia de la roca mediante ensayos de laboratorio.
- Proponer el tipo de sostenimiento conveniente para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7.
- Especificar el factor de seguridad en las labores mineras.

## II. MÉTODO

### 2.1. Tipo y diseño de investigación

Según la naturaleza de investigación, los objetivos formulados y la hipótesis planteada, el tipo de investigación es cuantitativa con el diseño no experimental descriptivo transversal y según Hernández, Fernández y Batista (2014) las investigaciones trasversales son de corto plazo en la que, el tipo de ensayos y recolección de datos que realizaremos constara de un mes aproximado, en el cual plasmaremos en este presente estudio.

### 2.2. Operacionalización de variables

#### 2.2.1. Variable independiente

- ANÁLISIS GEOMECÁNICO

Un análisis geomecánico es un estudio del comportamiento de las rocas frente a diferentes tipos de alteraciones rocosas que se presenten en ellas, como lo son las excavaciones subterráneas o superficiales, haciendo que se cree inestabilidad del macizo rocoso.

En la minería la geomecánica analiza diferentes tipos de parámetros, tales como las deformaciones in-situ de las rocas para delimita diferentes tipos de labores como: el minado, en extracción de hidrocarburos, excavaciones tuneleras, minas a cielo abierto, en carreteras, rellenos sanitarios y en la perforación.

#### 2.2.2. Variable dependiente

- ESTABILIDAD

Es un análisis en donde se elaboran estructuras teniendo en cuenta sus orientaciones, su forma y tamaño para así lograr el buen funcionamiento sus diferentes tipos de labores (brindado un buen desempeño laboral).

Hay varios componentes que interviene para la estabilidad en las rocas referido a la minería subterránea en las cuales son: su litología, su formación y estructura miento de la masa rocosa, las cargas existentes que se presentan en las excavaciones (esfuerzos), su litología, su orientación de avance y tamaño de las excavaciones, la secuencia del minado, los factores y ondas de voladura, seguridad, el tiempo al ejecutar el avance en las excavaciones y estándares de soporte en las labores mineras.

Cuadro N° 2: Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Sub indicadores	Índice	Técnica de recolección de información	Instrumento de recolección de información	Instrumento de medición
Análisis geomecánico	Métodos geomecánicos	Q - Barton	Tipo de roca	Escala	Observación	Guía de observación	Tabla Q-Barton
		RMR	Tipo de roca				Tabla RMR
		RQD	Calidad de roca	Porcentaje			Tabla RQD
		GSI	Tipo de roca	Escala			Tabla GSI
Estabilidad	Sostenimiento	Factor de Seguridad	Tipos de sostenimiento	Calidad de masivo rocoso			Tabla de resultados Geomecánicos
			Seguridad	Confiability			

### 2.3. Población y muestra

#### 2.3.1. Población

La muestra estuvo conformada por la mina Santa Clotilde que se ubica en Chongoyape-Lambayeque.

#### 2.3.2. Muestra

La muestra lo conformó las labores de desarrollo y producción en la mina Santa Clotilde 7 donde se realizó el análisis geomecánico.

Cuadro N° 3: Ensayos realizados en laboratorio

Ensayo	Muestra	Producción	desarrollo
Propiedades de Rocas	T1	<b>II</b>	<b>II</b>
	T2		
Carga Puntual	T1	<b>IV</b>	<b>IV</b>
	T2		
	T3		
	T4		

Elaboración: Propia.

### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

#### 2.4.1. Técnica de recolección de datos

En la presente investigación la técnica de recolección de datos fue:

- a) Observación
- b) Análisis documental

## 2.4.2. Instrumentos de recolección de datos

### a. GUÍA DE OBSERVACIÓN:

Se hizo esta guía de observación donde logramos determinar el Q de Barton. (Ver anexo N°2).

Se hizo una guía de observación para poder realizar el RMR (ver anexo N°2).

Se hizo una guía de observación para poder recolectar los datos del RQD (Ver anexo N°2).

Se hizo una guía de observación para poder recolectar los datos de GSI (ver anexo N°2).

Se hizo una guía de observación para recolectar los datos para el sostenimiento (ver anexo N°2).

## 2.4.3. Validez y confiabilidad

**Validez:** En este proyecto de investigación se tomó un grupo de profesionales para ser validado contando con su afianzamiento, para garantizar que está correcto los instrumentos que se utilizaron, (ver anexo N°4).

**Confiabilidad:** Este punto principal se empleó para todo el tema de investigación, en especial en la recaudación de datos y en la elaboración de los resultados.

## 2.5. Procedimiento

### 2.5.1. Analizar las características y dureza en la roca mediante ensayos en laboratorio:

Para propiedades y resistencia del material (roca) se realizará una serie de ensayos en las cuales nos permitirán obtener resultados de laboratorio, para saber las propiedades físicas, los diferentes esfuerzos y estrés que se pueden someter las rocas.

Para el desarrollo de este objetivo, nos apoyaremos en la guía de observación de campo, tablas geomecánicas, que ayudarán con los resultados obtenidos para poder desarrollar los métodos geomecánicos como el Q de Barton, el RMR y GSI con ayuda de los siguientes ensayos. (Ver anexo N°2)

➤ Ensayo de Propiedades Físicas de la Roca

1. Principio:

En este ensayo demostraremos su composición de la muestra extraída del campo para la investigación. Basándose en los diferentes métodos y principios que nos otorga la geología se podrá determinar su litología a través del tiempo que ha pasado la tierra a los años del tiempo.

Estudia la vida de la tierra tanto en su formación, origen y su comportamiento de este.

2. Objetivo:

Con esta muestra de roca obtenida en la voladura o perforación, se realiza el ensayo para demostrar las propiedades de la muestra: densidad. (Ver anexo 02)

3. Materiales e insumos:

- Cuaderno de apuntes.
- Guincha.
- Muestra (roca).
- Alimentos.
- Equipo de protección personal.

4. Equipos y materiales

- Celulares.
- Guincha.
- Balanza.
- Probetas de laboratorio.
- Muestra de roca.

5. Procedimiento:

Para lograr este análisis tendremos:

- ❖ Tener una ubicación específica del lugar donde lograremos observar y casar las muestras.
- ❖ Verificar que tipo de roca.
- ❖ Pesar la muestra a hacer el ensayo.
- ❖ Hacer el ensayo de la densidad de la roca con las probetas de laboratorio, y observar el desplazamiento del fluido.

- ❖ Tomar nota de los resultados que proporcionen los equipos.
- ❖ Llevar los resultados a gabinete para ser analizados.

6. Normativa:

Densidad ASTM D – 2937.

7. Valores permitidos:

Según la normativa ASTM D - 2937

Tabla N° 4: Normativa ASTM

Tipo de mineral	densidad mineral (g/cm <sup>3</sup> )	
cuarzo/ópalo	2.65	2
ortosa/anortita	2.56	2.58
albita/anortita	2.63	2.76
horblenda/augita	3.2	3.3
biotita/clorita	3	3
moscovita/illita	2.83	2.8
montmo/caolín	2.5	2.6
goethita/limonita	4.3	3.8
calcita/aragón	2.71	2.85
dolomita/ anker	2.86	3
yeso/anhidrita	2.32	2.96

8. Costos:

S/100

➤ Ensayo de Carga Puntual

1. Principio

Emplear la determinación de la resistencia a la compresión simple por fracciones discontinuas de la masa rocosa.

2. Objetivo

Determinar su resistencia de la compresión de la roca, el índice “IS” de Bieniawski

3. Materiales e Insumos

- Cuaderno de apuntes.
- Lapiceros.
- Equipo de protección personal para la ejecución del equipo.

- Electricidad.

#### 4. Equipos y materiales

- Componentes de carga.
- Lecturas de carga.
- Lecturas de distancia.
- Equipo de esfuerzos en la carga puntual.
- Perforadora saca testigo.
- Cortadora.
- Balanza.

#### 5. Procedimiento

- ❖ Conocer a la roca en su litología y su estructura.
- ❖ Conseguir una muestra mediante la perforación.
- ❖ Cortar la muestra con el tamaño deseado.
- ❖ Ubicación del testigo con las puntas cónicas del equipo.
- ❖ Calcular los parámetros de la muestra en el equipo.
- ❖ calibrar la presión del equipo si está funcionando.
- ❖ Ir graduando la presión de la prensa hidráulica.
- ❖ Realizado la fracture el testigo se retira y se analiza.

#### 6. Normativas

- ❖ UNE 22950 – 5

#### 7. Valores permisibles

- Ensayo que no se puede usar con rocas irregulares

#### 8. Costos

<sup>S/</sup>500 el ensayo.

### 2.5.2. Especificar el factor de seguridad en las labores mineras

Para especificar los coeficientes de seguridad en las labores mineras, se desarrollará mediante; resultados de laboratorio, y guía de observación de laboratorio (Ver anexo N°2), en la cual anterior a eso se realizará los siguientes ensayos: (Ver ensayos en 2.5.2.1)

- Ensayo de carga puntual.
- Tablas RMR
- Tablas Q de Barton
- Índice de resistencia geológica (GSI)

Tendremos que haber obtenido los resultados de los ensayos, se procederá a realizar los cálculos de gabinete, en donde se insertarán los resultados hacia las tablas geomecánicas para el apoyo de los resultados (Ver anexo 02).

### 2.5.3. Proponer el tipo de sostenimiento adecuado para la estabilidad en la mina

Para la determinación de la propuesta del tipo de sostenimiento lograremos recolectar datos actuales de la investigación, se desarrollará mediante; guía de observación de laboratorio, tablas geomecánicas y resultados de laboratorio (Ver anexo 02). En la cual se desarrollará también los siguientes ensayos: (Ver ensayos en 2.5.2.1)

- Ensayo de carga puntual.
- Tablas RMR
- Tablas Q de barton
- Índice de resistencia geológica (GSI)

Después de haber obtenido los resultados de los ensayos, se procederá a realizar los cálculos de gabinete, en donde se insertarán los resultados hacia las tablas geomecánicas para el apoyo de los resultados (Ver anexo 02).

## RECURSOS HUMANOS

Tesistas : Acosta Medina, Irwin Edinson

Barón Córdor, Hans Evanof

Metodóloga : Aguinaga Vasquez Silvia Josefina

Ingeniero : Orlando Alex Siccha Ruiz

### 2.6.Método de análisis de datos

#### 2.6.1. Diagrama de procesos

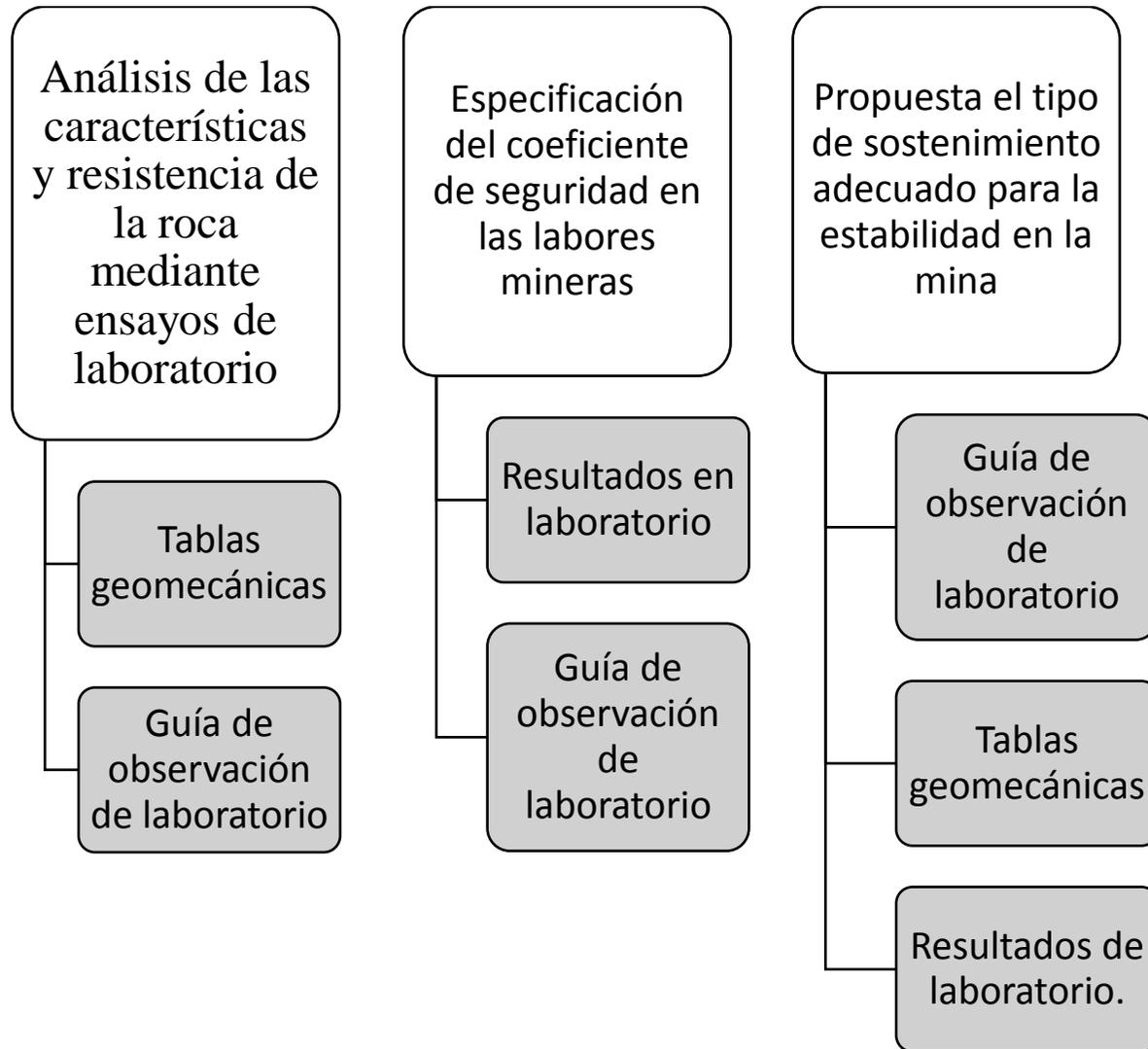
## MÉTODO DE ANÁLISIS DOCUMENTAL

Este método se empleó específicamente en la búsqueda de información de las diversas fuentes tanto primarios como los libros y textos relacionados al tema y secundarios recurriendo a los aportes de diferentes investigaciones realizadas anteriormente en relación con el tema de estudio que se necesitaban para mostrar las evidencias que permitieron estructurar el trabajo.

