



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

“Aplicación de la clasificación geomecánica del Q de Barton para la elección del sostenimiento en mina Santa Clotilde 7- Chongoyape”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE

Ingeniero de Minas

AUTOR:

FRANCO PIERRE CHUYES BENEL (ORCID: 0000-0001-6914-2654)

ASESORA:

MSC. ROSA ELIANA SALAZAR CABREJOS (ORCID: 0000-0002-1144-2037)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

CHICLAYO – PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a mi abuelita Aurea Díaz Díaz quien con su esfuerzo me apoyo durante todo el transcurso de mi carrera profesional confiando siempre en mi persona y dándome los ánimos para continuar esforzándome.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis familiares, profesores y compañeros en especial a Adriana Bautista quien fue parte fundamente para la culminación de la tesis.

PÁGINA DEL JURADO

1012



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 09:00 horas del día 17 de mayo de 2019, de acuerdo a lo dispuesto por la Resolución de Dirección de Investigación N° 0807-2019/UCV-CH, de fecha 14 de mayo, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación de la tesis "APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA SANTA CLOTILDE 7 - CHONGOYAPE.", presentada por: Bach FRANCO PIERRE CHUYES BENEL con la finalidad de obtener el Título de Ingeniero de Minas, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:

- Presidente: Ing. Janyna Jacinta Flores Arrasco
- Secretario: Mgtr. Marco Antonio Cotrina Teatino
- Vocal: Ing. Carla Milagros Mena Nevado

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

Aprobar por Unanimidad.

Siendo las 14:00 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, 17 de mayo de 2019


Ing. Janyna Jacinta Flores Arrasco
Presidente


Mgtr. Marco Antonio Cotrina Teatino
Secretario


Ing. Carla Milagros Mena Nevado
Vocal

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Chuyes Benel Franco Pierre con DNI N° 74869225, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Minas, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presentan en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 17 de Mayo del 2019



Chuyes Benel Franco Pierre

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
PAGINA DEL JURADO.....	iv
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	v
INDICE.....	vi
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Trabajos Previos.....	14
1.3. Teorías Relacionadas al tema.....	19
1.3.1. Ciencias.....	19
1.3.2. Bases Teóricas.....	20
1.3.3. Conceptos.....	21
Macizo Rocoso.....	21
Discontinuidades.....	21
Clasificaciones Geomecánicas.....	24
Correlación entre las Clasificaciones Geomecánicas.....	28
Criterios de Rotura.....	29
Sostenimiento.....	32
Tipos de Sostenimiento.....	35
Ensayos de Laboratorio.....	40
1.3.4. Marco Legal.....	42
1.4. Formulación del problema.....	44
1.5. Justificación del estudio.....	44
1.6. Hipótesis.....	45
1.7. Objetivos.....	45
II. MÉTODO.....	45
2.1. Diseño de la investigación.....	45
2.2. Variables y Operacionalización.....	46
2.2.1. Variables:.....	46
2.2.2. Operacionalización de las variables.....	47
2.2.3. Conceptualización de las variables.....	50
2.3. Población y Muestra.....	51
2.3.1. Población.....	51

2.3.2. Muestra.....	51
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	51
2.4.1. Técnicas de recolección de datos:.....	51
2.4.2. Instrumentos de recolección de datos:.....	51
2.5. Métodos de análisis de datos.....	54
2.5.1. Diagrama de procesos:.....	54
2.5.2. Descripción de los procesos.....	54
2.5.3. Recursos Humanos.....	56
2.5.4. Materiales, Equipos, Instrumentos.....	56
2.6. Aspectos éticos:.....	56
III. RESULTADOS.....	58
Descripción general del área de estudio.....	58
Estado actual del sostenimiento.....	66
Calidad de la roca mediante el índice Q de Barton.....	69
Descripción del macizo rocoso en términos de los esfuerzos a través de los criterios de rotura.....	76
DISCUSIONES.....	83
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	89
ANEXOS.....	93
Tabla 1. <i>Coordenadas geográficas de la concesión en sistema WGS84</i>	94
Tabla 2. <i>Tipos de clasificaciones de roca</i>	94
Tabla 3. <i>Parámetros y puntuaciones de la clasificación RMR</i>	94
Tabla 4. <i>Puntuaciones de RQD para el índice Q de Barton</i>	95
Tabla 5. <i>Puntuaciones de J_n para el índice Q de Barton</i>	96
Tabla 6. <i>Puntuaciones de J_r para el índice Q de Barton</i>	96
Tabla 7. <i>Puntuaciones de J_a para el índice Q de Barton</i>	97
Tabla 8. <i>Puntuaciones de J_w para el índice Q de Barton</i>	98
Tabla 9. <i>Puntuaciones del SRF para el índice Q de Barton</i>	98
Tabla 10. <i>Calidad de la Roca según el índice Q</i>	100
Tabla 11. <i>Estimación en terreno de la Resistencia en Compresión Uniaxial</i>	100
Tabla 12. <i>Parámetros del ESR</i>	101
Figura 1. <i>Plano de ubicación de la mina “Santa Clotilde 7”</i>	102
Figura 2. <i>Condiciones de sostenimiento en la mina “Santa Clotilde 7”</i>	102
Figura 3. <i>GSI modificado por Hoek y Marianos (2000)</i>	103

<i>Figura 6.</i> Abaco de Barton para sostenimiento.....	105
<i>Figura 7.</i> Puntal de madera con sus respectivos componentes	106
<i>Figura 8.</i> Woodpack aplicado como soporte	106
<i>Figura 9.</i> Forma típica de un cuadro de madera	107
<i>Figura 10.</i> Esquema de colocación de los pernos de roca.....	107
<i>Figura 11.</i> Dimensiones requeridas para el ensayo de carga puntual	108
<i>Figura 12.</i> Modos típicos de rotura	108
<i>Figura 13.</i> Abaco de rugosidad propuesto por Barton	109
Ábacos de Barton	109
Figura de Esfuerzos Principales Mayores y Menores	114
Anexo 13. Guía de Reconocimiento de Campo	116
Anexo 14. Guía B	117
Anexo 15. Guía B.0	118
Anexo 16. Guía B.1	119
Anexo 17. Guía B.2	120
Anexo 18. Guía B.3	121
Anexo 19. Guía C	122
Anexo 20. Guía D.....	123
Anexo 21. Guía de Ensayo de Carga Puntual	124
Anexo 22. Guía de Ensayo de Peso Especifico.....	125
Anexo 23. Reconocimiento del Área	126
Plano de Ubicación.....	128
Plano de Geología Regional	129
Plano de Geología Local.....	130
Anexo 24. Evaluacion del estado actual de Sostenimiento	131
Anexo 25. Calculo del Rock Quality Designation	132
Anexo 26. Estaciones Geomecánicas.....	135
Anexo 27. Tablas de Barton	144
Anexo 28. Determinación de Categorías en la Excavacion.....	153
Anexo 29. Determinación del Diámetro Equivalente.....	154
Plano Geomecánico del nivel 370.....	155
Anexo 30. Ensayo de Carga Puntual.....	156
Anexo 31. Determinacion del Índice de Resistencia Geologica.....	157
Anexo 32. Elaboracion del Ensayo de Peso Especifico	158
ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS	159

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV	160
AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	161

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se elaboró en la unidad minera Santa Clotilde 7 durante el periodo de mayo a diciembre del año 2017, entre las ciencias y teorías abordadas encontramos; la mecánica de rocas, la geología y la geotecnia las cuales permitieron desarrollar: una descripción detallada de toda la zona de estudio que incluyo la ubicación precisa de la unidad minera, el clima, la geología tanto regional como local y detalles del nivel de explotación 370 en cuanto a sus dimensiones y estructuras en el macizo rocoso; luego se evaluaron las deficiencias en el sistema de sostenimiento en la excavación, siendo este en su totalidad mediante puntales, se describieron todos los problemas que se evidenciaron en la composición (madera) de dichos elementos. Se empleó el criterio de rotura de Hoek – Brown para describir los esfuerzos del macizo rocoso en la excavación.

Para determinar la calidad del macizo rocoso y el sostenimiento requerido primero se dividió la excavación en diversos tramos luego se aplicó la clasificación geomecánica del índice Q de Barton para establecer la calidad, hecho esto se procedió a determinar el diámetro equivalente y mediante el ábaco de Barton se estableció si la zona requería de sostenimiento.

Se determinó que a lo largo de la excavación solo dos zonas necesitan de fortificación; el portal que se encontraba intensamente alterado y la zona número tres donde se ubica la chimenea, para ambos casos siendo el sostenimiento sugerido por Barton de hormigo proyectado y bulonado.

Palabras clave:

Índice Q de Barton, Sostenimiento, Excavaciones, Geomecánica

ABSTRACT

The present research work was elaborated in the Santa Clotilde 7 mining unit during the period from May to December of the year 2017, between the sciences and theories addressed we found; the mechanics of rocks, geology and geotechnics which allowed to develop: a detailed description of the entire study area that included the precise location of the mining unit, the climate, the regional and local geology and details of the exploitation level 370 in terms of its dimensions and structures in the rock mass; then the deficiencies in the support system in the excavation were evaluated, being this in its totality by props, all the problems that were evidenced in the composition (wood) of said elements were described. The Hoek - Brown break criterion was used to describe the efforts of the rock mass in the excavation.