## MÉTODO SISTÉMICO

Se usó para trabajar en todo el proceso y desarrollo de la investigación que ayudó a relacionar los hechos y las variables que se usaron en este estudio, apoyados en las diferentes teorías que fundamentan la investigación mediante un trabajo formal, intencional y sistemático.

Esquema N° 1: Diagrama de procesos



## 2.7. Aspectos éticos

Según las normas y principios que se rigen por la universidad en el modelo de la investigación, los principales aspectos éticos que se consideran en el trabajo de investigación son: el manejo bibliográfico, la transparencia y nitidez de los objetivos del trabajo, la claridad de los datos recopilados tanto en campo, como en los laboratorios, la discreción y profundización en el manejo y desarrollo del tema.

Fuente de soporte y material bibliográfico:

Documentos de consulta, como base y apoyo para el desarrollo de la investigación. Citando y haciendo referencia de los textos.

Comparar con diferentes aportaciones de documentos y material bibliográfico, interpretándolos y sin alterar a ellos.

Transparencia y nitidez de los objetivos de investigación: Puntualizar objetivos desde el comienzo del tema

Explicar detalladamente los desarrollos de cada uno de ellos, explicando cómo lo lograremos.

No se modificará los objetivos por conveniencia propia de los autores.

Claridad de los resultados:

Explicar cómo se logró obtener los resultados detalladamente, para un mejor entendimiento de los lectores. No se alterarán resultados a conveniencia propia de los autores.

Privacidad:

Se respeta a diferentes autores de consultas bibliográficas, de su anonimato si es que ellos lo desean. Proteger los resultados obtenidos para el campo científico.

Manejo del tema y desarrollo.

Indagar y aprender diferentes formas y métodos que se relacionen a la investigación.

Conocimiento del tema sobre el que se está desarrollando la investigación, y estar al margen de nuevas fuentes bibliográficas.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Análisis de las características y resistencia de la roca mediante los ensayos de laboratorio

##### 3.1.1. Labor de desarrollo

##### a. Resultados de la densidad y carga puntual:

Tabla N° 5: Resultados de carga puntual y propiedades físicas de las rocas

Ubicación	Muestra	Resistencia a la compresión MPA	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
D	Mr1-Md1	1.94	2.53
D	Mr2-Md2	2.0	2.67
D	Mr3-Md3	2.18	2.68
D	Mr4-Md4	2.10	2.6

Fuente: elaboración propia

Demostramos en la tabla n° 6. Labor de desarrollo se tomó como muestra rocas para los ensayos, en la que fueron sometidos para su densidad y el ensayo de carga puntual, obteniendo los datos que se muestran en la tabla, con un promedio de resistencia de carga puntual de 2.055 MPA y una densidad de 2.62 g/cm<sup>3</sup> posteriormente se les sometió a los métodos de RQD, RMR, y Q de Barton.

##### b. Resultados del RQD

Tabla N° 6: Resultados del análisis de RQD

Ecuación de Priest y Hudson		
Relación	$RQD = 100x_e^{-0.1\lambda(1+0.01\lambda)}$	RQD recomendado
$\lambda$	RQD	
1	99.5	100
2	98.2	100
3	96.3	95

4	93.8	95
5	91	90
6	87.8	90
7	84.4	85
8	80.9	80
9	77.2	80
10	73.6	75
11	69.9	70
12	66.3	65
13	62.7	65
14	59.2	60
15	55.8	55
16	52.5	50
17	49.3	50
18	46.3	54
19	43.4	54
20	40.6	40
21	38	40
22	35.5	35
23	33.1	35

Fuente: elaboración propia

Observamos en la tabla n° 7, la realización del cálculo del RQD mediante la ecuación de Priest y Hudson, en donde se calculó por metro lineal, tomando los datos dentro de la labor de desarrollo, obteniendo 8 números de discontinuidades por metro lineal, en donde el RQD obtenido es 80.9, usando para este estudio un RQD de 80.

c. Resultados del RMR

Tabla N° 7: Resultado RMR

Corrección por orientación de las discontinuidades		
Dirección y buzamiento	Resultado	Valor
Labor subterránea	Desfavorable	-10

Fuente elaboración propia

Se logró rescatar en la tabla n° 8, lo que resaltamos de amarillo es lo que se hizo lectura dentro de la labor de desarrollo, en donde se tomó los datos necesarios para poder desarrollar la tabla geomecánica.

Tabla N° 8: Geomecánica

1	Resistencia de a roca intacta (mpa)	Resultado	Valor
		1.94	7
2	RQD (%)	80.9	17
3	Espaciado entre discontinuidades	0.45	10
4	Persistencia	5	2
	Abertura	5	4
	Rugosidad	Poco rugoso	4
	Relleno	Duro (<5mm)	4
	Descomposición	Descompuesto	3
5	Flujo h2o (lt/min)	0	15
	Presión de agua	0	
	Condición general	seca	

Fuente: elaboración propia

Los resultados de la suma de los valores de la tabla n° 8, geomecánica de RMR es de 55, en la que la clase de masa rocosa determinada por las valoraciones totales son:

Valoración: 60 – 41

Numero de clase: III

Descripción: Roca regular

d. Resultados Q de Barton

Tabla N° 9: Resultados Q de Barton

Clasificación rocosa	valor	Leyenda
D- Buena	80.9	Buena
Jn (Número de familias)	4	Dos familias juntas
Jr (rugosidad de juntas)	2	Suave ondulado
Ja (número de alteración de juntas)	3	Pequeñas fracciones con arcilla
Jw (factor agua)	1	Excavaciones secas
SRF (fact. Reducción de esfuerzos)	5	Zona libre

Fuente: elaboración propia

Visualizaremos en la tabla n° 10, la realización del cálculo del Q de Barton mediante datos dentro de la labor de desarrollo, obteniendo 8 números de discontinuidades en donde el RQD obtenido es 80, usando para este estudio un Q

de Barton de 2.666667 mediante la ecuación por metro lineal, en donde el RQD obtenido es 80, usando para este estudio un Q de Barton de 2.666667.

e. Resultados de GSI

Como se puede observar en la figura n° 13, se realizó el método GSI, tomando los datos dentro de la labor de desarrollo, obteniendo como valor de 60, en donde el tipo de roca es regular, teniendo una resistencia (regular y descompuesta), presentando superficies (lisas y alteradas), modernamente abiertas (alteradas, y ligeramente). (ver anexo 2, guía de observación N° 6)

3.1.2. Labor de Producción

a. Resultados de densidad y carga uniaxial:

Tabla N° 10: Ensayo de compresión uniaxial y propiedades físicas de las rocas

Ubicación	Muestra	Fuerza de compresión MPA	Carga máxima	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
P	M1	60.35	20.317	2.50
P	M2	67.879	28.571	2.35
P	M3	35.176	76.445	2.40
P	M4	210.965	88.797	2.39

Fuente: elaboración propia

Se aprecia en la tabla n° 11. La Labor de producción se tomó como muestra rocas para los ensayos, en la que fueron sometidos para su densidad y para la compresión uniaxial, obteniendo resultados mostrados en la tabla, con un intervalo de la resistencia a la compresión de 93.59 MPA y una densidad de 2.41 g/cm<sup>3</sup> posteriormente se les sometió a los métodos de RQD, RMR, y Q de Barton.

b. Resultados de RQD

Tabla N° 11: Resultados del análisis de RQD

Ecuación de Priest y Hudson		
Relación	$RQD = 100x_e^{-0.1}\lambda_{(1+0.01\lambda)}$	
$\lambda$	RQD	RQD recomendado
1	99.5	100
2	98.2	100
3	96.3	95
4	93.8	95
5	91	90
6	87.8	90
7	84.4	85
8	80.9	80
9	77.2	80
10	73.6	75
11	69.9	70
12	66.3	65
13	62.7	65
14	59.2	60
15	55.8	55
16	52.5	50
17	49.3	50
18	46.3	54
19	43.4	54
20	40.6	40
21	38	40
22	35.5	35
23	33.1	35

Fuente: elaboración propia

Generamos en la tabla n° 12, la demostración del cálculo del RQD mediante la ecuación de Priest y Hudson, en donde se calculó por metro lineal, tomando los datos dentro de la labor de desarrollo, obteniendo 10 números de discontinuidades por metro lineal, en donde el RQD obtenido es 73.6, usando para este estudio un RQD de 75.

c. RESULTADOS RMR

Tabla N° 12: Resultados del análisis RMR

		Resultados	Valor
Orientación		desfavoreció	-10
1	resistencia de la roca	1.94	7
2	RQD (%)	80.9	17
3	Espaciado entre discontinuidades	0.45	10
4	Persistencia	5	2
	Abertura	5	4
	Rugosidad	Poco rugoso	4
	Relleno	Duro (<5mm)	4
	Descomposición	Descompuesto	3
5	Flujo h2o (lt/min)	0	15
	Presión de agua	0	
	Condición general	seca	

Fuente elaboración propia

Como se puede ver en la tabla n° 13, lo que se resalta de amarillo es lo que se hizo lectura dentro de la labor de producción, en donde se tomó los datos necesarios para poder desarrollar la tabla geomecánica.

Los resultados de la suma de los valores de la tabla geomecánica de RMR es de 53, en la que la clase de masa rocosa determinada por las valoraciones totales son:

Valoración: 60 – 41

Numero de clase: III

Descripción: Roca regular

d. Resultados Q de Barton

Tabla N° 13: Resultados del análisis Q de Barton

Clasificación rocosa	valor	Leyenda
C- Regular	73.6	Regular
Jn (Número de familias)	9	Tres familias juntas
Jr (rugosidad de juntas)	1.5	Ondulado
Ja (número de alteración de juntas)	2	Partículas sin arcillas
Jw (factor agua)	1	Excavaciones secas
SRF (fact. Reducción de esfuerzos)	5	Zona libre

Fuente: elaboración propia

Se precisó en la tabla n° 14, cuantificar el Q de Barton mediante datos, dentro de la labor de desarrollo, obteniendo 10 números de discontinuidades por metro lineal, en donde el RQD obtenido es 75, usando para este estudio un Q de Barton de 1.25.

e. Resultados GSI

Como se puede observar en la figura n° 14, se realizó el método GSI, tomando los datos dentro de la labor de desarrollo, obteniendo como valor de 55, en donde el tipo de roca es regular, teniendo una resistencia (regular y descompuesta), presenta superficies (lisas y alteradas), moderadamente abiertas (alteradas, y ligeramente). (ver anexo 2, guía de observación N° 6)

3.2. Factor de seguridad en las labores mineras

3.2.1. Labor de desarrollo

La seguridad en las labores mineras depende de su factor, son muy importantes para los trabajadores que se encuentran en ellas, así generando confiabilidad y desarrollo para la empresa minera.

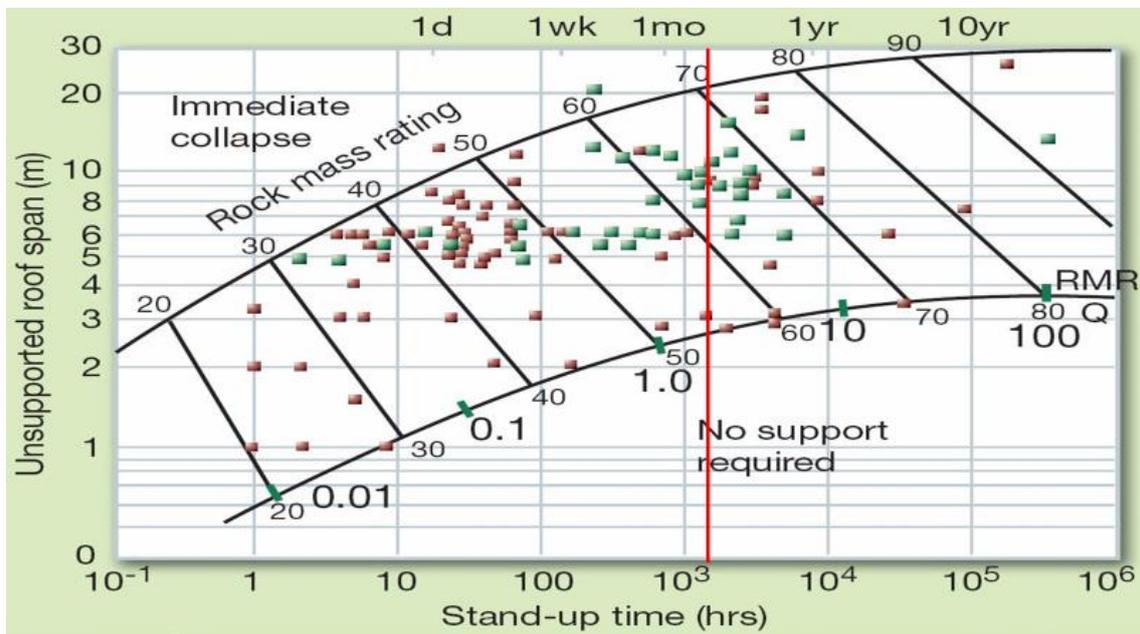


Figura N° 11: Tiempo de autosostenimiento

Fuente: geotecmin

Como se puede observar en la figura n° 11 el tiempo máximo de autoapoyo que puede resistir la labor de desarrollo es de 2 meses, después de ese tiempo, las fuerzas ejercidas

por las rocas hacia la labor incrementan, haciendo así la deformación de este, hasta colapsar.

La labor solo puede tener un avance máximo de 1.5m a 3m, luego de cada voladura o avance se tiene que hacer el sostenimiento adecuado, haciendo el sostenimiento a 10 metros del frente de labor.

Los daños de la voladura generaran nuevas juntas con la consecuencia de la disminución del Q de Barton a la roca circundante de la excavación, haciendo así que la labor de desarrollo no sea segura para los trabajos que se realizan en ella.

### 3.2.2. Labor de producción

El factor de seguridad en las labores mineras, son muy importantes especialmente en las de producción para los trabajadores que se encuentran en ellas, así generando confiabilidad y desarrollo para la empresa minera.

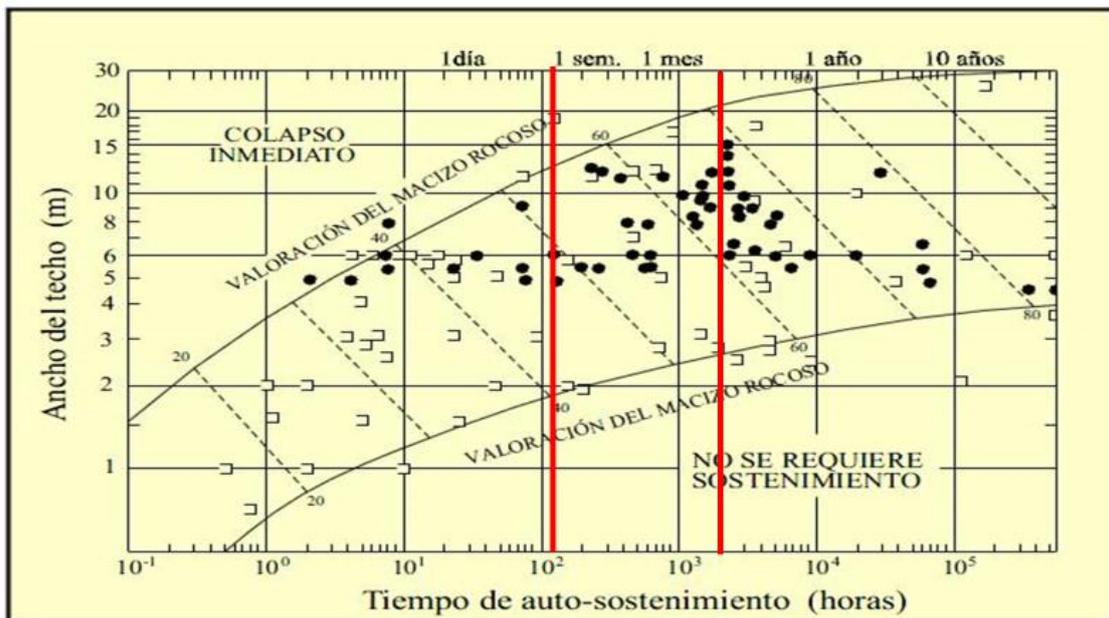


Figura N° 12: Imagen de autosostenimiento

Fuente: geotecmin

Como se puede observar en la figura n° 12 el tiempo máximo de autoaporte que puede resistir la labor de producción es de 4 meses, después de ese tiempo, las fuerzas ejercidas por las rocas hacia la labor incrementan, haciendo así la deformación de este, hasta colapsar. El tiempo mínimo de la labor de producción con autoaporte es de 9 días.

La labor solo puede tener un avance máximo de 1.5m a 3m, luego de cada voladura o avance se tiene que hacer el sostenimiento adecuado, haciendo el sostenimiento a 10 metros del frente de labor.

Los daños de la voladura generaran nuevas juntas con la consecuencia de la disminución del Q de Barton a la roca circundante de la excavación, haciendo así que la labor de producción no sea segura para los trabajos que se realizan en ella.

### 3.3.Propuesta del tipo de sostenimiento conveniente para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7

#### 3.3.1. Labor de desarrollo

##### a. Mediante RMR

En la labor de desarrollo se obtuvieron los resultados de los métodos geomecánicos, tanto el RQD, RMR, Q de Barton y GSI, en el cual para el tipo de sostenimiento adecuado que se recomienda usar se basa en el método RMR y Q de Barton.

Tipo de sostenimiento por el método RMR

Número de clase de roca: III roca regular

Tiempo de auto sostenimiento: 1 semana, luego estará sometido a esfuerzos constantes de las rocas

Ángulo de fricción de masa rocosa:  $25^{\circ}$  -  $35^{\circ}$

En la siguiente imagen de relación entre el GSI y el RMR se puede saber el tipo de sostenimiento adecuado respecto a los resultados obtenidos del RMR.

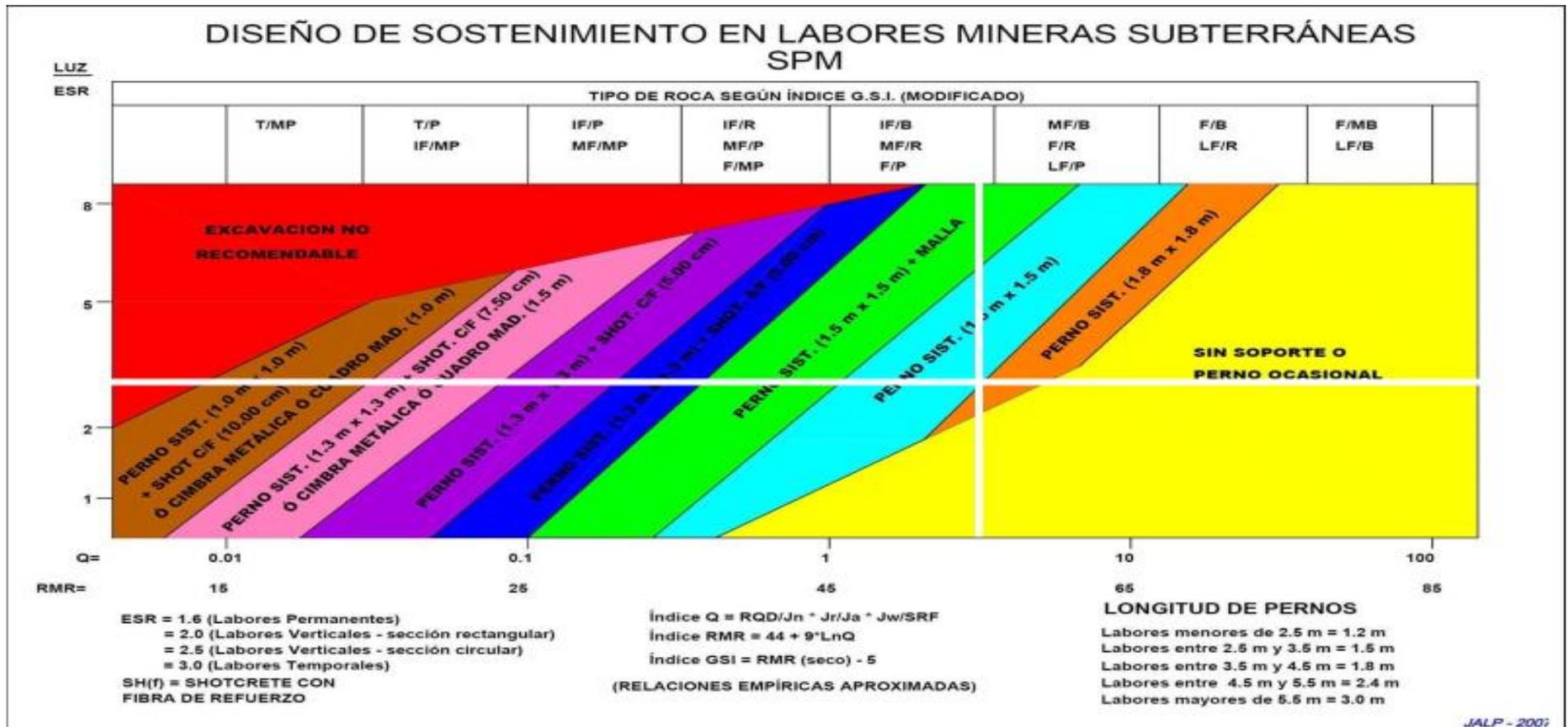


Figura N° 13: Cuadro de soporte según su RMR o sistema Q

Fuente: Geotecmin

Como se muestra en la figura n° 13 el tipo de sostenimiento que se puede aplicar para la labor de desarrollo es de:

Pernos sistemáticos de 1.5m de profundidad y 1.5m de espaciado, reforzado con mallas, o también solo hacer un sostenimiento con pernos sistemáticos

Pernos sistemáticos de 4m de longitud, espaciados 1.5 a 2m en la corona y en las paredes, con mallas de alambre en la corona.

Shotcrete de 50 a 100 mm en la corona y 30 mm en las paredes. Cimbras no se recomienda para este tipo de roca. Estos tipos de sostenimientos son recomendados si se ampliara la labor a más de 2 metros de potencia.

b. Mediante Q de Barton

En la labor de desarrollo se obtuvieron los resultados de los métodos geomecánicos, tanto el RQD, RMR, Q de Barton y GSI, en el cual para el tipo de sostenimiento adecuado que se recomienda usar se basa en el método RMR y Q de Barton.

Tipo de sostenimiento por el método Q de Barton

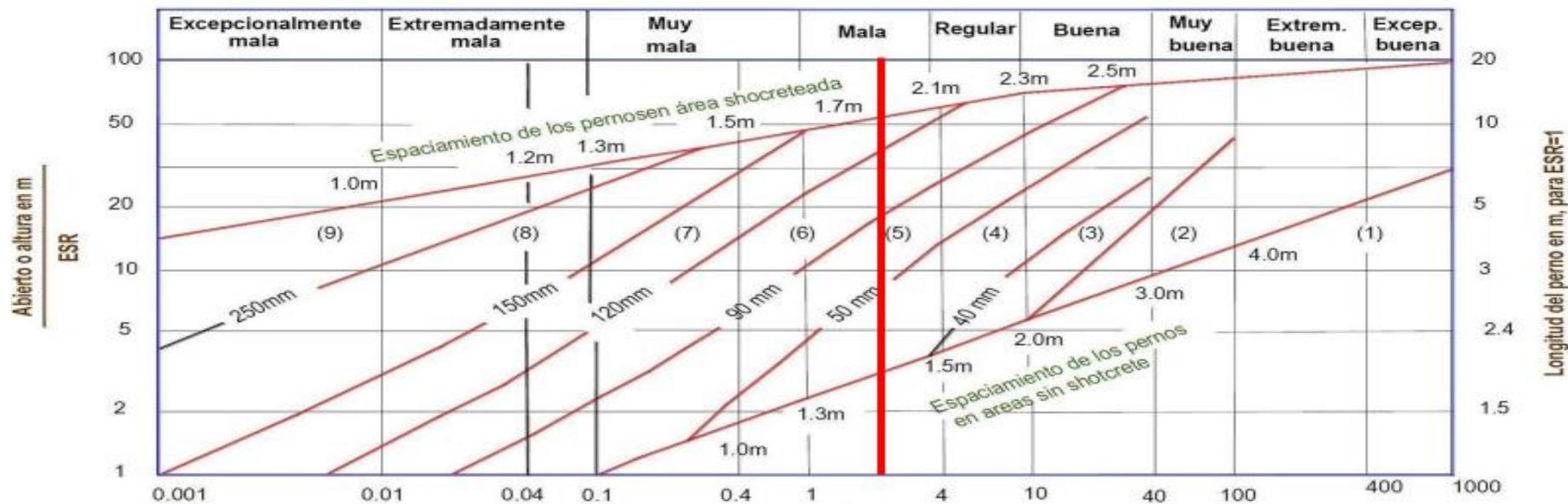


Figura N° 14: Cuadro de sostenimiento para sistema Q

Fuente: geotecmin

$$\text{Calidad de la masa rocosa } Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

**CATEGORÍAS DE REFORZAMIENTO**

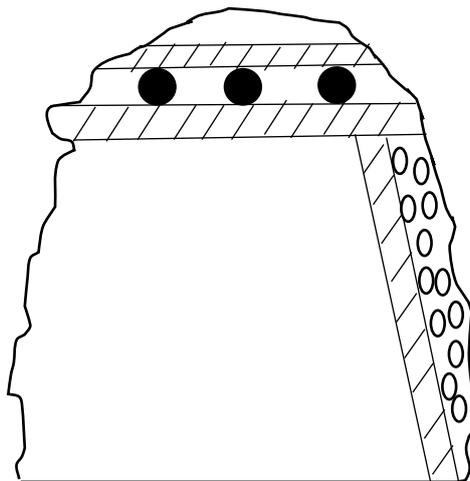
- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Sin sostenimiento</li> <li>2) Pernos esporádicos</li> <li>3) Pernos sistemáticos</li> <li>4) Pernos sistemáticos con shotcrete sin refuerzo, de 40 - 100 mm de espesor</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>5) Shotcrete reforzado con fibras, 50 - 90 mm y pernos</li> <li>6) Shotcrete reforzado con fibras, 90 - 120 mm y pernos</li> <li>7) Shotcrete reforzado con fibras, 120 - 150 mm y pernos</li> <li>8) Shotcrete reforzado con fibras, &gt; 150 mm, con arcos de acero (cerchas) reforzados con shotcrete y pernos</li> <li>9) Revestimiento de concreto armado</li> </ul> |
|---|--|

Como se muestra en la figura n° 14 el tipo de sostenimiento adecuado de acuerdo con el método Q de Barton es:

Pernos sistemáticos de 1.5m de profundidad con un espaciamiento de 1.35m cada uno, con shotcrete en las zonas fisuradas para el tipo de roca mala que presenta. Recomendado si se quiere ampliar la labor a más de 2 metros de potencia.