To determine the quality of the rock mass and the required support, the excavation was divided into several sections, then the geometrical classification of the Barton Q index was applied to establish the quality. This was done by determining the equivalent diameter and using Barton's abacus It was established if the area required support.

It was determined that throughout the excavation only two zones need fortification; the portal that was intensely altered and the zone number three where the chimney is located, for both cases being the support suggested by Barton of projected and bulonado.

Keywords:

Q Index of Barton, Support, Excavations, Geomechanics

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería es una de las principales actividades económicas que se desarrolla en nuestro país; sin embargo, así como existen labores que cumplen con los más altos estándares de calidad, higiene y seguridad en cuanto al modo en que realizan sus explotaciones también existen labores mineras artesanales.

Según CASTRO RODRIGUEZ, Carlos y ZUBIETA BENGOLEA, Harold (2011) mencionan en su tesis que una labor artesanal “Es una persona o como conjunto de personas naturales o jurídicas que se dedican habitualmente y como medio de sustento a la explotación y/o beneficio directo de minerales, realizando sus actividades con métodos manuales y/o equipos básicos”. (p. 13)

Estas constituyen el sub-segmento más vulnerable de la actividad minera peruana, ya que desarrollan sus actividades de manera empírica y con base a la experiencia de los trabajadores, cuyo único y principal objetivo se centra únicamente en seguir la veta para obtener la mayor cantidad de mineral posible. Esto genera diversos problemas, uno de ellos, el más frecuente está relacionado con la forma en que se desarrollan las labores (galerías de acceso); es decir, que dichas explotaciones no cuentan con el debido planeamiento ni los estudios geológicos, geomecánicos y geotécnicos necesarios, esto a su vez genera un problema mucho más grave en cuanto al sostenimiento.

Desde los principios de la actividad minera el sostenimiento de las excavaciones ha sido una de las principales tareas, tradicionalmente en las labores pequeñas se realiza mediante cuadros de madera sin embargo si está no es tratada correctamente se debilita lo que puede conllevar posibles caídas de roca o al derrumbe total de la excavación. En uno de los artículos del diario *La República* titulado En 2015 fallecieron 28 trabajadores del sector minero por accidentes, 11 enero 2016 se menciona que “En el sector minero fallecieron 28 trabajadores en 27 accidentes de distintos tipos en los once primeros meses de 2015. La mayoría de muertes ocurrieron por el desprendimiento de rocas”.

La mina “Santa Clotilde 7” es una labor ubicada en la región Lambayeque, dentro de la provincia de Chiclayo y su concesión se encuentra entre los distritos de Pátapo y Chongoyape. La concesión pertenece al gerente, Dr. Guillermo Barba y su extensión es de 100 hectáreas, la entrada se encuentra en el sector Garraspiña, Chongoyape km. 46, adicionalmente se requieren alrededor de dos horas para llegar al área efectiva de explotación. Los puntos geográficos de la concesión se detallan en la tabla 1. (Anexos)

Dentro del área efectiva de explotación que hasta la fecha tiene una extensión aproximada de 3 hectáreas, se desarrollan 3 labores en paralelo, el nivel 1 o 320, el nivel 2 o 350 y el nivel 3 o 370, siendo este último dentro del cual se llevó a cabo la investigación, la posición del área efectiva dentro de la concesión se muestra en la figura 1. (Anexos)

En nivel de explotación 370 se pudo observar que la mayor parte de la labor está conformada por roca competente; sin embargo, los agentes geológicos y la forma artesanal en la que se realiza la explotación han debilitado el macizo rocoso por lo que existen algunos tramos en los cuales la presión del terreno y las vibraciones provocadas por las voladuras han generado problemas de inestabilidad los cuales se han manifestado en forma de desprendimientos de roca o sobre excavación.

El sostenimiento en esta labor es inexistente salvo algunos puntales de madera, dichos elementos no tienen una forma establecida, ya que se ajustan a la forma que tiene la labor, que como se menciona es irregular, además no existen estudios geomecánicos que sustente la elección de dicho sostenimiento ni que permitan dimensionar los elementos de tal forma que estos resistan los desplazamientos que tiene el macizo rocoso producidos por los trabajos de excavación; además que algunos elementos de madera como los puntales se encontraban en mal estado debido a las lluvias lo que facilitaba la caída de rocas.

La fortificación solo está presente en algunos tramos de la galería; sin embargo, debido a las condiciones geomecánicas, éste no sería suficiente para lograr la completa estabilidad de la excavación. Dichas condiciones se pueden observar en la figura 2. (Anexos)

1.2. Trabajos Previos

A nivel internacional

SARI CHALCO, Juan y RODAS ANDRADE, Daniel (2013) estos dos autores, cuya investigación, Propuesta del sistema de fortificación que se debe emplear a lo largo de la veta F-10 de la mina subterránea liga de oro de la empresa minera Somilor S.A. mencionan la siguiente problemática:

[...] la presión existente sobre la excavación a lo largo de la veta F-10 provoca problemas de inestabilidad que se manifiesta en forma de constantes caídas de material rocoso, representando esto un peligro en las labores mineras que en ellas se realiza. Los sitios fortificados a lo largo de la mina fueron instalados cuando se empezó a manifestar las condiciones de inestabilidad mediante desprendimientos de roca más no conforme al avance de la excavación durante los trabajos de laboreo y con el respectivo que ello requiere. (p. 12)

El objetivo de los investigadores ante la problemática es “Proponer el sistema de fortificación que más se ajusta en la mina subterránea Liga de Oro a lo largo de la veta F-10”. (p. 12) La conclusión a la que llegan los autores es la siguiente:

El tipo de fortificación que más se ajusta a las condiciones del macizo en los puntos 2, 3 y 4 es la fortificación de hormigón lanzado con un espesor de 15cm, con un tipo de cemento empleado de fraguado rápido ($R_c = 41.3 \text{ MPa}$) y una relación agua-cemento de 0.4. (p. 54)

Se puede decir que la fortificación basada en la clasificación geomecánica de Bieniawski usada para la veta F-10 sigue un criterio con muy buena base científica demostrado con los análisis matemáticos realizados en la investigación, llegando a plantear medios de sostenimiento que se ajustan muy bien a la excavación, reduciendo así el riesgo de desplazamientos de la roca, concluyendo que las clasificaciones geomecánicas estiman muy bien los parámetros de sostenimiento.

CASTRESANA GONZÁLEZ, Leire (2016) en su tesis Análisis comparativo de metodología de sostenimiento de túneles, que se realizó para diversos túneles ubicados en la Variante de Pajares y túneles de Guadarrama donde el autor menciona la siguiente problemática:

Se debe de decir que aunque se realice un proyecto básico de gran calidad, atendiendo detalladamente a la calidad del macizo rocoso, una vez comenzada la obra siempre existirán problemas en las formaciones de características que no se esperaban de las mismas, debido precisamente al grado de incertidumbre que siempre presentan las formaciones rocosas y a la imposibilidad de analizarlas en toda su extensión y detalle [...] Existen grandes variaciones en la calidad del macizo, por lo que el sostenimiento correspondiente a cada calidad será totalmente diferente y además no será siempre el que más se ajusta a la calidad del macizo. (p. 4)

Ante esta situación problemática, el autor propone como objetivo “analizar el diseño de sostenimiento en grandes túneles, con el fin de mostrar la variabilidad en las propuestas según el autor en que se base el diseño o la clasificación geomecánica utilizada”. (p. 6) Según su objetivo planteado, concluye que “pese a las limitaciones de algunos métodos, se emplean sistemáticamente en cálculos de sostenimiento en obra civil y en minería, incluso en casos en que los propios autores proponen descartan su aplicación”. (p. 95)

La investigación realizada por el autor demuestra que muchas de las clasificaciones geomecánicas empleadas tienen severas limitaciones sin embargo su aplicación sigue siendo de vital importancia para cualquier obra de carácter minero o civil.

A nivel nacional

TORRES YUPANQUI, Luis, RUIZ CASTRO, Arnaldo, DAGA HUARUCANCHA, José y VIZCARRA ARANA, Jesús (2009) en su artículo Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de caída de rocas en la minas Madrigada Cía. Minera Huinac SAC-Ancash- 2009 detectan una “problemática de los accidentes ocasionados por la caída de rocas en la Mina Madrugada” (p. 36). Debido a esto se plantean el siguiente objetivo “establecer los lineamientos para cualificar y cuantificar el sistema de información

geomecánica, considerando los estándares del ISRM”. (p. 36) Concluyendo que “Los valores obtenidos por los índices de clasificación geomecánica RMR y Q, demuestran la similitud entre ambos sistemas de clasificación, dándole una mayor confiabilidad a los resultados obtenidos”. (p. 39)

Trabajar con diversos sistemas de clasificación geomecánica puede ser muy conveniente debido a que se puede determinar si han existido deficiencias al momento de estimar los valores de cada parámetro en la clasificación base lo que se traduciría en un error en el valor final además de agregar confiabilidad a los resultados obtenidos.