También se propone el tipo de sostenimiento por cuadros de madera, en la cual solo se ha propuesto dos tipos, cuadros de madera o cuadros cojos., teniendo como propuesta principal los cuadros cojos, que son mejor empleados para las labores angostas menores a 3m de potencia apoyados con puntales de madera en zonas que presenten cuñas o bloques de rocas, resaltando que la labor tiene que estar siempre ventilada, teniendo así una gran ventaja también por no presentar humedad o presencia de agua dentro de las labores. Este tipo de sostenimiento que se propone a diferencia de los otros es de gran ayuda en avisar cuando puede haber un colapso dentro de las labores por las fricciones y grados tensionales de las rocas, haciendo posible la evacuación del personal sin evitar accidentes. Se propone este tipo de sostenimiento si se quiere seguir trabajando con las mismas dimensiones.

Cuadros cojos de madera



Fuente: elaboración propia

### 3.3.2. Labor de producción

#### a. Mediante RMR

En la labor de producción se obtuvieron los resultados de los métodos geomecánicos, tanto el RQD, RMR, Q de Barton y GSI, en el cual para el tipo de

sostenimiento adecuado que se recomienda usar se basa en el método RMR y Q de Barton.

Tipo de sostenimiento por el método RMR

Número de clase de roca: III roca regular

Tiempo de auto sostenimiento: 1 semana, luego estará sometido a esfuerzos constantes de las rocas, tiempo máximo de auto sostenimiento es de 4 meses, pasado ese tiempo, se corre los riesgos de colapso.

Ángulo de fricción de masa rocosa:  $25^{\circ}$  -  $35^{\circ}$

En la siguiente imagen en relaciona del GSI y el RMR donde se saber el tipo de sostenimiento adecuado respecto al estudio alcanzado en el RMR.

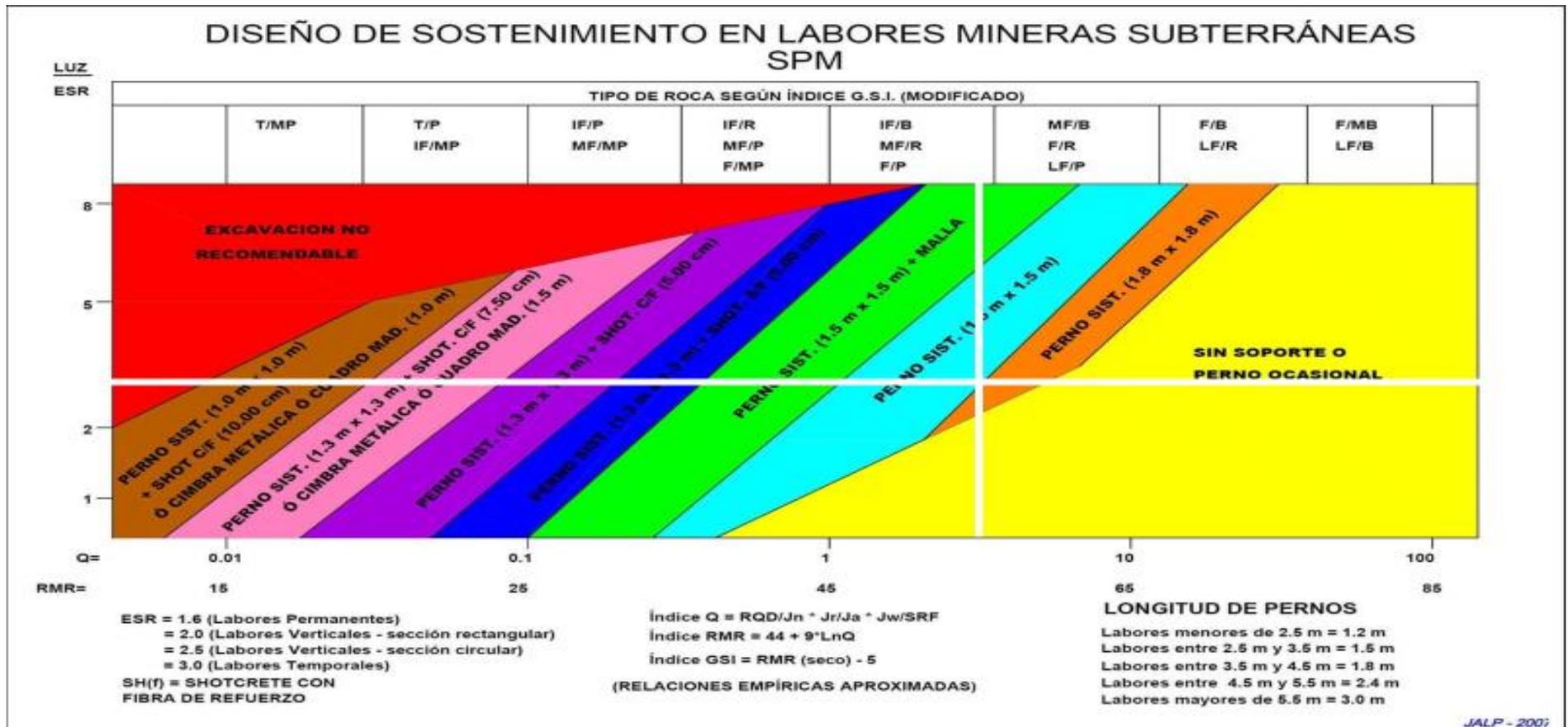


Figura N° 15: Cuadro de soporte según su RMR o sistema Q

Fuente: Geotecmin

Como se muestra en la figura n° 17 el tipo de sostenimiento que se puede aplicar para la labor de producción es de:

Pernos sistemáticos de 1.5m de profundidad y 1.5m de espaciado, reforzado con mallas, o también solo hacer un sostenimiento con pernos sistemáticos

Pernos sistemáticos de 4m de longitud, espaciados 1.5 a 2m en la corona y en las paredes, con mallas de alambre en la corona.

Para un mejor sostenimiento: pernos sistemáticos de 4m de longitud, espaciados de 1.5m a 2m en la corona y en las paredes, con malla de alambre.

Shotcrete de 50 a 100 mm en corona y 30 mm en paredes. Cimbras no se recomienda para este tipo de roca. Estos tipos de sostenimientos e proponen si se desea ampliar la labor a más de 2 metros de potencia.

#### b. Mediante Q de Barton

En la labor de producción se obtuvieron los resultados de los métodos geomecánicos, tanto el RQD, RMR, Q de Barton y GSI, en el cual para el tipo de sostenimiento adecuado que se recomienda usar se basa en el método RMR y Q de Barton.

Tipo de sostenimiento por el método Q de Barton

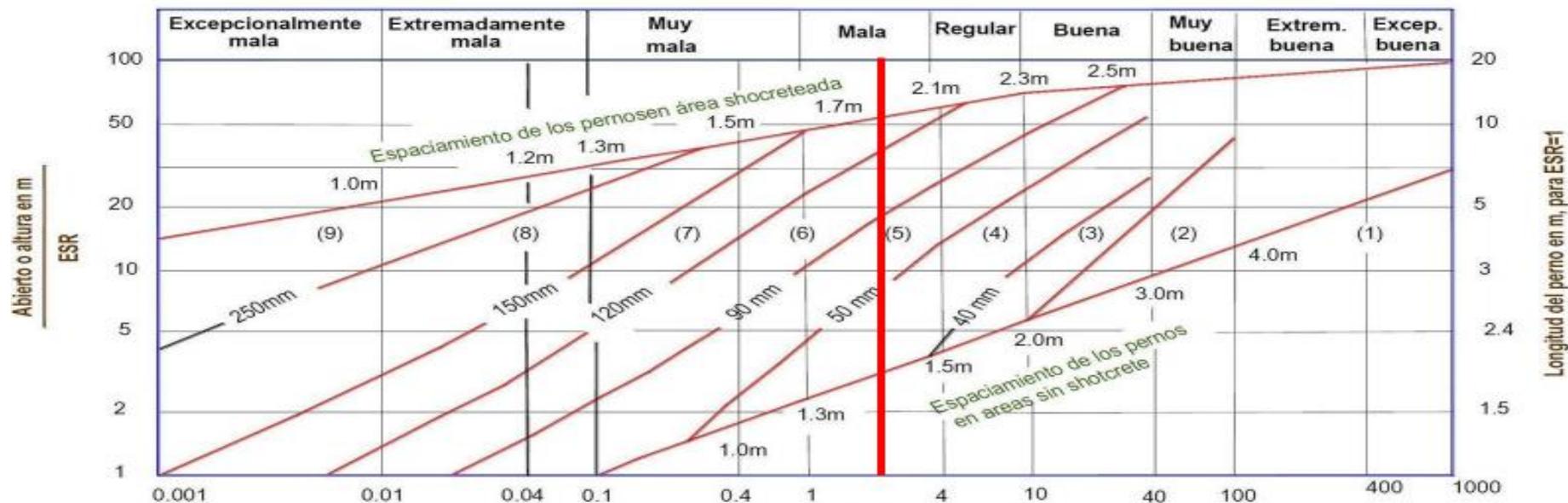


Figura N° 16: Cuadro de sostenimiento para sistema Q

Fuente: geotecmin

$$\text{Calidad de la masa rocosa } Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

**CATEGORÍAS DE REFORZAMIENTO**

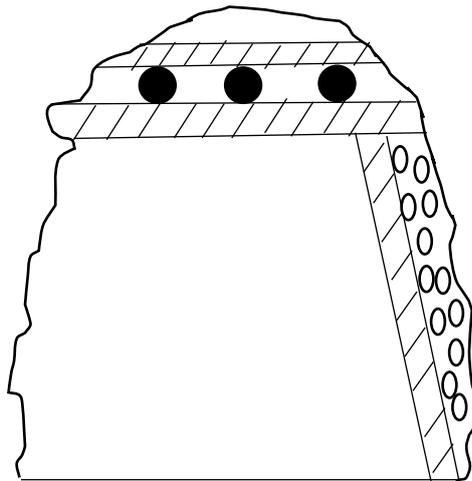
- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Sin sostenimiento</li> <li>2) Pernos esporádicos</li> <li>3) Pernos sistemáticos</li> <li>4) Pernos sistemáticos con shotcrete sin refuerzo, de 40 - 100 mm de espesor</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>5) Shotcrete reforzado con fibras, 50 - 90 mm y pernos</li> <li>6) Shotcrete reforzado con fibras, 90 - 120 mm y pernos</li> <li>5) Shotcrete reforzado con fibras, 120 - 150 mm y pernos</li> <li>5) Shotcrete reforzado con fibras, &gt; 150 mm, con arcos de acero (cerchas) reforzados con shotcrete y pernos</li> <li>9) Revestimiento de concreto armado</li> </ul> |
|---|--|

Como se muestra en la figura n° 16 el tipo de sostenimiento adecuado de acuerdo con el método Q de Barton es:

Pernos sistemáticos de 1.5m de profundidad con un espaciamiento de 1.35m cada uno, con shotcrete en las zonas fisuradas para el tipo de roca mala que presenta. Esta propuesta es solo si se desea ampliar la labor a más de 2 metros de potencia.

También se propone el tipo de sostenimiento por cuadros de madera, en la cual solo se ha propuesto dos tipos, cuadros de madera o cuadros cojos., teniendo como propuesta principal los cuadros cojos, que son mejor empleados para las labores angostas menores a 3m de potencia apoyados con puntales de madera en zonas que presenten cuñas o bloques de rocas, resaltando que la labor tiene que estar siempre ventilada, teniendo así una gran ventaja también por no presentar humedad o presencia de agua dentro de las labores. Este tipo de sostenimiento que se propone a diferencia de los otros es de gran ayuda en avisar cuando puede haber un colapso dentro de las labores por las fricciones y grados tensionales de las rocas, haciendo posible la evacuación del personal sin evitar accidentes. Se propone este tipo de sostenimiento si se quiere seguir trabajando con las mismas dimensiones.

Cuadros cojos de madera



Fuente: elaboración propia

#### IV. DISCUSIÓN

- El análisis geomecánico permitió determinar la estabilidad en las labores confirmándose con los resultados obtenidos de los diferentes métodos empleados, logrando determinar el tipo de roca, grado de dureza, compresión máxima que se presenta en las labores; así deduciendo que las labores no son estables, requiriendo un sostenimiento adecuado y factible, basado en Mendieta (2014) la mecánica de rocas es fundamental y principal en las construcciones subterráneas para ver el tipo de roca y factor de fuerzas que son sometidas hacia las construcciones de él eligiendo el tipo de sostenimiento para una mejor estabilidad y seguridad, basándose en los resultados geomecánicos.
- Los resultados obtenidos del análisis de la roca en el laboratorio confirman las características y resistencia de la roca que se tenían en forma empírica mediante el avance de las labores, sin haber tenido un estudio previo, ignorando su resistencia máxima de la roca basándose en Nina (2017) en los trabajos de labores subterráneas se deben realizar estudios geomecánicos, recolectando datos esenciales para diferentes estudios, especialmente la estabilidad.
- Los resultados obtenidos de las tablas para el tipo de sostenimiento adecuado por cada método geomecánico son de múltiples opciones confirmándose su estabilidad según Cabelo (2018) los estudios geomecánicos sirven de guía para el uso de caída y seguridad en el trabajo de minería.
- Cabe resaltar que para la propuesta de sostenimiento se debe tener en cuenta el tiempo de sostenimiento de los materiales y el factor económico. Al referirse del primer factor, esto depende de la calidad del producto y la compresión que este puede aguantar como lo afirma Cabelo (2018) con respecto al segundo, el factor económico dependerá de la empresa quien dará la aceptación de que soporte podemos poner como lo afirma Cabelo (2018) sin embargo, se hace inca pie que los resultados no determinan el tiempo de sostenimiento.
- Los resultados obtenidos del análisis geomecánico nos confirman que las labores en donde trabajan son completamente inestable por las dimensiones, grado de fracturamiento por metro lineal que presenta y la orientación que presenta el macizo rocoso logrando ser desfavorable al avance de las labores según Mohanraj (2018) las alteraciones de las rocas tienen mucha influencia en el estrés, deformaciones y orientación del macizo rocoso, desfavoreciendo en su acto sostenimiento haciendo así que sea inestables las labores.

## V. CONCLUSIONES:

- Se concluye que el análisis geomecánico, permitió determinar, el grado de estabilidad de las labores, determinando, que las labores son inestables para los diferentes tipos de trabajos que se puedan realizar.
- Los análisis de laboratorio realizados para este estudio permitieron determinar el grado de resistencia máxima de las rocas y el tipo de roca que se encuentra en las labores.
- Se concluye que los diferentes tipos de sostenimientos que se proponen son múltiples, por los resultados obtenidos en el análisis geomecánico.
- El factor de seguridad de las labores es inestable por los resultados obtenidos, las labores no son seguras para cualquier tipo de trabajo que se quiera realizar.
- El tipo de roca que se encuentra en las labores de la empresa minera Santa Clotilde 7 es roca regular de clase III con una valorización de 60-41.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar los tipos de sostenimientos recomendados en la investigación, para evitar así desprendimientos del macizo rocoso y evitar desastres.
- Se recomienda usar el tipo de sostenimiento de madera, especialmente los cuadros cojos, por los dimensionamientos que presentan las labores, los factores importantes por lo que se recomienda este tipo de sostenimiento, es por ser más económicos, y por el crujir de la madera cuando las labores están por colapsar, dando tiempo para la evacuación.
- Se recomienda hacer más estudios geomecánicos al profundizar más las labores.
- Se recomienda ampliar las labores para una mejor extracción, en caso se ampliará, es recomendable usar cuadros rectos de madera.
- Se recomienda usar puntales de madera en las zonas más afectadas, o en zonas en donde presenten cuñas o bloques de rocas.

## REFERENCIAS

AQUINO, José. Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la unidad de producción Orcopampa - Mina Chipmo, para determinar un método de minado alternativo para la explotación en vetas angostas. Tesis (ingeniero geólogo). Lima: Universidad nacional de ingeniería, 2018. Disponible en <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/16410>

BARTON, n. (1988). Rock Mass Classification and Tunnel Reinforcement Selection Using the Q-System. In Rock Classification System for Engineering Purposes. American Society for Testing and Materials.

BARTON, n. y LIEN, r. engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. In Rock MEchanics [en línea]. vol 6. Estados unidos 1974 [fecha de consulta: 20 de mayo 2019]. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01239496>

Bieniawski, z. Engineering Classification of Jointed Rock Masses. In Transations of the South African Institution of civil engineering [en línea] Vol. 15. South african 1973 [fecha de consulta: 20 de mayo 2019]. disponible en <https://trid.trb.org/view/133062>

Cálculo de estabilidad de frente en túneles [mensaje en un blog]. Madrid (20 de octubre de 2016). [fecha de consulta 25 de mayo 2019]. Recuperado de <https://blog.structuralia.com/calculo-de-estabilidad-de-frente-en-tuneles>

CABELLO, Oscar. Guía de criterios geomecánicos en minería subterránea como herramienta para la prevención de accidentes fatales por caída de roca. Tesis (magister en regulación, gestión y economía minera). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13029>

CAMACHO, Orlando. Aplicación de la clasificación geomecánica para mejorar el rendimiento de la voladura en la empresa minera Catalina Huanca S.A.C. Tesis (Pregrado). Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2017. Disponible en <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2483>

Revista científica de la tierra [en línea]. Colombia: UNCC, 2013 [fecha de consulta: 15 de mayo del 2019]. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/bcdt/n34/n34a05.pdf>

CCORAHUA, Blas. LA GEOMECHANICA EN EL SOSTENIMIENTO EN LA MINA RICOTONA LAMBRAMA 2016. Tesis (INGENIERO DE MINAS). Apurimac: UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS, 2016. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/299852194/GEOMECHANICA-APLICADA-PARA-EL-SOSTENIMIENTO-DE-LA-MINA-RICOTONA-pdf>

CRUZADO, Paul. evaluación geomecánica del túnel de la central hidroeléctrica potrero-SAN MARCOS - CAJAMARCA. Tesis (INGENIERO GEÓLOGO). Cajamarca: Universidad nacional de cajamarca, 2017. Disponible en <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1420>

DEPAZ, Lizeth y CACERES, Carlos. Geomecánica aplicada al diseño de malla de perforación de la Ga - 475e del nivel 2050 en la unidad Alpacay, Mysac año 2016. Tesis (Pregrado). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de-Mayolo, 2018. Disponible en [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2387/T033\\_47924112\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2387/T033_47924112_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

DOMÍNGUEZ, Omar. Aplicación de la geomecánica en formaciones litoarenita en el campo Furbero. Tesis (Maestría). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2012. Disponible en <http://132.248.9.195/ptd2012/junio/0680942/Index.html>

FABIAN, Edwin. y GUERRERO, Jhoel. Aplicación de la geomecánica en los frentes de avances de carbón para prevenir accidentes por desprendimientos de rocas en la cía. Minera Reyna cristina – Áncash. Tesis (Pregrado). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2017. Disponible en <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/1069/TP%20%20UNH%20MIN.%2000076.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FERNÁNDEZ, Gloria. Aplicación de la geomecánica en un pozo marino de la Región Norte del Golfo de México. Tesis (Maestría). México: Universidad Nacional

Autónoma de México, 2013. Disponible en <http://132.248.9.195/ptd2013/abril/0691667/Index.html>

FISCHER, k AND HENK, a (2013) A WORKFLOW FOR BUILDING AND CALIBRATING 3-D GEOMECHANICAL MODELS-A CASE STUDY FOR A GAS RESERVOIR IN THE NORT GERMAN BASIN. Alemania: s.s., 2013 de octubre de 2013, Solid Earth

FISCHER, k. & HENK, a. (2013, octubre 2013). A workflow for building and calibrating 3-D geomechanical models- a case study for a gas reservoir in the Nort German Basin. Solid Earth. Retrieved octubre 10, 2018, from <https://www.solid-earth.net/4/347/2013/se-4-347-2013.pdf>

GARRET, Anderson. CREATING A GEOMECHANICS LAB COURSE FOR THE MINING AND GEOLOGICAL ENGINEERING DEPARTMENT AT THE UNIVERSITY OF ARIZONA. Tesis (Bachiller). Arizona: UNIVERSITY OF ARIZONA, 2018. Disponible en <https://repository.arizona.edu/handle/10150/630370>

GUERRERO, Cesar. Geomecánica para la selección del método de explotación de la veta almiranta de la compañía minera quiruvilca SA - 2017. Tesis (ingeniero de minas). Ancash: universidad nacional santiago antúnez de mayolo, 2017. Disponible en <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2027>

MIRANDA, Francisco. Determinación de las condiciones de éxito de la ingeniería básica de un proyecto de explotación minera subteránea. Tesis (ingeniero civil de minas). Santiago: Universidad de Chile, 2018. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152167/Determinaci%C3%B3n-de-las-condiciones-de-%C3%A9xito-de-laingenier%C3%ADab%C3%A1sica-de-un-proyecto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GARRETT, Anderson. CREATING A GEOMECHANICS LAB COURSE FOR THE MINING AND GEOLOGICAL ENGINEERING DEPARTMENT AT THE UNIVERSITY OF ARIZONA. Tesis (Licenciatura). Arizona: The University of Arizona, 2019. Disponible en [https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/630370/azu\\_etd\\_hr\\_2018\\_0007\\_sip1\\_m.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/630370/azu_etd_hr_2018_0007_sip1_m.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

KERRY, Leith. Stress development and geomechanical controls on the geomorphic evolution of alpine valleys. Tesis (Doctoral). Citizen: ETH zurich, 2012. Disponible en <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/64665>

LIZA, Shugar. Geomecánica aplicada para mejorar la estabilidad de las labores mineras subterráneas de la unidad Alpacay de minera Yanaquihua S.A.C. Tesis (Pregrado). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2017. Disponible en [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2242/T033\\_46510964\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2242/T033_46510964_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

LLUMIQUINGA, Katherine y Ponce, Marlon. Análisis geomecánicos de Bloque N°1 de explotación de la sociedad de producción Minera Jerusalém, distrito de Ponce Enriquez. Tesis (Ingeniería en Geología). Quito: Universidad central del Ecuador, 2018. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16957>

MAURICIO, Nelson. Mejoramiento de la producción en tajo mediante la optimización de las operaciones de perforación y voladura en la veta Milagros PEC nivel 2360 de la mina de la Compañía Consorcio Minero Horizonte S.A. - 2016. Tesis (Pregrado). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2016. Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5345/Mauricio%20Laguna%20Nelson%20Jenry.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MENDEIETA, Luis. Optimización de los costos operativos en la unidad cerro chico. Tesis (Pregrado). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014. Disponible en [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5946/MENDEIETA\\_LUIS\\_OPTIMIZACION\\_DE\\_LOS\\_COSTOS\\_OPERATIVOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5946/MENDEIETA_LUIS_OPTIMIZACION_DE_LOS_COSTOS_OPERATIVOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

MOHAMMAD, khajeh. Heterogeneity Consideration and Upscaling of Elastic Properties in Coupled Geomechanical Flow Simulation of SAGD. Tesis (Doctorado). Alberta: University of Alberta, 2013. Disponible en <https://era.library.ualberta.ca/items/88b27ec7362a49d78515457d15fe8adc/download/d616d59a-4847-4a39-98d9-862712507949>

NINA, Gilmer. EVALUACIÓN GEOMECÁNICA Y ESTABILIDAD DE LABORES EN EL PROYECTO SAN GABRIEL CIA DE NINA

BUENAVENTURA. Tesis (ingeniero de minas). Puno: Universidad nacional del altiplano, 2017. Disponible en <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8179>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas [en línea]. 1.a ed. Perú: Inversiones IAKOB S.A.C, 2017 [fecha de consulta: 10 de noviembre 2018]. Disponible en [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf)

PENGYU, Yang. Investigation of the geomechanical behavior of mine backfill and its interaction with rock walls and barricades. Tesis (Doctoral). Montréal: Université de Montréal, 2016. Disponible en [https://publications.polymtl.ca/2388/1/2016\\_PengyuYang.pdf](https://publications.polymtl.ca/2388/1/2016_PengyuYang.pdf)

POLO, Rober. Evaluación del método de explotación y control de la altura de minado según las condiciones geomecánicas de la veta Daniela en la empresa especializada Comiluz SAC de Marsa. Tesis (Ingeniero de minas). Trujillo: Universidad nacional de trujillo, 2017. Disponible en <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9571>

Definicion de ciencias [Mensaje de un blog]. En línea: Perez, J y Merino, M (2015). [Fecha de consulta: 9 de octubre de 2018]. Recuperado de <https://definicion.de/matematicas/>: <https://definicion.de/matematicas/>

QUINT, Jim & HUAMANYALLI, Robeli. Análisis geomecánico para la selección óptima del método de explotación de la veta almiranta – zona profundización de la mina Quiruvilca – sociedad minera Quiruvilca inversiones s.a. – la libertad. Tesis (Pregrado). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2017. Disponible en <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/1093/TP%20%20UNH%20MINAS%200025.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

QUISPE, Kenlly. Evaluación geomecánica para la elección del tipo de sostenimiento en el túnel Yauricocha del NV. 720, Sociedad Minera Corona S.A. Tesis (Pregrado). Huancayo: Universidad Continental, 2018. Disponible en <http://repositorio.continental.edu.pe/handle/continental/4685>

RETO, Thony. Geomechanical analysis of excavation-induced rock mass behavior of faulted opalinus clay at the Mont Terri underground rock laboratory (Switzerland). Tesis (Doctoral). Zúrich: Instituto geológico, Suiza, 2014. Disponible en <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/154612>

RINALDI, Antonio; Rutqvist, Jonny y Cappa, Frédéric. GEOMECHANICAL EFFECTS ON CO<sub>2</sub> LEAKAGE THROUGH FAULT ZONES DURING LARGE-SCALE UNDERGROUND INJECTION. California: Universidad de California, 2017. Disponible en <https://cloudfront.escholarship.org/dist/prd/content/qt0sz350mr/qt0sz350mr.pdf?t=n3oent>

RODRÍGUEZ, José. Evaluación geomecánica para el diseño de pozos. Tesis (Pregrado). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2013. Disponible en <http://132.248.9.195/ptd2013/mayo/0693172/Index.html>

SAENZ, Alan. Análisis para estabilidad de taludos en roca utilizando mallas galvanizadas ancladas, ciudad nueva Fuerabamba Apurimac. Tesis (Ingeniero civil). Huancayo: Universidad nacional del centro del Perú, 2017. Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3874>

SALVADOR, Garrinson. Geomecánica aplicada en el diseño de minado por el método Sub Nivel Detención para cuerpos mineralizados irregulares de la unidad minera cerro Lindo - Milpo. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2017. Disponible en <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/12591>

SORIA, Joseph. Evaluación de diseño geotécnico geomecánico para el dimensionamiento de sostenimiento de un túnel vial en el distrito de Amarilis-ciudad de Huánuco. Tesis (Ingeniero geólogo). Lima: Universidad nacional de ingeniería, 2018. Disponible en <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/17131>

TORRE, Edwin. Sistema de carguío para la voladura eficiente en el pique 2000 (-), nivel 18, zona esperanza en la compañía Minera Casapalca SA. Tesis (Ingeniero de minas). Huancayo: Universidad nacional del centro del Perú, 2015. Disponible en <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3857>

WANG, Cong. A multi-scale, multi-continuum and multi-physics model to simulate coupled fluid flow and geomechanics in shale gas reservoirs. Tesis (Doctorado).