QUISPE ARONÉS, Yuling (2012) en su estudio Comportamiento de roca blanda en un túnel de exploración diseñado con el sistema Q. En donde detecta la siguiente problemática:

La excavación de un túnel en un medio rocoso produce inevitablemente desequilibrio de la masa circundante en un corto periodo de tiempo lo que origina deformaciones en el medio rocoso [...] las que hay que tener presente para asegurar la estabilidad del túnel mediante la aplicación de sostenimiento oportuno y suficiente. (p. 2)

Ante la situación su objetivo es “Evaluar la aplicación del sistema Q en el diseño del sostenimiento de un túnel en roca blanda”. (p. 3) La autora llega a la siguiente conclusión: “El comportamiento de la roca blanda, según los resultados de las mediciones de convergencia, indican que el tipo de sostenimiento aplicado según el sistema Q durante la construcción fue apropiado”. (p. 96)

La investigación realizada demuestra que la roca de calidad blanda representa un desafío mucho mayor cuando se trata del sostenimiento sin embargo la clasificación geomecánica del Q de Barton determina de manera muy acertada el tipo de sostenimiento a utilizar cosa que vuelve idónea a esta clasificación para trabajos en diferentes calidades de roca.

ABAD ALVARADO, Alan y HUISA VELÁSQUEZ Freddy (2011) estos autores en su trabajo titulado Procedimientos de excavación y sostenimiento de túneles proyecto derivación Huascacocha – Rímac. Encuentran la siguiente problemática:

En los proyectos de túneles dentro de nuestro país es indispensable la buena identificación de los diferentes tipos de roca que se pueden presentar, para la buena selección de un sostenimiento, así como para desarrollar un buen proceso de excavación; hay que tener en cuenta un análisis previo del rocoso macizo y un análisis in situ que corrobore lo antes establecido, para así tener una mayor seguridad al momento de la realización de la obra y también tener un gasto dentro de un estándar óptimo. (p. 8)

Los autores establecen como objetivo “desarrollar un óptimo ciclo de excavación, teniendo en cuenta cada tipo de roca donde se trabaje, utilizando diferentes tipos de sostenimiento y el correcto uso de explosivos”. (p. 8) Con base en el objetivo propuesto los investigadores determinan que “Al realizar los estudios de geología y geomecánica, lo que se trata es de disminuir la incertidumbre de la zona a trabajar, pero esto no debe ser tomado como un 100% de exactitud”. (p. 160)

El trabajo analizado comprueba que la identificación geomecánica es el parámetro más importante a tener en cuenta cuando se construye una obra subterránea, de este modo se reduce considerablemente la incertidumbre constructiva sin embargo estas no deben ser tomadas como totalmente verdaderas, pese a ello su uso extendido ha demostrado su fiabilidad.

BUSTAMANTE MURILLO, Aquilino (2008) en su trabajo Geomecánica aplicada en la prevención de pérdidas por caída de rocas mina Huanzalá-Cia. Minera Santa Luisa S.A. descubre la siguiente problemática:

Existe la falta de control de la estabilidad de rocas debido a diversos factores, entre los que se destacan: las propiedades físico mecánicas de las rocas, el grado de agrietamiento del macizo rocoso y unido a esto el número de sistemas de grietas existentes, sus orientaciones respecto a la dirección de la excavación, material del que están rellenas las grietas entre otros. (p. 17)

Ante esto el autor se plantea como objetivo Lograr una producción eficiente [...] sin lesiones, daños a equipos, ni paradas de las operaciones. Todo ello mediante un adecuado control de estabilidad de la masa rocosa en las labores mineras. (p. 18)
Llegando a la siguiente conclusión:

El sistema de sostenimiento que más se utiliza en las labores de desarrollo, preparación y explotación en la mina Huanzalá de Santa Lusia, son los pernos cementados. Sin embargo, el sistema de sostenimiento shocrete, cables bolting se utiliza en zonas de acuerdo al tipo de terreno y la tabla geomecanico. (p. 133)

Esto muestra como aun en labores mineras altamente tecnificadas el uso de tablas geomecánicas que permitan definir el sostenimiento es indispensable, además de la influencia del tipo del terreno, con todo ello se pueden lograr condiciones de trabajo seguras dentro de la explotación.

CARRANZA MIRANDA, Marú (2015) en su tesis Geotecnia para el diseño del túnel Yanango. Observa la siguiente problemática:

El puente sobre la quebrada Yanango en la vía Tama- La Merced, colapso a fines del año 2005, como consecuencia de un huaico extraordinario en dicha quebrada. Actualmente el cruce se realiza por un puente colgante para vehículos ligeros, los pesados lo hacen por un vado.

[...] Por lo que se requiere “Contar con Fácil Acceso y con Seguridad al cruzar la Quebrada Yanango, mediante la construcción de un túnel”. (p. 9)

El objetivo de esta instigación es “establecer la metodología a seguir para el diseño geotécnico de un túnel”. (p. 9) En relación al objetivo propuesto se concluyen todos los aspectos geotécnicos a tener en cuenta para el diseño de un túnel como el tipo de roca que se atravesará, los factores de seguridad y la calidad de la roca.

Este trabajo proporciona información valiosa respecto a los parámetros a tener en cuenta al momento del diseño de un túnel en términos de la geotecnia destacando sobre todo la caracterización en función de la calidad de la roca mediante las clasificaciones geomecánicas.

CCORAHUA SEQUEIROS, Blas (2016) en su trabajo titulado La geomecánica en el sostenimiento de la mina Ricotona Lambrama 2016 observa que:

El problema surge de tantos accidentes mortales e incidentes que ocurre en una minería artesanal por desprendimiento y caída de rocas, y sin duda es una actividad de más alto riesgo que el hombre realiza. Según las estadísticas aproximadamente el 20% de estas fatalidades ocurre por el desprendimiento de rocas. Y si le añadimos el 10% de accidentes originados por derrumbes, deslizamientos, soplado de mineral o escombros, es la segunda causa de muerte en minería artesanal por la inestabilidad de las rocas. (p. 6)

Ante esto se plantea como objetivo la “Determinación los parámetros Geomecánicos RMR de Bieniawski y RQD para la selección del sistema de sostenimiento”. (p. 6) Concluyendo que “Con la aplicación de la geomecánica se determinó el sistema de sostenimiento adecuado en la mina Ricotona de Lambrama, haciendo los análisis necesarios de los parámetros geomecánicos de RMR y RQD los cuales determinaron sostenimiento con cuadros y puntales de madera”. (p. 31)

Mediante las clasificaciones geomecánicas RMR y Q de Barton es posible estimar las condiciones de inestabilidad que existen en una labor subterránea y de este modo poder establecer los sistemas de sostenimiento más idóneos según lo requiera la naturaleza de la roca.

1.3. Teorías Relacionadas al tema

1.3.1. Ciencias

La Geología es la ciencia que estudia la Tierra, su composición, su estructura, los fenómenos que han ocurrido y que ocurren en la actualidad, su evolución como planeta, su relación con los astros del Universo así como la evolución de la vida mediante los documentos que de ella han quedado en las rocas. (RIVERA, Hugo 2005, p. 8)

Ciencia fundamental que estudia la Tierra, se basa en el análisis de las rocas para conocer diferentes aspectos como su evolución y comportamiento a lo largo de extensos periodos de tiempo permite además identificar el tipo de material sobre el cual se va a realizar cualquier trabajo de ingeniería.

Geotecnia es la aplicación de los métodos científicos y de los principios de ingeniería a la generación, interpretación y utilización del conocimiento de los materiales y procesos que ocurren en la corteza terrestre para la solución de problemas de ingeniería. (GONZALO, Escobar 2016, p. 12)

Esta ciencia es una rama de la ingeniería geológica, engloba conocimientos de la mecánica de rocas y de suelos en términos aplicativos da las pautas para los estudios de las cimentaciones, puentes, presas, túneles, etc.

La Mecánica de Rocas o de las Rocas puede considerarse como aquella parte de la Geotecnia que abarca todos los estudios teóricos y experimentales destinados a conocer el comportamiento mecánico e hidromecánico de las cocas al ser sometidas a cambios en sus estados tensionales y en sus condiciones hidráulicas. (OTEO, Carlos 1981, p. 11)

Esta ciencia ayuda a conocer el comportamiento de materiales anisótropicos como lo son las rocas ante la acción de esfuerzos, es la ciencia base de la que surgen las clasificaciones geomecánicas.

1.3.2. Bases Teóricas

Las teorías abordadas en esta investigación están enmarcadas dentro de la Mecánica de Rocas.

Teoría de bloques:

El principio fundamental de la Teoría de Bloque es que la falla del macizo rocoso se inicia por el movimiento de ciertos bloques expuestos en una superficie de excavación. Por lo tanto, si estos bloques denominados cuñas claves, se mantienen

en su lugar, se previene el movimiento de otros bloques y por ende se evita una posible falla en cadena. (AYES ZAMUDIO, Juan 2011, p. 2)

Esta teoría se desarrolló con el objetivo de conocer la estabilidad de un grupo de bloques formados por las discontinuidades antes y después de aplicar la fortificación. Esto hace que la Teoría de Bloques sea una forma muy poderosa de evaluar las condiciones de estabilidad de una excavación subterránea tanto si se trata de trabajos en roca dura como si los trabajos se realizan en roca fisurada.

También está la **Teoría de Elasticidad**, hace referencia al hecho de que si ocurre una perturbación sobre un medio elástico por ejemplo el golpe de un martillo neumático o la detonación de explosivos por la voladura, se generan ondas que van a producir cambios en los esfuerzos y deformaciones en la roca.

Para entender la propagación de las ondas elásticas es necesario describir cinemáticamente la deformación del medio y las fuerzas resultantes.

1.3.3. Conceptos

Macizo Rocosó

Es el conjunto de matriz rocosa más discontinuidades, se define como un material heterogéneo surge como consecuencia de la orientación y frecuencia de los planos de discontinuidad.

Discontinuidades

Se refieren a cualquier plano de debilidad que imparte a la matriz rocosa una condición de anisotropía, es decir que modifican la integridad de la matriz rocosa intacta, se debe tener en cuenta que la combinación de las discontinuidades más la matriz rocosa da origen al macizo rocoso propiamente dicho.

Las discontinuidades presentes en la matriz rocosa van a determinar sus propiedades y el comportamiento deformacional, resistente e hidráulico. El termino

discontinuidad se acuño para referirse de una manera genérica e indistinta a fracturas, fallas, estratificaciones y foliaciones.

Las discontinuidades tienen diferentes parámetros físicos y geométricos que determinan su comportamiento mecánico, entre los cuales se tiene:

a. Espaciado:

GONZALES DE VALLEJO, Luis, FERRER, Mercedes, ORTUÑO, Luis y OTEO, Carlos. (2002) menciona que: “El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidades de una misma familia, medida en forma perpendicular a dichos planos”. (p. 248)

b. Orientación:

Es la distribución espacial que tienen las discontinuidades en el macizo rocoso y que se definen mediante su buzamiento, dirección de buzamiento y línea de máxima pendiente, la orientación sumada con el espaciado van a definir la forma de los bloques. Cuando varias discontinuidades presentan similar orientación forman un sistema o familia.

c. Persistencia:

GONZALES DE VALLEJO, Luis [et al]. (2002) establece que: “La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento”. (p. 250)

d. Rugosidad:

Este término hace referencia a las irregularidades y ondulaciones que se presentan en la superficie de las discontinuidades, determina la resistencia al corte de la misma ya que a mayor rugosidad mayor será la resistencia.

e. Resistencia de las paredes:

Se define como la solides que tiene el macizo rocoso ante acción de fuerzas, influye tanto en la resistencia al corte como en la deformabilidad y va a depender del tipo de matriz rocosa, la existencia de relleno y del grado de alteración.

f. Abertura:

Es la distancia que separa las paredes rocosas de las discontinuidades, medida de forma perpendicular y cuando existe ningún relleno, a menor la apertura las condiciones generales del macizo serán mejores.

g. Relleno:

Conjunto de materiales que se encuentran dentro de las aberturas de las discontinuidades, siendo estos generalmente más blandos que la roca que los rodea, la resistencia del relleno influye directamente en la competencia del macizo rocoso.

h. Filtraciones:

Es el flujo de líquido que circula atreves de las discontinuidades y que tiene una relación directa con la permeabilidad del macizo rocoso (permeabilidad secundaria), cuando la filtración es atreves de la matriz rocosa (permeabilidad primaria) puede considerarse también importante pero en menor medida.

Fracturas

Se pueden definir de distintas formas ya sea de manera puramente descriptiva o también con relación a su origen sin embargo la forma más sencilla de definir a una fractura seria: el conjunto de superficies que dividen a la roca en bloques con desplazamientos perpendiculares al plano de rotura, se suelen generar por la

concentración de esfuerzos en zonas donde cambia la naturaleza de la roca y son más abundantes donde existe heterogeneidad.

Diaclasas o juntas

Son un tipo principal de fracturas, se caracterizan por tener desplazamientos pequeños de forma normal a la superficie, con una apertura limitada.

Se generan por esfuerzos de cizalla y tensionales como respuesta a los movimientos de la corteza, también se pueden generar por condiciones geológicas como el intemperismo.

Mayormente se encuentran en sistemas o familias debido a que suelen tener una orientación paralela entre sí.

Clasificaciones Geomecánicas

Conjunto de procedimientos que permiten determinar de una manera sencilla y mediante un índice numérico la calidad del macizo rocoso considerando determinadas condiciones in-situ según sea el tipo de clasificación.

Las clasificaciones geomecánicas representan una manera de diferenciar a los macizos rocosos según sus características geológicas, hidrológicas y mecánicas para de esta forma establecer su competitividad ante la realización de alguna determinada obra de ingeniería, a lo largo del tiempo han surgido diversas clasificaciones geomecánicas, algunas de ellas se detallan en la tabla 2 (Anexos) y cada una de ellas considera determinadas características.

Clasificación de Biewiawski / RMR

Esta clasificación geomecánica fue desarrollada por Biewiawski, se conoce generalmente como RMR (Rock Mass Rating). Para determinar la calidad del macizo rocoso divide a este en zonas estructurales homogéneas de las cuales se consideran diversos parámetros y mediante la sumatoria de los valores asignados

según sus características se establecen la calidad y adicionalmente el sostenimiento, sus parámetros y puntuaciones se muestran en la tabla 3. (Anexos)

$$RMR = V_{rc} + V_{RQD} + V_{cj} + V_{fa}$$

Clasificación GSI / Geological Strength Index

Es una clasificación geomecánica propuesta por Hoek en 1994, se emplea para estimar la disminución de la resistencia que presentaría el macizo rocoso según diversas condiciones geológicas, proporciona un valor numérico que relaciona la estructura de la roca y las condiciones de la superficie, una vez se ha estimado el valor del *GSI* se puede utilizar como parámetro en el cálculo de las constantes "a" y "s" en el criterio de rotura de Hoek – Brown.

La resistencia del macizo rocoso que se encuentra fracturado depende de las características de los bloques y de los grados de libertad que estos dispongan para deslizarse, la tabla empleada para estimar el valor del *GSI* puede verse en la figura 3. (Anexos)

El valor de este parámetro siempre debe ser estimado en forma de rango pues de esta forma el valor presenta un carácter es mucho más descriptivo que al escoger un único valor.

Clasificación Q (Rock Tunneling Quality Index)

Sistema de clasificación geomecánica, aplicada para la caracterización de material rocoso dentro de labores subterráneas en base a las condiciones que presenta la roca.

Obtención del Q de Barton

La obtención del valor Q para la clasificación geomecánica de Barton está definida por la siguiente expresión matemática, en la que cada variable va a representar un determinado valor para una condición específica del macizo rocoso.

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

RQD: Rock Quality Designation, Tabla 4. (Anexos)

J_n : Índice de diaclasado, Tabla 5. (Anexos)

J_r : Índice de rugosidad de las juntas, Tabla 6. (Anexos)

J_a : Índice de alteración de las discontinuidades, Tabla 7. (Anexos)

J_w : Coeficiente reductor por la presencia de agua, Tabla 8. (Anexos)

(Stress reduction factor), coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso, Tabla 9. (Anexos)

El índice Q obtenido varía entre 0,001 y 1.000, la valorización y clasificación respectiva se muestran en la tabla 10. (Anexos)

Adicionalmente es posible agrupar los parámetros que conforman la ecuación del Q de Barton de la siguiente forma:

RQD/J_n : Representa el tamaño de los bloques

J_r/J_a : Representa a la resistencia del cizallamiento entre los bloques

J_w/SRF : Representa los esfuerzos activos

a. Rock Quality Designation / RQD

El índice RQD (Rock Quality Designation) se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud en su eje, sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo. Para determinar el RQD en el campo o zona de estudio de una operación minera. (ENGAÑA ERAZO, Matías, 2008, p. 3)

Otra forma de calcular el RQD es mediante el número de juntas por metro cubico que se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$RQD = 115 - 3.3Jv$$

Dónde:

$$Jv = \frac{Jx + Jy + Jz}{\text{metros lineal}}$$

b. Índice de Diaclasado (J_n)

Índice que indica el grado de facturamiento de las discontinuidades, está en función del número de familias de discontinuidades (diaclasas paralelas) presentes en la matriz rocosa.

c. Índice de rugosidad (J_r)

Las discontinuidades en la matriz rocosa presentan irregularidades sensibles al tacto, este factor se establece mediante la medición del grado de rugosidad a través de un instrumento conocido como rugómetro (peine de Barton) que nos mostrará el perfil de la rugosidad.

d. Índice de alteración (J_a)

Parámetro que considera las características del material mineral de relleno que forma parte de las discontinuidades, al determinar este parámetro se debe usar el valor más desfavorable.

e. Coeficiente reductor por la presencia de agua (J_w)

La presencia de agua puede lavar el relleno de las juntas y disminuir la fricción además la presión de agua puede reducir las tensiones normales en las paredes y hacer que los bloques se deslicen más fácilmente, este índice permite asignar un valor según el flujo de agua que circula por las discontinuidades.

f. Stress reduction factor (SRF)

Este parámetro describe la relación entre el estrés y la resistencia de la roca alrededor de una excavación subterránea, los efectos de las tensiones como desprendimientos, la compresión y la liberación de bloques se pueden observar directamente sin embargo puede pasar algún tiempo hasta que son visibles. El SRF puede calcularse a partir de la relación entre la resistencia a la compresión uniaxial de la roca (σ_{ci}) y la resistencia a la compresión principal (σ_1).