Colorado: Colorado School of Mines, 2018. Disponible en <https://hdl.handle.net/11124/172133>

YEDRA, Misahel. Geomecánica aplicada a la simulación numérica de yacimientos. Tesis (Maestro en ingeniería). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2018. Disponibe en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15320/tesis.pdf?sequence=1>

# ANEXOS

Matriz de consistencia

TÍTULO	FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	DISEÑO	TECNICAS
ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA LA ESTABILIDAD EN LOS FRENTES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE LA MINA SANTA CLOTILDE 7 - CHONGOYAPE-LAMBAYEQUE	¿Cómo determinar la estabilidad del macizo rocoso en los frentes de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque?	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	El análisis geomecánico permitirá determinar la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque.	Según la naturaleza de investigación, los objetivos formulados y la hipótesis planteada, el tipo de investigación es cuantitativa con el diseño no experimental descriptivo transversal	En la presente investigación las técnicas de recolección de datos son:  c) Guía de observación d) Análisis documental.
		<b>OBJETIVO ESPECIFICO</b>			
		Analizar las características y resistencia de la roca mediante ensayos de laboratorio.  Proponer el tipo de sostenimiento conveniente para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7.  Especificar el factor de seguridad en las labores mineras.			

## GUÍA DE OBSERVACIÓN N°01

“Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina santa Clotilde 7 – Chongoyape – Lambayeque”

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CHICLAYO 2018

Tabla N 1: Ensayo de carga puntual y propiedades físicas de las rocas

Ubicación	Muestra	Resistencia a la compresión MPa	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
D	M1		
D	M2		
D	M3		
D	M4		
R1	Roca débil	(1.0 – 2.0 MPa)	
R2	Roca media	(2.0 – 4.0 MPa)	
R3	Roca dura	(4.0 – 10.0 MPa)	
R4	Roca muy dura	(10.0 MPa)	

GUÍA DE OBSERVACIÓN N°02

“Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina santa Clotilde 7 – Chongoyape – Lambayeque”

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CHICLAYO 2018

Tabla N 2: Ensayo de compresión uniaxial y propiedades físicas de las rocas

Ubicación	Muestra	Resistencia a la compresión MPA	Carga máxima	Densidad (g/cm3)
P	M1			
P	M2			
P	M3			
P	M4			
RESISTENCIA A LA COMPRESION UNIAXIAL (MPA)	<1 MPA			
	1 – 5 MPA			
	5 – 25 MPA			
	25- 50 MPA			
	50- 100 MPA			
	100 – 250 MPA			
	>250 MPA			

“Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina santa Clotilde 7 – Chongoyape – Lambayeque”

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CHICLAYO 2018

GUÍA DE OBSERVACIÓN N°03

RMR (Rock mass rating ) Según Bieniawski-1989

Permitir hacer una clasificación del macizo rocoso in-situ, y estimar los 5 parámetros que son: la resistencia de la roca inalterada, el RQD, espaciamiento entre diaclasas, y condiciones del agua subterránea.

*Tabla N 3: Clasificación geomecánica - índice “RMR” (Según Bieniawski - 1989*

Parámetros de Clasificación									
1	Resistencia de la roca intacta (MPa)	Índice de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	No se usa; es preferible emplear UCS		
		Resistencia a la compresión uniaxial	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Valuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		>90	90-75	75-50	50-25	<25		
	Valuación		20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento entre discontinuidades (m)		>2.00	2.00-0.60	0.60-0.20	0.20-0.06	<0.06		
	Valuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20		
		Valuación		6	4	2	1	0	

		Abertura (mm)	Cerrada	<0.1	0.1-1.0	1.0-5.0	>5.0
		Valuación	6	5	4	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Lustrosa
		Valuación	6	5	3	1	0
		Relleno	Sin relleno	Relleno duro (<5mm)	Relleno duro (>5mm)	Relleno blando (<5mm)	Relleno blando (>5mm)
		Valuación	6	4	2	2	0
		Descomposición	Fresca	Levemente descompuesta	Moder. descompuesta	Altamente descompuesta	Extrem. descompuesta
		Valuación	6	5	3	1	0
5	Agua freática	Caudal por 10m de excavación (lt/min)	0	0-10	10-25	25-125	>125

	Presión de agua/Esfuerzo principal mayor $\sigma$	0.0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Condición general	Completamente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
	Valuación	15	10	7	4	0

Calificación					
Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Regular	Pobre	Muy pobre
Valuación	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	$\leq 20$

“Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina santa Clotilde 7 – Chongoyape – Lambayeque”

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CHICLAYO 2018

GUÍA DE OBSERVACIÓN N°04

Sistema Q (Q de Barton) Según Barton-1974

**OBJETIVO**

El objetivo de Q de Barton es estimar la fortificación de las construcciones de los túneles en función de los índices de la calidad geotecnia, definida como:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Tabla N 4: Clasificación geomecánica- índice Q (según Barton - 1974)

Índice de Calidad de roca	RQD	Observaciones
A.- Muy mala	0 – 25	1.- cuando RQD 10, incluyendo cero; se puede utilizar el valor 10 para el RQD. 2.- Intervalos de 5 para RQD, ó sea 100, 95, 90 son precisos.
B.- Mala	25 – 50	
C.- Regular	50 – 75	
D.- Buena	75 – 90	
E.- Excelente	90 – 100	
Número de Familias	Jn	Observaciones
A.- Masivo, sin o con pocas juntas	0.5 - 1	1.- Para cruces en túneles utilizar (3 x Jn)  2.- Para Portales utilizar (2 x Jn)
B.- Una familia de juntas	2	
C.- Una familia y algunas juntas ocasionales	3	
D.- Dos familias de juntas	4	
E.- Dos familias y algunas juntas	6	
F.- Tres familias de juntas	9	
G.-Tres familias y algunas juntas	12	
H.-Cuatro familias o más, roca muy fracturada, Terrones de azúcar	15	
I.- Roca triturada terrosa	20	
Número de rugosidad de las Juntas	Jr	Observaciones

- Contacto entre las dos caras de la junta	5	<p>1.- Se añade 1.0 si el espaciamiento medio juntas es mayor de 3 m.</p> <p>2.- <math>J_r = 0.5</math> se puede usar Para juntas de fricción Planas y que tengan alineaciones orientadas para resistencia mínima.</p>
- Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento lateral 10 cm		
A.- Juntas discontinuas	4	
B.- Junta rugosa o irregular ondulada	3	
C.- suave ondulada	2	
D.- Espejo de falla, ondulada	1.5	
E.- Rugosa o irregulares plana	1.5	
F.- Suave plana	1.0	
G.- Espejo de falla o superficie de fricción plana.	0.5	
- Sin contacto entre las dos caras de la Junta desplazados lateralmente		
H.- Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras.	1	
I.- Zona arenosa de grava o roca triturada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta.	1	

Número de alteración de las juntas	Ja	$\phi_r$ (aprox.)	Observación
Contacto entre las dos caras de la junta.			<p>1.- Los valores de <math>\phi_r</math> de el ángulo de fricción re-</p>
A.- Junta sellada, dura, sin reblandamiento relleno impermeable, ej. Cuarzo.	0.75		
B.- Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25° - 35°	
C.- Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblan-decibles, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25° - 30°	
D.- Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible.	3	20° - 25°	
E.- Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, ej. Caolinita,			

mica, clorita, talco, y pequeñas cantidades de arcillas expansivas, los recubrimientos son discontinuos con espesores de 162 mm	4	8º - 16º	sidual, se indican como guía aproximada de las propiedades minera- lógicas de los productos de la alteración si es que están presentes.
- Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento lateral.			
F.- Partículas de arena, roca desintegrada, libre de arcilla.	4	25º - 30º	
G.- Fuertemente sobreconsolidados, rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm. de espesor.	6	16º - 24º	
H.- Sobreconsolidación media a baja, reblandecimiento, relleno de mineral arcilloso. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm. de espesor.	8	8º - 16º	
I.- Relleno de arcillas expansivas ej. Montmorillonita, de espesor continuo de 5mm. El Valor Ja depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8 - 12	6º - 12º	
- No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando esta es cizallada.			
J.- Zonas o bandas de roca desintegrada o machacada y arcilla.	6 - 8 ó 8 - 12	6º - 24º	
K.- Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla sin reblandecimiento.	5	6º - 24º	
L.- Zonas o capas gruesas de arcilla.	10 - 13 13 - 20	6º - 24º	

Factor de reducción por presencia de agua en las juntas.	Jw	Presión agua Kg/cm <sup>2</sup>	Observaciones
A.- Excavaciones secas o de fluencia poco importante, menos de 5 l/min. Localmente.	1	< 1	1.- Los factores de C a E, son estimaciones aproximadas

B.- Fluencia o presión media, ocasional			
lavado de los rellenos de las juntas.	0.66	1 - 2.5	aumenta $J_w$ si se instalan drenes.
C.- Fluencia grande o presión alta, con-			
siderable lavado de los rellenos de las juntas.	0.33	2.5 - 10	2.- Los problemas especiales causados por la presencia
D.- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas con las voladuras			de hielo no se toman en
disminuyendo con el tiempo.	0.1 - 0.2	> 10	consideración.
E.- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05 - 0.1	> 10	

Factor de Reducción de esfuerzos	SRF	Observaciones
Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.		
A.- Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad).	10	1.- Redúzcanse estos valores SRF de 25%-50% si las zonas de fractura solo se interceptan, pero no cruzan la excavación.
B.- Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m.).	5	2.- Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotropico, medidas: cuando $5 < d_1/d_3 < 10$ , redúzcase:
C.- Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m.).	2.5	a 0.8 la $d_c$ y el $d_t$ .
D.- Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).	7.5	Cuando $d_1$ y $d_3 > 10$ , redúzcase: a 0.6 la $d_c$ y el $d_t$ .
E.- Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m.).	5	donde: $d_c$ = Resistencia Compresiva. $d_t$ = Esfuerzo a la tracción $d_1$ = Esfuerzo Principal Mayor.

F.- Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación mayor de 50 m.).	2.5	d3 = Esfuerzo Principal Menor.
G.- Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad).	5	

Factor de Reducción de esfuerzos	dc / d1	dt / d1	SRF	Observaciones
- Roca Competente, problemas de esfuerzos.				3.- Hay pocos casos reportados donde el techo debajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere Que el SRF sea aumentado de 2.5 a 5 para estos casos, ver H
H.- Esfuerzo bajo, cerca de la superficie.	> 200	> 13	2.5	
I.- Esfuerzo medio.	200-10	13-0.66	1.0	
J.- Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (generalmente favorable para la estabilidad. Pude ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales.	10-5	0.66-0.33	0.5-2	
K.- Desprendimiento moderado de la roca masiva.	5-2.5	0.33-0.16	05-10	
L.- Desprendimiento intenso de la roca masiva.	< 2.5	< 0.16	10-20	
- Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostaticas.				
M.- Presión de flujo moderado.			5-10	
N.- Presión de Flujo Intenso.			10-20	

- Roca expansiva, actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.			
O.- Presión de expansión Moderado.			5-10
P.- Presión de expansión Intensa.			10-15

“Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina santa Clotilde 7 – Chongoyape – Lambayeque”

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CHICLAYO 2018

GUÍA DE OBSERVACIÓN N°05

RQD

Tabla N 5: RQD

Ecuación de palmstrom			Ecuación de Priest y Hudson		
Relación jv y RQD	RQD=115-3.3*Jv		Relación	$RQD = 100x_e^{-0.1\lambda}_{(1+0.01\lambda)}$	
Jv	RQD	RQD redondeado	$\lambda$	RQD	RQD recomendado
			1	99.5	100
			2	98.2	100
			3	96.3	95
4	101.8	100	4	93.8	95
5	98.5	100	5	91	90
6	95.2	95	6	87.8	90
7	91.9	90	7	84.4	85
8	88.6	90	8	80.9	80
9	85.3	85	9	77.2	80
10	82	80	10	73.6	75
11	78.7	80	11	69.9	70
12	75.4	75	12	66.3	65
13	72.1	70	13	62.7	65
14	68.8	70	14	59.2	60
15	65.5	65	15	55.8	55
16	62.2	60	16	52.5	50
17	58.9	60	17	49.3	50
18	55.6	55	18	46.3	54
19	52.3	50	19	43.4	54
20	49	50	20	40.6	40
21	45.7	45	21	38	40