Correlación entre las Clasificaciones Geomecánicas

Es posible establecer relaciones empíricas entre las diversas clasificaciones geomecánicas, entre las cuales tenemos:

- a. El RMR en función del índice Q propuesta por Bieniawski en 1984

$$RMR = 9 * LN(Q) + 44$$

- b. El Índice de Resistencia Geológica

Puede ser determinado mediante la modificación del índice Q al eliminar el estado tensional en el macizo rocoso $\left(\frac{J_w}{SRF}\right)$

$$GSI = 9 * LN_e(Q') + 44$$

Dónde:

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

Criterios de Rotura

Criterio de Barton – Bandis

Es un criterio desarrollado de manera empírica a partir de los análisis del comportamiento de las discontinuidades, permite calcular la resistencia al corte de las discontinuidades rugosas.

Para determinar el esfuerzo tangencial se emplea la siguiente expresión:

$$\tau = \sigma'_n \tan \left[JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma'_n} \right) + \phi_r \right]$$

Dónde:

σ'_n : Esfuerzo normal efectivo sobre el plano de la discontinuidad.

JRC : Coeficiente de rugosidad de las discontinuidades.

JCS : Resistencia a la compresión de las discontinuidades.

Con este criterio muchas veces se obtienen ángulos de rozamiento muy elevados para tensiones muy bajas por lo que no se debe usar cuando $JCS/\sigma_n > 50$.

Criterio de Hoek – Brown Generalizado

Criterio de rotura no lineal puramente empírico más ampliamente aceptado obtenido mediante el análisis realizado a cientos de estructuras subterráneas, nos permite estimar la resistencia triaxial de los macizos rocosos mediante la siguiente expresión:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Dónde:

σ'_1 y σ'_3 : son los esfuerzos principales efectivos mayores y menores

σ_{ci} : Es la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta

m_b : Valor reducido de la constante del material m_i

a y s : Constantes del material rocoso

a. Resistencia a la compresión de la roca Intacta σ_{ci}

Es la resistencia de la roca no confinada, este factor puede ser obtenido de múltiples formas, in-situ por ejemplo mediante golpes con martillo de geólogo sin embargo la forma más precisa de determinarlo es en laboratorio mediante ensayos de carga puntual, en la tabla 11 (Anexos) se pueden observar diferentes rangos de valores para σ_{ci} según los golpes con martillo de geólogo, el tipo de roca e incluso el índice de carga puntual.

b. Constante del material m_i

Esta constante está relacionada con las propiedades de fricción y va a depender del tipo de roca como se puede apreciar en la figura 4 (Anexos) donde se muestran los diferentes valores para esta constante.

Una vez asignada la constante se puede calcular el valor de m_b mediante la siguiente expresión:

$$m_b = m_i \times \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

s y a son constantes del macizo rocoso y se obtienen mediante las siguientes expresiones:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

c. Factor de Disturbancia D

Factor que depende del grado de alteración que haya sufrido el macizo rocoso por voladura o relajación de los esfuerzos, varía entre 0 para macizos rocosos inalterados y 1 para macizos muy alterados. Los criterios para la elección del factor D en excavaciones subterráneas se pueden apreciar en la figura 5. (Anexos)

d. Resistencia a la compresión uniaxial

Se obtiene haciendo $\sigma'_3 = 0$ con lo que la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \chi s^a \text{ Mpa}$$

e. Resistencia a la tracción

Se obtiene haciendo $\sigma'_1 = \sigma'_3 = \sigma_t$ con lo que la formula se reduce a la siguiente expresión:

$$\sigma_t = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b} \text{ Mpa}$$

f. Angulo de fricción ϕ' y Resistencia cohesiva c'

El primero se define de manera sencilla como el ángulo de rozamiento entre dos caras o planos de una misma roca, mientras que la cohesión es la intensidad o fuerza con la que se encuentran unidas las partículas de mineral que conforman la roca.

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}} MPa$$

Siendo: $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$

g. Límite superior del esfuerzo de confinamiento σ'_{3max} en túneles

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0.47 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}$$

Dónde:

H : Profundidad vertical de la excavación- mt

γ : Peso unitario del macizo rocoso - kN/m^3

σ'_{cm} : Resistencia del macizo rocoso - MPa , que se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)](m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

Sostenimiento

Para determinar los requerimientos de fortificación mediante el índice Q, se tiene que conocer la dimensión equivalente (D_e), este parámetro va a depender de la relación de dos elementos que son: la luz, diámetro o altura de la excavación y el índice ESR (Excavation Support Ratio).

$$D_e = \frac{H_{tunnel}}{ESR}$$

El valor de ESR va a depender de la vida y el uso que se le dará a la excavación, sus parámetros se detallan en la tabla 12. (Anexos)

Una vez determinados ambos parámetros tanto el índice Q como el Diámetro equivalente (De) se emplea un ábaco establecido por Barton que permitirá determinar las características de sostenimiento, dicho ábaco se muestra en la figura 6. (Anexos)

A través del Q de Barton se pueden determinar parámetros adicionales relacionados con el sostenimiento:

a. Máximo vano sin sostener

Es la longitud máxima de perforación y voladura que se puede realizar en un sólo ciclo sin fortificación. Estas limitaciones en la longitud del avance están definidas por las características geotécnicas de la masa rocosa que se esté excavando. Se puede obtener mediante la siguiente formula empírica:

$$M_v = 2ESRQ^{0.4}(mt)$$

b. Carga de roca sobre la clave (P_r)

Se refiere a la presión permanente que soporta el techo de la excavación, puede determinarse mediante la siguiente expresión según el número de familias de discontinuidades:

Para macizos con menos de tres familias de discontinuidades

$$P_r(kp/cm^2) = \frac{2\sqrt{J_n}}{3J_r\sqrt[3]{Q}}$$

Para macizos rocosos con más de tres familias de discontinuidades

$$P_r(kp/cm^2) = \frac{2}{3J_r\sqrt[3]{Q}}$$

c. Carga de roca en los hastiales (P_h)

Es la presión que se ejerce sobre los lados de la excavación, se define de la siguiente forma:

$$\text{Si } Q > 10 \text{ entonces } P_h(kp/cm^2) = 5Q$$

$$\text{Si } 0.1 < Q < 10 \text{ entonces } P_h(kp/cm^2) = 2.5Q$$

$$\text{Si } Q < 0.1 \text{ entonces } P_h(kp/cm^2) = Q$$

d. Longitud de los pernos (L)

Es la longitud aproximada que deben tener de los bulones para un adecuado sostenimiento de la excavación, está definida por la siguiente expresión:

$$L = 2 + \frac{0.15B}{ESR}$$

B : Ancho de la excavación

Consideraciones para elección del sostenimiento

“El cálculo del sostenimiento se puede ir realizando, aumentando el grado de afinamiento empleando las siguientes técnicas en orden progresivo: Uso de las clasificaciones geomecánicas, Uso de las Curvas Características y Soluciones obtenidas mediante cálculos numéricos (M.E.F.)”. (NAVARRO, Salvador, ORTIZ, Raúl y RUIZ, Juan, 2011, p. 241)

Las clasificaciones geomecánicas a pesar del gran tiempo de su existencia siguen siendo consideradas como el punto de partida para estimar el sostenimiento en una excavación debido a su sencillez y partir de estas continuar hacia formas más precisas pero más complejas.

Tipos de Sostenimiento

Sistemas de soporte (pasivo):

Son sistemas diseñados para dar estabilidad al macizo rocoso conforme este se va deformando debido a la excavación.

Entre los sistemas de soporte se tiene:

Entibación con madera

Sistema de fortificación en el cual se emplea la madera para fabricar estructuras como puntales, woodpacks o cuadros que se usan para contrarrestar los desplazamientos del macizo rocoso.

Los puntales consisten en sencillos postes de madera con sección circular generalmente utilizado para sostener las cajas de roca evitando su colapso y en consecuencia el cierre de la excavación uno de sus extremo encaja dentro de una patilla (cuña) mientras el otro va sobre una plantilla (plancha de madera) que ayuda a distribuir la carga, esto se puede apreciar en la figura 7. (Anexos)

Los woodpacks o paquetes de madera se emplean cuando las cargas no podrían ser soportadas por los puntales estos consisten en un conjunto de bloques de madera dispuestos, uno sobre otro de tal manera que se logre la mayor cantidad de área sólida, ver la figura 8 (Anexos) se emplean cuando un gran peso muerto de roca necesita ser soportado alcanzando una capacidad de 90 toneladas.

Los cuadros de madera, estos pueden ser de diferentes tipos, cuadros cojos, cuadros rectos y cuadros cónicos, se emplean en trabajos de desarrollo (galerías, cruceros, etc.) cuando el macizo rocoso se encuentra muy fracturado. Su diseño está sujeto a las condiciones de la roca, la zona que se encuentra ejerciendo mayor presión en la excavación y a las dimensiones de la labor, se puede apreciar la forma típica de un cuadro en la figura 9. (Anexos)

Características de la Madera

La madera es un elemento de origen vegetal, ubicada en la parte más sólida de los árboles con tronco, empleado como elemento constructivo desde los principios de la humanidad.

Según la clase de madera, clima de la zona, edad del tronco, etc. las propiedades de la madera pueden variar aunque de manera general se denotan las siguientes características:

Resistencia mecánica: la madera posee resistencia a la compresión, a la tracción, a la flexión y al desgaste a un que estas propiedades varían según diversas condiciones a las que se encuentre expuesto el material.

Densidad: a pesar de sus buenas propiedades mecánicas, la densidad de la suele estar por debajo de la del agua por lo que flota.

Baja conductividad: no transfiere bien el calor ni la electricidad lo que la hace adecuada para trabajos en zonas de elevada temperatura y electrificadas como las excavaciones mineras.

Flexibilidad: la madera puede pandearse sin romperse aunque con cierto límite, esta propiedad es más notoria en maderas jóvenes.

Tipos de Madera

Existen diversos tipos de maderas, que pueden clasificarse de muchas formas sin embargo se distinguen dos grandes grupos según la dureza de la madera:

Maderas duras: provienen de aquellos árboles que tienen hojas caducas, de crecimiento lento y con mayor densidad son los más empleados en estructuras debido a sus excelentes propiedades mecánicas, ejemplo: roble, nogal, olmo, eucalipto, etc.

Maderas blandas: provienen de aquellos arboles con hoja permanente, son de crecimiento rápido, color claro y bajo costo, ejemplo: pino, ciprés, cedro, etc.

Patologías de la Madera

Pueden deberse a defectos propios de la madera (nodos, fibras), exposición a condiciones climáticas adversas o bien a una mala instalación del elemento. Las patologías de la madera en la madera pueden ser provocadas por dos tipos de agentes abióticos o bióticos.

Entre los agentes abióticos se encuentra:

Humedad: una de las principales causas de deterioro en la madera se debe a los cambios rápidos en el contenido de humedad, el agua es absorbida rápidamente causando cambios en las dimensiones de la madera con facilidad.

Temperatura: actúa de manera combinada con la humedad, causando cambios en las dimensiones de las estructuras de madera generando tensión en las fibras aunque el deterioro por este fenómeno es muy lento se debe tener en cuenta cuando se trata de trabajos en minería.

Fuego: el comportamiento de la madera ante el fuego es relativamente bueno, muy raras veces la combustión de la madera provocará un incendio ya que se requieren alrededor de 400 °C para su ignición; este fenómeno puede causar la destrucción completa de la madera por lo que siempre es necesario remplazar aquellos elementos que se encuentran carbonizados.

Entre los agentes bióticos están:

Pudrición: se origina por algunos tipos de hongos que se alimentan de la madera, se presenta en forma de ablandamiento de la estructura.

Insectos: algunos de los insectos que atacan a la madera son las termitas, hormigas y las abejas produciendo agujeros que afectan la integridad estructural.

Xilófagos marinos: pequeños moluscos que causan el mayor daño en la madera cuando esta se encuentra en contacto con el agua salada del mar.

Shotcrete:

“Concreto lanzado (shotcrete) es el nombre genérico del concreto cuyos materiales componentes son: cemento, agregados, agua, aditivos y elementos de refuerzo, los cuales son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie”. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004, p. 129)

Consiste en hormigón de características especiales, el cual se coloca en un equipo neumático para ser lanzado a alta velocidad hacia las paredes de la excavación para formar una capa de espesor determinado, con el objetivo de dar soporte a las paredes.

Este puede ser colocado por vía seca o por vía húmeda, el primer tipo es el más empleado en minería subterránea donde no se requiere demasiada producción además los equipos son pequeños y versátiles, el shotcrete por vía húmeda es más empleado en superficie donde se requiere de una mayor producción y se cuenta con un mayor espacio.

El shotcrete funciona sellando las grietas que forman las discontinuidades evitando que los bloques se deslicen además al estar unido a la roca evita que ésta se deforme de manera independiente, en labores permanentes siempre va acompañando a otros sistemas de sostenimiento.

Cerchas de acero o cimbras

Este típico sostenimiento pasivo o soporte es utilizado generalmente para el sostenimiento permanente de labores de avance, en condiciones de masa rocosa intensamente fracturada y/o muy débil [...] Las cimbras son construidas con perfiles de acero, según los requerimientos de la forma de la sección de la

excavación, es decir, en forma de baúl, herradura o incluso circulares. (CARHUAMACA GUERRERO, José, 2009, p. 17)

Consisten en perfiles metálicos que se diseñan según la forma de la excavación, se suelen utilizar cuando la calidad de la roca es muy mala y está sometida a altos esfuerzos.

Su diseño puede ser de dos tipos, rígidas o deslizantes, las primeras suelen ser perfiles tipo H, I o W estar conformadas por varios segmentos que están unidos por pernos con tuerca y platinas mientras que las otras están formadas por tres segmentos que se desplazan entre sí, unidos mediante uniones de tornillo.

Para su colocación, es preferible que el sistema se instale lo más pronto posible para evitar el aumento de presión en el techo además si el terreno es muy débil, se emplea shotcrete temporal para el soporte de la labor mientras se colocan las cimbras.

Sistemas de refuerzo (activo):

Estos sistemas estabilizan la roca aumentando la resistencia a la fricción entre los bloques que conforman a la masa rocosa.

Entre los sistemas de refuerzo se tiene:

Pernos de roca

Son barras de acero lisas o helicoidales que se insertan en la roca y cuyo papel principal es controlar la estabilidad de las cuñas y los bloques que se encuentran parcialmente inestables, un esquema de la colocación de los pernos se puede apreciar en la figura 10. (Anexos)

Los sistemas de reforzamiento con pernos de roca minimizan las deformaciones inducidas por el peso muerto de la roca aflojada, así como también aquellas inducidas por la redistribución de los esfuerzos en la roca circundante a la excavación. En general, el principio de su funcionamiento es estabilizar los bloques

rocosos y/o las deformaciones de la superficie de la excavación, restringiendo los desplazamientos relativos de los bloques de roca adyacentes. (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004 p. 129)

La función de los pernos varía según las condiciones de la roca, su papel principal es el control de las cuñas o bloques inestables. Los pernos pueden ser colocados de forma aislada (en lugares puntuales de la excavación) o sistemática (los pernos se colocan en todo el perímetro de la excavación).

Existen diversos tipos de pernos, según el anclaje que utilizan se pueden clasificar en:

Pernos de anclaje mecánico: Se caracteriza por estar dotado en uno de sus extremos de un mecanismo mecánico de expansión, su efecto sobre la roca es inmediato después de ser instalados.

Pernos de varilla cementados: Varilla de acero generalmente corrugada y biselada en uno de sus extremos, es colocada dentro del taladro quedando confinada por la acción de cemento o resina.

Pernos anclados por fricción: también conocido como Split sets es uno de los más modernos en referencia a técnicas de reforzamiento de roca, consiste en un tubo ranurado en toda su longitud, se introduce en taladros de menor diámetro que el tubo ejerciendo presión radial en toda su longitud.

Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio son un proceso fundamental cuando se intenta describir el comportamiento de los macizos rocosos ya que nos proporcionan diversas características del material.

Ensayo de Carga Puntual

Este ensayo se emplea para determinar la resistencia a la compresión simple ya sea para muestra irregulares o testigos cilíndricos aplicando presión en la muestra mediante dos puntas cónicas, la ventaja en este ensayo radica en la poca preparación de las muestras.

La fórmula empleada es la siguiente:

$$UCS = 23 * I_{S(50)}$$

Para llevar a cabo el ensayo se sigue el siguiente procedimiento de forma general:

1. Realizar una descripción general de la roca en cuanto a sus estructuras y litología.
2. Medir las dimensiones de la muestra de tal modo que cumplan las condiciones de la figura 11. (Anexos)
3. Dependiendo del tipo de muestra, se coloca el testigo entre las puntas cónicas del equipo.
4. Se mide la presión a la cual está siendo sometida la muestra mediante un manómetro conectado directamente a la prensa hidráulica.
5. Se irá aumentando paulatinamente la presión en la prensa hidráulica.
6. Una vez falle el testigo se retira y se analizan las condiciones y modo de rotura comparándola con lo que se muestra en la figura 12. (Anexos)

Ensayo de Peso Específico

Como su nombre lo indica este ensayo se aplica para determinar el peso específico de un material, el peso específico es la relación entre el peso que tiene cierto

elemento y el volumen que ocupa, se expresa en función de densidad quedando la siguiente expresión:

$$\rho_e = \frac{m.g}{v}$$

El procedimiento para llevar a cabo el ensayo es el siguiente:

1. Se emplea un recipiente de volumen graduado, y se le coloca una cierta cantidad de fluido (agua).
2. Antes de colocar la muestra en el recipiente con agua se emplea la balanza para determinar su peso.
3. Se coloca la muestra en el recipiente de volumen graduado y se mide el nuevo volumen.
4. Se realiza una diferencia entre el volumen con la muestra colocada y el volumen conocido sin la muestra, esto nos dará el volumen de la muestra.
5. Con los datos obtenidos se aplica la formula antes mencionada y se obtendrá el peso específico.

1.3.4. Marco Legal

La normativa peruana con respecto a la minería, es considerada una de las mejores en Latinoamérica, de toda la normativa existente se consideró conveniente escoger el decreto supremo 024-2016 EM titulado “Reglamento de Seguridad y Salud ocupacional en Minería”, de este marco legal se extrajo el título cuarto: “Estándares de las operaciones mineras”, dentro de este título se encuentran los estándares de trabajo tanto para mineras a cielo abierto, como para mineras subterráneas esta última se encuentra en el capítulo I de la normativa antes mencionada. Dentro de este capítulo se consideran, el subcapítulo I titulado “ingeniería de los macizo rocosos” y el subcapítulo II “desate y sostenimiento”.