22	42.4	40	22	35.5	35
23	39.1	40	23	33.1	35
24	35.8	35	24	30.8	30
25	32.5	30	25	28.7	30
26	29.2	30	26	26.7	25
27	25.9	25	27	24.9	25
28	22.6	25	28	23.1	25
Número de discontinuidades por unidad volumétrica (m3)			Número de discontinuidades por m lineal		

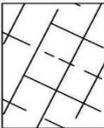
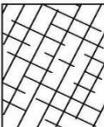
“Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina santa Clotilde 7 – Chongoyape – Lambayeque”

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CHICLAYO 2018

GUÍA DE OBSERVACIÓN N°06

GSI

<p>ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA "GSI"</p> <p>A partir de los códigos de caracterización que describen las condiciones estructural y superficial de la masa rocosa, escoger la casilla que le corresponde en esta tabla. Estimar el valor promedio del Índice de Resistencia Geológica "GSI" desde los contornos.</p>		CONDICIÓN SUPERFICIAL O DE DISCONTINUIDADES.				
CONDICIÓN ESTRUCTURAL.		MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA). SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS, INALTERADAS, CERRADAS (Rc > 250 MPa).	BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE DESCOMPUESTA). SUPERFICIES RUGOSAS, LEVEMENTE ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACIÓN, LIGERAMENTE ABIERTAS (Rc 100 ~ 250 MPa).	REGULAR (RESISTENCIA REGULAR, DESCOMPUESTA). SUPERFICIES LISAS, ALTERADAS A MODERADAMENTE ALTERADAS, LIGERAMENTE ABIERTAS (Rc 50 ~ 100 MPa).	POBRE (SUAVE, ALTAMENTE DESCOMPUESTA). SUPERFICIES ESTRÍADAS, ALTAMENTE ALTERADAS, CON RELLENOS O RECUBRIMIENTOS COMPACTOS CONTENIENDO FRAGMENTOS ANGULARES DE ROCA, MUY ABIERTAS (Rc 25 ~ 50 MPa).	MUY POBRE (MUY SUAVE, EXTREMADAMENTE DESCOMPUESTA). SUPERFICIES ESTRÍADAS, ALTAMENTE ALTERADAS, CON RELLENOS O RECUBRIMIENTOS SUAVES DE ARCILLAS, MUY ABIERTAS (Rc < 25 MPa).
 <p>LEVEMENTE FRACTURADA. MENOS DE TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES, MUY ESPACIADAS ENTRE SÍ (RQD 75 % ~ 90 %, donde RQD = 115 - 3.3 x Jn).</p>	85	80	75			
 <p>FRACTURADA. MASA ROCOSA MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, CONSISTENTE DE BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES, SIN FINOS (RQD 50 % ~ 75 %).</p>		70	65	60		
 <p>MUY FRACTURADA. MASA ROCOSA TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, CON MÚLTIPLES BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES, CON UNA MUY BAJA PROPORCIÓN DE FINOS (RQD 25 % ~ 50 %).</p>			55	50	45	40
 <p>INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERSECTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS, CON UNA BAJA PROPORCIÓN DE FINOS (RQD 10 % ~ 25 %).</p>				35	30	25
 <p>TRITURADA O BRECHADA. MASA ROCOSA POBREMENTE TRABADA, EXTREMADAMENTE QUEBRADA, CON UNA COMBINACIÓN DE FRAGMENTOS ANGULOSOS Y REDONDEADOS, CON UNA PROPORCIÓN CADA VEZ MAYOR DE FINOS (SIN RQD).</p>					20	15
						10
						5

JALP - 2007

“Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina santa Clotilde 7 – Chongoyape – Lambayeque”

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

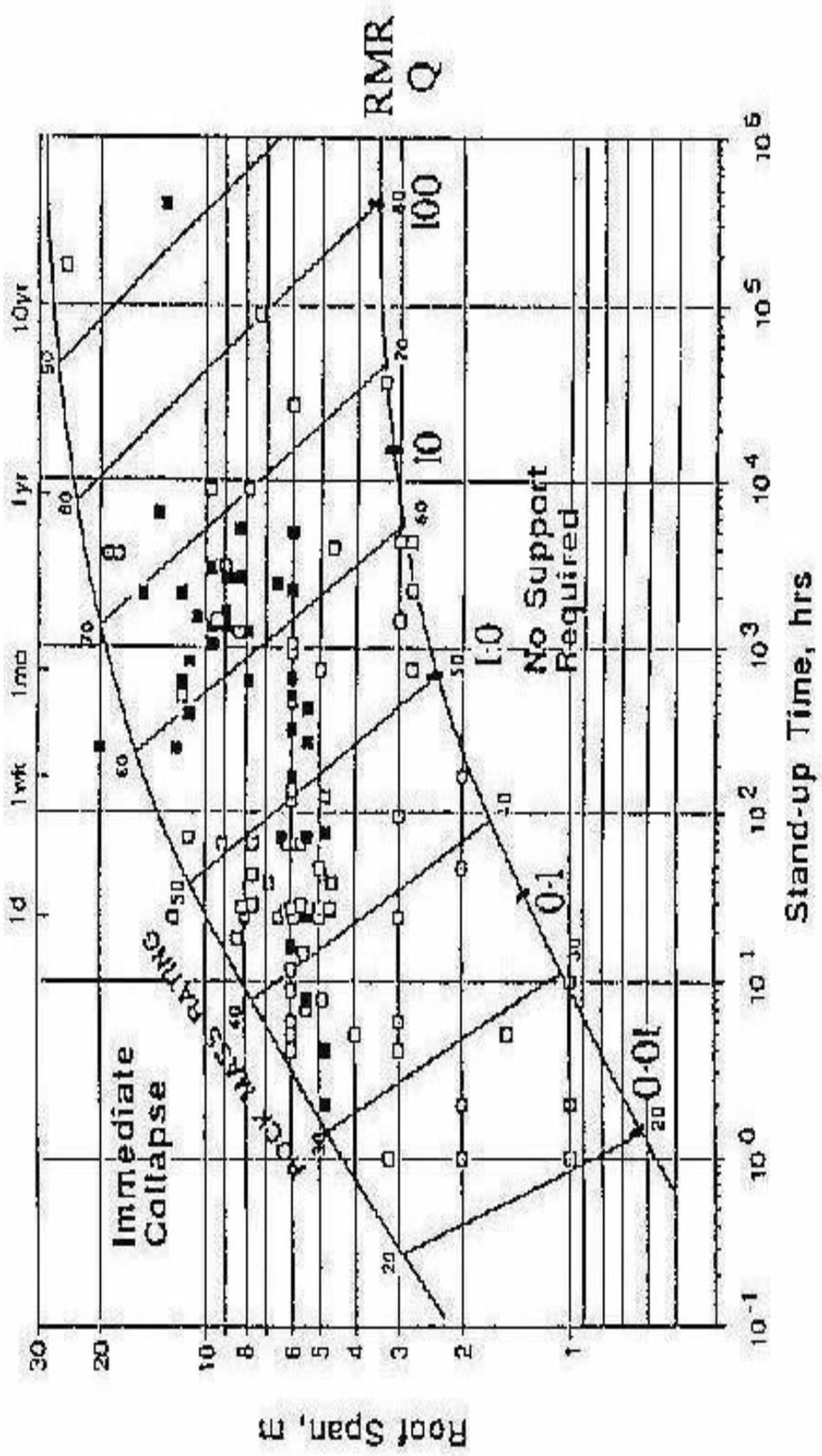
CHICLAYO 2018

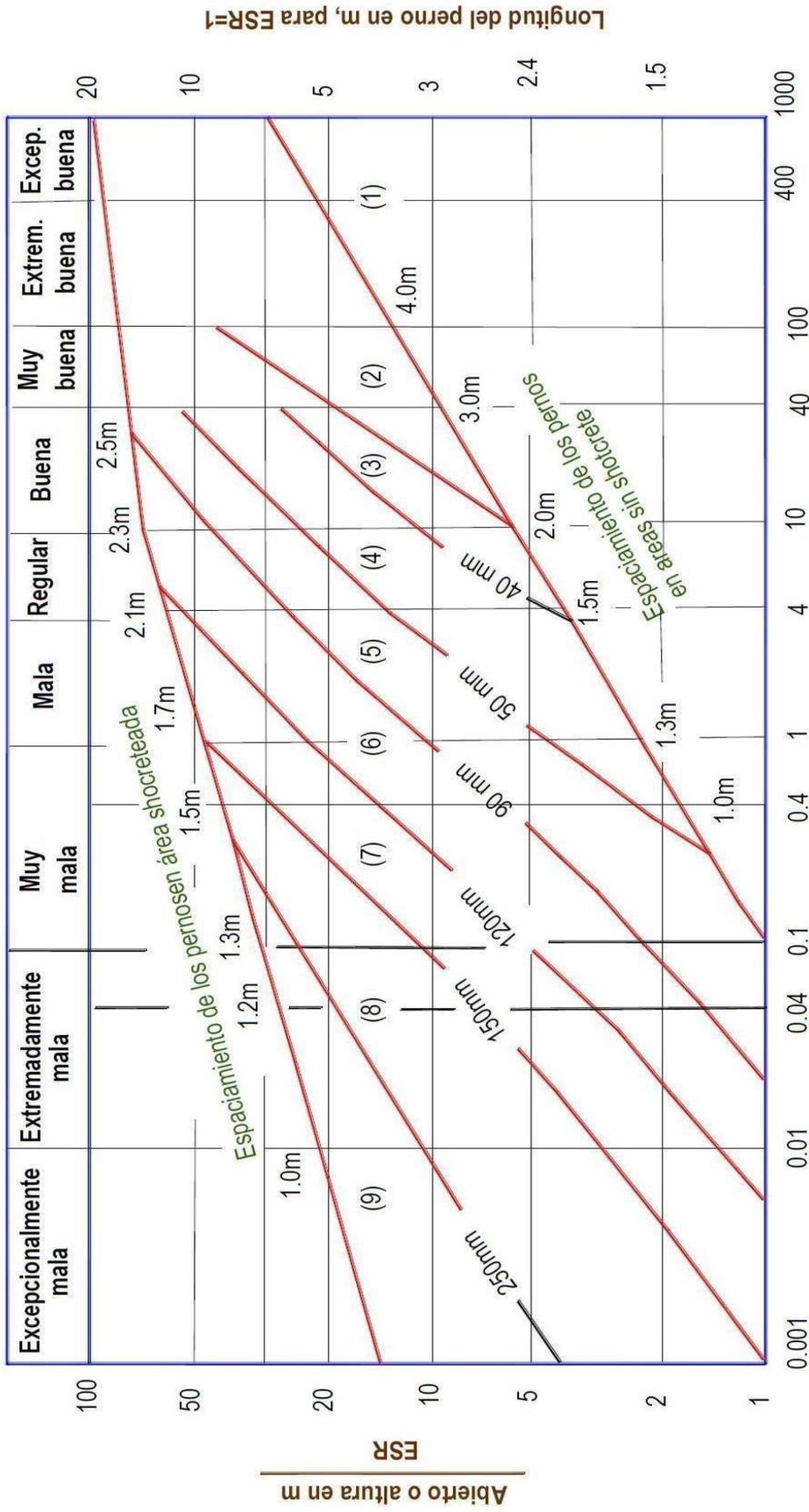
GUÍA DE OBSERVACIÓN N°07

Sostenimiento

RUMBO PERPENDICULAR AL EJE DE LA EXCAVACIÓN	AVANCE CON EL BUZAMIENTO	BUZ. 45° - 90°	MUY FAVORABLE
		BUZ. 20° - 45°	FAVORABLE
		BUZ. 45° - 90°	REGULAR
	AVANCE CONTRA EL BUZAMIENTO	BUZ. 45° - 90°	MUY DESFAVORABLE
		BUZ. 20° - 45°	REGULAR
		BUZ. 20° - 45°	DESFAVORABLE
RUMBO PARALELO AL EJE DE LA EXCAVACIÓN	BUZ. 45° - 90°	MUY DESFAVORABLE	
	BUZ. 20° - 45°	REGULAR	
	BUZ. 20° - 45°	DESFAVORABLE	
BUZAMIENTO <math>C</math> 20°			DESFAVORABLE

TIEMPOS DE AUTOSOPORTE (T. A. S.)