Decreto supremo N° 024-2016- EM y su modificatoria 023-2017- EM, Diario El Peruano, Lima, Perú, 29 de julio de 2017

Dentro del título cuarto denominado gestión de las operaciones mineras, donde se encuentra el capítulo I que establece los estándares para las operaciones mineras subterráneas y a su vez dentro de éste se encuentra el subcapítulo I titulado ingeniería del macizo rocoso donde se hallan los siguientes artículos:

Artículo 213.- En todo tipo de labores subterráneas que se lleven a cabo en minería se aplicará fortificación en base a los estudios geomecánicos, se establece el principio de “labor avanzada, labor sostenida”.

Artículo 221(d).- Cuando en un cruce se establezca peligrosidad, se procederá a sostener convenientemente por medio de sistemas de sostenimiento adecuado, que garanticen condiciones estándar de trabajo.

Dentro del subcapítulo II titulado, desate y sostenimiento se encuentran los siguientes artículos:

Artículo 224(d).- Antes de proceder con la fortificación se debe asegurar un completo desatado de las rocas.

Artículo 224(e).- En los frentes de desarrollo y preparación la colocación de los elementos de fortificación deberá ser realizado hasta el tope; evitando la caída de rocas.

Artículo 228.- En las labores mineras que permanezcan abiertas se utiliza como sostenimiento el hormigón, dicho tipo de sostenimiento puede ser combinado con pernos de roca, mallas, fibras, barras ranuradas de fricción, entre otros teniendo en consideración la geomecánica de las rocas.

La normativa contemplada en relación a los ensayos de laboratorio es de tipo internacional, para la preparación de los testigos se va a tener en consideración la norma ASTM D 4543, aquí se establecen las características geométricas y

cualitativas que tienen que tener los testigos de roca para que los ensayos se lleven a cabo correctamente.

Para los ensayos de carga puntual se emplea la norma ASTM D 5731-95 que precisa los equipos, los procedimientos, las precauciones y los cálculos para dicho ensayo en el laboratorio.

1.4. Formulación del problema

¿Cómo aplicar la clasificación geomecánica del Q de Barton para la elección de nuevos medios de sostenimiento en la mina “Santa Clotilde 7”-Chongoyape?

1.5. Justificación del estudio

Lo tecnológico está referido a que con este estudio se lograran establecer sistemas de sostenimiento idóneos basados en las características del macizo rocoso que atraviesa la excavación además de generar estudios que servirán como punto de partida para análisis posteriores.

Desde una perspectiva económica con el sostenimiento adecuado se evitara pérdidas de producción y en consecuencia se lograra un aumento en la productividad además no habrá pérdidas económicas debido a accidentes que pueda sufrir el personal.

En lo correspondiente al apartado social se logran condiciones de trabajo más seguras para todo el personal que labora dentro de la mina debido a que se reduce el riesgo de derrumbes y desprendimientos de rocas que son actualmente la mayor causa de accidentes en labores subterráneas.

En referencia a lo ambiental si la fortificación no es la adecuada se producirán derrumbes y en consecuencia habrá un aumento de sedimentos que contaminaran los acuíferos cercanos.

1.6. Hipótesis

Si se aplica la clasificación geomecánica del Q de Barton entonces se lograrán establecer sistemas de sostenimiento más adecuados y seguros en la mina “Santa Clotilde 7”.

1.7. Objetivos

Objetivo general

Aplicar la clasificación geomecánica del Q de Barton para la elección del sostenimiento en el nivel 370, para la mina “Santa Clotilde 7”.

Objetivos específicos

1. Elaborar una descripción general del área de estudio para un mayor detalle en la investigación.
2. Reconocer las falencias del estado actual del sostenimiento en la excavación.
3. Determinar la calidad de la roca mediante el índice Q de Barton.
4. Realizar una descripción del macizo rocoso en términos de los esfuerzos a través de los criterios de rotura.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de la investigación

El tipo de la investigación es Experimental, específicamente de diseño Cuasi-experimental debido a que las variables estudiadas fueron elegidas según las necesidades de esta investigación, adicionalmente el presente trabajo tiene un alcance Explicativo ya que se estudió a profundidad las características de las

clasificaciones geomecánicas y como estas se emplean para definir el sostenimiento en una labor minera de tal modo que se contribuye con el conocimiento científico.

2.2. Variables y Operacionalización

2.2.1. Variables:

1. Variable independiente (solución): Clasificación geomecánica del Q de Barton.
2. Variable dependiente (problema): Sostenimiento de la labor minera.

2.2.2. Operacionalización de las variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Sub-indicadores	Índice	Técnicas de recolección de información	Instrumentos de recolección de información	Instrumentos de medición
Clasificación geomecánica del Q de Barton	Índice Q de Batón	Calidad del testigo-RQD	-----	Porcentaje (%) 0-100	Observación	Guía de observación	-----
		Índice de diaclasado	-----	Adimensional 0.1-20	Observación	Guía de observación	-----
		Índice de rugosidad de las discontinuidades	Contacto entre las dos caras de las discontinuidades	Adimensional 0.5-4	Observación	Guía de observación	-----
			Contacto entre las dos caras de las discontinuidades ante un desplazamiento cortante inferior a 10cm.				
			No existe contacto entre las caras de las discontinuidades ante un desplazamiento cortante.	Adimensional 1.0	Observación	Guía de observación	-----
Índice de alteración de las discontinuidades	Contacto entre los planos de las discontinuidades (sin minerales de relleno intermedios)	Adimensional 0.75-4	Observación	Guía de observación	-----		

			Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm (minerales de relleno en pequeños espesores)	Adimensional 4-12	Observación	Guía de observación	-----
			No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante (rellenos de mineral de espesor)	Adimensional 6.8-20	Observación	Guía de observación	-----
		Factor de reducción por la presencia de agua	-----	Adimensional 0.05-1.0	Observación	Guía de observación	-----
		Condiciones tensionales de la roca	Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del túnel va avanzando	Adimensional 5-10	Observación	Guía de observación	-----
			Rocas competentes, problemas tensionales en las roca	Adimensional 0.5-400	Observación	Guía de observación	-----

			Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas	Adimensional 5-20	Observación	Guía de observación	-----
			Rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.	Adimensional 5-15	Observación	Guía de observación	-----
Sostenimiento de la labor minera	Índice Q de Barton	Calidad de la roca	-----	Adimensional 0.001-1000	Observación	Guía de observación	-----
	Diámetro equivalente	Altura del túnel	-----	Metros	Observación	Guía de observación	Wincha
		ESR	-----	Adimensional 0.8-5	Observación	Guía de observación	-----
	Sistema de sostenimiento	Pernos de anclaje	Cantidad	Unidad	Observación	Guía de observación	-----
			Medida	Metros			
		shotcrete	Cantidad	Unidad	Observación	Guía de observación	-----
			Medida	Metros			
Ensayos	Ensayo de Carga Puntual	Dimensiones de la muestra	Medida	Metros	Observación	Guía de observación	Equipo de carga puntual
		Resistencia a la compresión simple	Medida	Megapascales			
	Ensayo de Peso Especifico	Volumen del fluido	Medida	Centímetros cúbicos	Observación	Guía de observación	Balanza
		Peso de la roca	Medida	Gramos			

2.2.3. Conceptualización de las variables

A. Clasificación geomecánica del Q de Barton:

GAVILANES, Hernán y ANDRADE, Byron (2004) definen la clasificación geomecánica del Q de Barton como:

El Índice Q de clasificación de macizos rocosos fue desarrollado en Noruega en 1974 por Barton, Lien y Lunde, todos del instituto Geotécnico de Noruega. Su desarrollo representó una mayor contribución al tema de clasificación de macizos rocosos por las siguientes razones:

- El sistema fue propuesto con base en el análisis de 212 casos históricos de túneles en Escandinavia.
- Es un sistema de clasificación cuantitativo.
- Es un sistema ingenieril que facilita el diseño de sostenimiento para túneles. (p. 87)

Constituye un sistema de clasificación que permite asignar puntajes a los diferentes parámetros que caracterizan a los macizos rocosos y de esta forma determinar su calidad y el sostenimiento más idóneo según los resultados, fue desarrollado por Barton, Lien y Lunde para el Instituto Geotécnico de Noruega (IGN) después de analizar más de 1000 túneles y cavernas.

B. Sostenimiento de la labor minera:

JUÁRES FERRERAS, Rafael. (2003) define al sostenimiento como:

Conjunto de elementos y procedimientos que permiten controlar y mantener los huecos creados por el avance del tajo, garantizando la seguridad del personal que trabaje o circule por ellos y de los equipos y servicios de apoyo durante el tiempo necesario para la explotación. (p. 16)

Sistemas que permiten contrarrestar las deformaciones y los desplazamientos debido a la modificación de los esfuerzos en el macizo rocoso como resultado de excavación del túnel, aseguran condiciones de trabajo estándar para el personal que se encuentra laborando.

2.3. Población y Muestra

2.3.1. Población

Dentro de la concesión Santa Clotilde 7 se desarrollan en paralelo 3 niveles que son el nivel 320, 350 y 370, esta es la población total de estudio.

2.3.2. Muestra

El análisis de la estabilidad y sostenimiento requerido se aplicó dentro de la labor 370, considerándose a esta como la muestra dentro de una población de tres labores. Cuenta con las dimensiones más amplias de las tres excavaciones.

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

2.4.1. Técnicas de recolección de datos:

Las técnicas empleadas para poder recolectar toda la información necesaria fueron:

✓ Observación

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos:

A) Guías de Observación

1. Guía de Reconocimiento del Área

Esta guía se empleó para recolectar toda la información observada durante la visita realizada a la unidad minera Santa Clotilde 7 tomándose en cuenta aspectos como los accesos, el clima del lugar, las labores excavadas (320, 370) y la geología tanto local como regional (Ver anexo 13) de una manera ordenada y concisa.

2. Guía de Observación “B”

Esta guía de observación permitió determinar los parámetros en campo necesarios para calcular la calidad de la roca en base al índice Q de Barton (Ver anexo 14), como complemento a esta guía, para determinar el sostenimiento se emplearon los siguientes instrumentos:

a. Guía de Observación “B.0”

La guía consiste en una estación geomecánica que tomó en consideración la orientación de sus discontinuidades para los diversos tramos de la excavación información utilizada para determinar las familias principales además de sus respectivos estereogramas. (Anexo 15)

b. Guía de Observación “B.1”

Esta guía nos permitió utilizar la fórmula del número de fisuras por m^3 para el cálculo del RQD, aun cuando muchas de las discontinuidades surgieron por efecto de la voladura, por esto el levantamiento se realizará en pequeñas ventanas con longitud de 1 metro. (Ver anexo 16)

Después de la toma de los datos y obtenido el RQD por metro, se realizó un promedio de los mismos por cada 5 metros recorridos.

c. Guía de Observación “B.2”

Para la investigación se calculó el diámetro equivalente de la sección cada 5 metros, se utilizó como principales instrumentos una wincha (flexómetro) con la cual determinar la altura y la guía de observación del ESR, para cada diámetro equivalente corresponderá un valor del índice Q. (Ver anexo 17)

d. Guía de Observación “B.3”

Esta guía sirvió para establecer el parámetro ESR que hace referencia al uso que tiene la excavación, de este modo asigna un determinado valor por cada tipo de uso, la guía contiene todos los posibles valores del ESR que fueron seleccionados según correspondía en la excavación. (Ver anexo 18)

3. Guía de Observación “C”

Este instrumento permitió establecer las fallencias que presenta actualmente el sistema de sostenimiento en la excavación y evaluar el estado de conservación de los puntales para de este modo determinar si requieren o no ser remplazados. (Ver anexo 19)

4. Guía de Observación “D”

Esta guía contiene toda información referente al Índice de Resistencia Geológica (GSI) parámetro que es fundamental al momento de emplear los criterios de rotura, en base a la figura 3 (Anexos) se establecieron las estructuras del macizo rocoso y la condición de la superficie para los diversos tramos en el nivel 370. (Ver anexo 20)

5. Guía de Observación “Ensayo de Carga Puntual”

Toda la información obtenida mediante el ensayo de carga puntual fue almacenada en esta guía con el objetivo de poder determinar la resistencia no confinada de la roca valor que forma parte de los parámetros en el criterio de Hoek – Brown.

Para llevar a cabo este ensayo se tuvieron en consideración los procedimientos descritos tanto por la normativa ASTM correspondiente al ensayo como la normativa de preparación de testigos. (Ver Anexo 21)

6. Guía de Observación “Ensayo de Peso Específico”

La información que se obtuvo al momento de realizar los ensayos para determinar el peso específico del material se anotó en esta guía de tal forma que la información quedo ordenada y sistematizada, en este caso no se empleó una normativa específica simplemente se aplicó el criterio de diferencia de volúmenes. (Ver Anexo 22)

2.5. Métodos de análisis de datos

2.5.1. Diagrama de procesos:

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	INSTRUMENTOS	INSTRUMENTOS COMPLEMENTARIOS
Descripción general del área de estudio para un mayor detalle en la investigación	GUÍA DE RECONOCIMIENTO DEL ÁREA	-----
Calidad de la roca mediante el índice Q de Barton	GUÍA DE OBSERVACIÓN “B”	GUÍA DE OBSERVACIÓN “B.0”
		GUÍA DE OBSERVACIÓN “B.1”
		GUÍA DE OBSERVACIÓN “B.2”
		GUÍA DE OBSERVACIÓN “B.3”
Estado actual del sostenimiento en la excavación.	GUÍA DE OBSERVACIÓN “C”	-----
Descripción del macizo rocoso en términos de los esfuerzos a través de los criterios de rotura	GUÍA DE OBSERVACIÓN “D”	-----
	GUÍA DE OBSERVACIÓN “ENSAYO DE CARGA PUNTUAL”	-----
	GUÍA DE OBSERVACIÓN “ENSAYO DE PESO ESPECIFICO”	-----

2.5.2. Descripción de los procesos

a. Descripción general del área de estudio para un mayor detalle en la investigación.

Describir el área de estudio fue el primero de los procesos a llevarse a cabo, para poder ejecutarlo fueron necesarias múltiples visitas a la unidad minera Santa Clotilde 7, se comenzó por describir la condición de los accesos además del clima en la zona, se tomaron en cuenta aspectos adicionales como la descripción tanto del nivel 320 como del 370 dando mayor relevancia a este último, la geología fue otro

de los ítems considerados ya que su influencia e importancia en la investigación es considerable.

b. Calidad de la roca mediante el índice Q de Barton.

Determinar la calidad de la roca mediante el índice Q de Barton fue uno de los principales procesos que se desarrollaron en la investigación para poderlo llevar a cabo fue necesario entender cuáles son cada uno de los parámetros que tiene en consideración este índice, para determinar las condiciones del macizo rocoso cada parámetro ya se encuentra debidamente puntualizado y según determinadas condiciones de la roca se eligió un valor de calidad para cada parámetro.

Lo principal fue establecer cada cuanto se iba a realizar la toma de datos dentro de la excavación, esto dependió de la homogeneidad del macizo rocoso, se tomaron los datos cada 5 metros para hacerlos lo más precisos posibles, con ayuda de las guías se evaluó cada una de las condiciones de la roca y se marcaron sus puntuaciones en cada sección de 5 metros. El trabajo en gabinete consistió en ordenar toda la información y proceder a determinar la calidad de las distintas secciones con ayuda de las fórmulas para luego realizar un promedio y obtener la calidad general del macizo rocoso. Para realizar todo esto se empleó la guía “B” y sus respectivas guías complementarias.

c. Estado actual del sostenimiento en la excavación.

Para evaluar el estado actual del sostenimiento se empleó la guía “C” esta permitió determinar de una manera objetiva las condiciones en las que se encontraba la madera y establecer si estos a un son funcionales o requieren de algún cambio.

d. Descripción del macizo rocoso en términos de los esfuerzos a través de los criterios de rotura.

Para realizar la descripción del macizo rocoso se empleó el criterio de Hoek – Brown, este criterio utiliza diversos parámetros como el SGI y la resistencia a la compresión de la roca intacta para poder determinar los esfuerzos a los que se

encuentra sometido el material, se realizaron ensayos de carga puntual y peso específico para establecer de manera aproximada las propiedades de la roca, los datos arrojados por los ensayos se registraron su respectivas guía.

Debido a que el principal objetivo es conocer cómo se comportan los esfuerzos se construyeron sus respectivas gráficas de esfuerzos principales gracias a la información dada por los ensayos y los resultados del cálculo mediante el criterio de rotura de Hoek – Brown generalizado.

2.5.3. Recursos Humanos

1. Tesista
2. Ingenieros
3. Técnico

2.5.4. Materiales, Equipos, Instrumentos

Materiales/ Equipos/instrumentos	Índice	Costo
Guías de observación	----	5 soles
Entrevistas	----	5 soles
Brújula	unidad	30 soles/día
Computadora	unidad	1.50 soles/hr.
GPS	unidad	60 soles/día
Wincha (Flexómetro)	unidad	25 soles

2.6. Aspectos éticos:

Desde el punto de vista ético La empresa “Santa Clotilde 7 SMRL” conoce de las acciones a realizarse en esta investigación por lo cual consiente los actos a realizarse.

Para poder realizar el proyecto de investigación se llevaron a cabo los siguientes actos éticos:

- a) Se evaluaron las condiciones en las que se encuentra el actual sistema de sostenimiento en la excavación, de esta forma se verificará si se respetan las condiciones laborales y los derechos de los trabajadores, debido a que un sistema de fortificación defectuoso conlleva innumerables riesgos.

- b) Se presentaron los datos y la información más relevante brindada por el gerente de la concesión minera para poder llevar a cabo la investigación de una manera éticamente correcta.

Con la investigación se mejoraron las condiciones de estabilidad del macizo rocoso aplicando nuevos sistemas de sostenimiento de tal forma que se asegurarán condiciones de trabajo estándar reduciendo las posibilidades de caídas de roca o en el peor de los casos el colapso total de la excavación.

III. RESULTADOS

Descripción general del área de estudio

Mina Santa Clotilde 7

Chongoyape 2017

Tabla 13

Guía de Reconocimiento del Área		
Ítems	Sub-Ítem	Descripción
Accesos		Para llegar al nivel de explotación es necesario recorrer un camino de herradura sinuoso, que se encuentra bloqueado por deslizamientos debido a las lluvias.
Clima		El clima es seco, con elevadas temperaturas que pueden alcanzar los 30 grados descendiendo paulatinamente conforme transcurre el día.
Galerías de explotación	Nivel 320	Galería de exploración con una sección aproximada de 1.5 por 1.80 con una longitud de excavación de 16 metros, presenta elevada humedad adicionalmente un deslizamiento cubrió