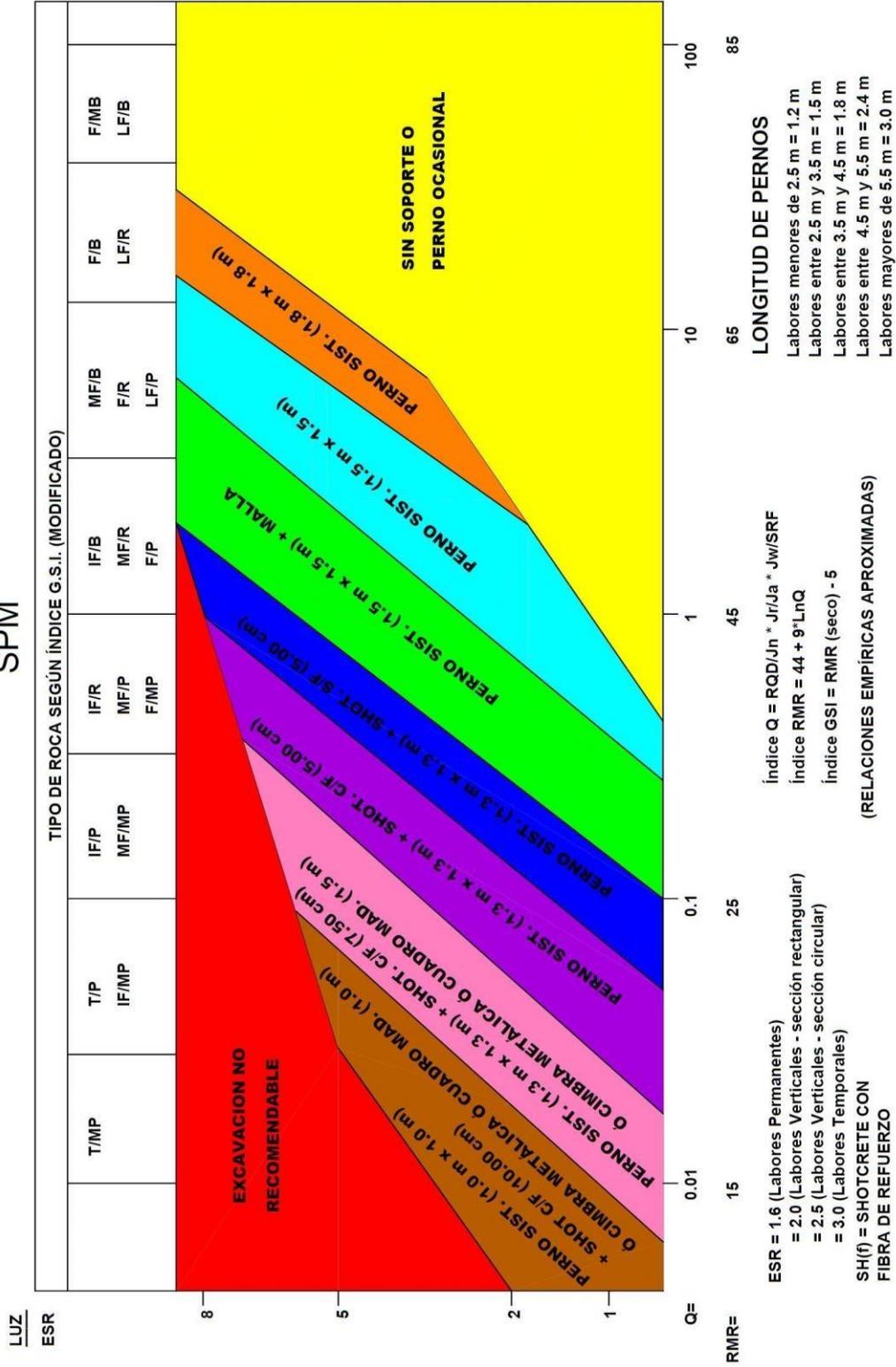


$$\text{Calidad de la masa rocosa } Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{J_a} \times \frac{SRF}{SRF}$$

**CATEGORÍAS DE REFORZAMIENTO**

- 1) Sin sostenimiento
- 2) Pernos esporádicos
- 3) Pernos sistemáticos
- 4) Pernos sistemáticos con shotcrete sin refuerzo, de 40 - 100 mm de espesor
- 5) Shotcrete reforzado con fibras, 50 - 90 mm y pernos
- 6) Shotcrete reforzado con fibras, 90 - 120 mm y pernos
- 5) Shotcrete reforzado con fibras, 120 - 150 mm y pernos
- 5) Shotcrete reforzado con fibras, > 150 mm, con arcos de acero (cerchas) reforzados con shotcrete y pernos
- 9) Revestimiento de concreto armado

# DISEÑO DE SOSTENIMIENTO EN LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS SPM



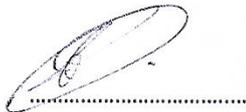
### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los docentes y especialistas que suscriben los documentos son: SICCHA RUIZ, Orlando Alex con DNI 18026960 de la especialidad de: Magister en Ingeniería de Minas, ALVARADO CASTILLO, Wilder Angel con DNI: 17531294 de la especialidad de: Estadístico y la docente SALAZAR CABREJOS, Rosa Eliana con DNI 41661370 con la especialidad de: Maestría en docencia universitaria, dan conformidad a los instrumentos de recolección de datos, que a continuación se presentan y que fueron sometidos a una evaluación y validación , con la finalidad de que sean aplicados por los estudiantes responsables: ACOSTA MEDINA, Irwin Edinson y BARÓN CÓNDOR, Hans Evanof en la investigación titulada: ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA LA ESTABILIDAD EN LAS LABORES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE LA MINA SANTA CLOTILDE 7 – CHONGOYAPE - LAMBAYEQUE

Dejamos, evidencia de lo evaluado firmando el presente documento para los fines que sean necesarios.

Chiclayo, 26 de abril de 2019

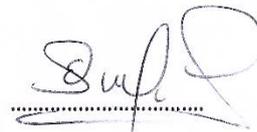
Atentamente,



SICCHA RUIZ,  
Orlando Alex  
DNI: 18026960



ALVARADO CASTILLO,  
Wilder Ángel  
DNI: 17531294



SALAZAR CABREJOS,  
Rosa Eliana  
DNI: 41661370

## Fotografías



*Observación del fracturamiento de la roca.*



*Observación del fracturamiento de la roca*



*Fracturamiento de la roca por la voladura*



*Esfuerzos de la roca sometidos por el dimensionamiento de la labor*



*Falla en el frente de producción*



*Afloramiento de la beta en el frente de desarrollo*



*Extracción de testigos*



*Muestras sometidas a los ensayos*



*Muestras sometidas a ensayo compresión simple*



*Roca en la labor de desarrollo*



*Roca en la labor de producción*



*Extracción de testigos para los ensayos de laboratorio*



*Muestra recolectada de la labor de producción*



*Lecturas geomecánicas en las labores*



*Ensayo de densidades de las rocas*



*Peso de las muestras, para obtener la densidad*

## Validación de recolección de datos de laboratorio

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Aprobación de los resultados geomecánicos obtenidos en la investigación	Laboratorio de mecánica de rocas
--	---	----------------------------------

### Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape -Lambayeque

#### 1. Labor de desarrollo

##### a) Resultados de carga puntual y propiedades físicas de las rocas

Ubicación	Muestra	Resistencia a la compresión MPA	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
D	Mr1-Md1	1.94	2.53
D	Mr2-Md2	2.0	2.67
D	Mr3-Md3	2.18	2.68
D	Mr4-Md4	2.10	2.6

##### b) Resultados del análisis de RQD

Ecuación de Priest y Hudson		
Relación	$RQD = 100x e^{-0.1\lambda(1+0.01\lambda)}$	
$\lambda$	RQD	RQD recomendado
8	80.9	80

  
 Marco A. Cotrina Teatino  
 ING. DE MINAS  
 R. CIP. 130630

##### c) Resultados del RMR

Corrección por orientación de las discontinuidades			
Dirección y buzamiento		Resultado	Valor
Labor subterránea		Desfavorable	-10
1	Resistencia de a roca intacta (mpa)	Resultado	Valor
		1.94	7
2	RQD (%)	80.9	17
3	Espaciado entre discontinuidades	0.45	10
4	Persistencia	5	2
	Abertura	5	4
	Rugosidad	Poco rugoso	4
	Relleno	Duro (<5mm)	4

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Aprobación de los resultados geomecánicos obtenidos en la investigación	Laboratorio de mecánica de rocas
---	---	----------------------------------

	Descomposición	Descompuesto	3
5	Flujo h2o (lt/min)	0	15
	Presión de agua	0	
	Condición general	seca	

Valoración: 60 – 41

Numero de clase: III

Descripción: Roca regular

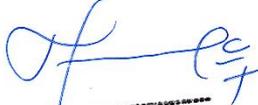
d) Q de Barton

Clasificación rocosa	valor	Leyenda
D- Buena	80.9	Buena
Jn (Número de familias)	4	Dos familias juntas
Jr (rugosidad de juntas)	2	Suave ondulado
Ja (número de alteración de juntas)	3	Pequeñas fracciones con arcilla
Jw (factor agua)	1	Excavaciones secas
SRF (fact. Reducción de esfuerzos)	5	Zona débil (arcillas)

Q de Barton de 2.666667.

e) GSI

Valor de 60, en donde el tipo de roca es regular, teniendo una resistencia (regular y descompuesta), presentando superficies (lisas y alteradas), modernamente abiertas (alteradas, y ligeramente).

  
 Marco A. Cotrina Festino  
 ING. DE MINAS  
 R. CIP. 130530

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Aprobación de los resultados geomecánicos obtenidos en la investigación	Laboratorio de mecánica de rocas
---	---	----------------------------------

2. Labor de producción

a) Resultados de densidad y carga uniaxial:

Ubicación	Muestra	Fuerza de compresión MPA	Carga máxima	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
P	M1	60.35	20.317	2.50
P	M2	67.879	28.571	2.35
P	M3	35.176	76.445	2.40
P	M4	210.965	88.797	2.39

b) Resultados de RQD

Ecuación de Priest y Hudson		
Relación	$RQD = 100x_e^{-0.1\lambda(1+0.01\lambda)}$	
$\lambda$	RQD	RQD recomendado
10	73.6	75

  
 Marco A. Cotrina Teatino  
 ING. DE MINAS  
 V.S. CIP. 130530

c) RESULTADOS RMR

		Resultados	Valor
Orientación		desfavoreció	-10
1	resistencia de la roca	1.94	7
2	RQD (%)	80.9	17
3	Espaciado entre discontinuidades	0.45	10
4	Persistencia	5	2
	Abertura	5	4
	Rugosidad	Poco rugoso	4
	Relleno	Duro (<5mm)	4
	Descomposición	Descompuesto	3
5	Flujo h <sub>2</sub> o (lt/min)	0	15
	Presión de agua	0	
	Condición general	seca	

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	Aprobación de los resultados geomecánicos obtenidos en la investigación	Laboratorio de mecánica de rocas
---	---	----------------------------------

Valoración: 60 – 41

Numero de clase: III

Descripción: Roca regular

d) Resultados Q de Barton

Clasificación rocosa	valor	Leyenda
C- Regular	73.6	Regular
Jn (Número de familias)	9	Tres familias juntas
Jr (rugosidad de juntas)	1.5	Ondulado
Ja (número de alteración de juntas)	2	Partículas sin arcillas
Jw (factor agua)	1	Excavaciones secas
SRF (fact. Reducción de esfuerzos)	5	Zona débil (arcillas)

Q de Barton de 1.25.

e) Resultados GSI

Valor de 55, en donde el tipo de roca es regular, teniendo una resistencia (regular y descompuesta), presenta superficies (lisas y alteradas), moderadamente abiertas (alteradas, y ligeramente).

  
 Marco A. Cotrina Tealino  
 ING. DE MINAS  
 R. CIP. 130530

## ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS</b>	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1
--	--	---

Yo, Silvia Josefina Aguinaga Vásquez, docente de la Facultad de ingeniería y Escuela Profesional de minas de la Universidad César Vallejo Chiclayo, revisor (a) de la tesis titulada “Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque”, del estudiante Acosta Medina Irwin Edinson y Barón Cóndor Hans Evanof, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 10% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

La suscrita analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.



Msc. Silvia Josefina Aguinaga Vásquez

DNI: 16790469

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante del SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	-----------------------	--------	---------------------------------

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

	<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b> UCV	Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 2
--	---	---

Yo Irwin Edinson Acosta Medina identificado con DNI N° 71436082, egresado de la Escuela Profesional de ingeniería de minas de la Universidad César Vallejo, autorizo la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque"; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamento en caso de no autorización:

.....  
 .....  
 .....  
 .....

  
 \_\_\_\_\_  
 FIRMA

DNI: 71436082

FECHA: 22 de octubre del 2019

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	-----------------------------------	--------	---------------------------------

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE          TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b> <b>UCV</b>	Código : F08-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 2 de 2
--	---	---

Yo Hans Evanof Barón Córdor identificado con DNI N° 77159538, egresado de la Escuela Profesional de ingeniería de minas de la Universidad César Vallejo, autorizo la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque"; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamento en caso de no autorización:

.....  
 .....  
 .....  
 .....



FIRMA

DNI: 77159538

FECHA: 22 de octubre del 2019

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección SGC	Aprobó	Vicerrectorado de Investigación
---------	----------------------------	--------	-----------------------------------	--------	---------------------------------

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

E.P. DE INGENIERÍA DE MINAS

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

ACOSTA MEDINA IRWIN EDINSON

INFORME TÍTULADO:

ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA LA ESTABILIDAD EN LAS LABORES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE LA MINA SANTA CLOTILDE 7-CHONGOYAPE-LAMBAYEQUE

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

---

INGENIERO DE MINAS

SUSTENTADO EN FECHA: 5 DE JULIO DE 2019

NOTA O MENCIÓN: APROBADO POR UNANIMIDAD



  
FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

E.P. DE INGENIERÍA DE MINAS

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

BARÓN CÓNDOR HANS EVANOF

INFORME TÍTULADO:

ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA LA ESTABILIDAD EN LAS LABORES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE LA MINA SANTA CLOTILDE 7-CHONGOYAPE-LAMBAYEQUE

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

---

INGENIERO DE MINAS

SUSTENTADO EN FECHA: 5 DE JULIO DE 2019

NOTA O MENCIÓN: APROBADO POR UNANIMIDAD

FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN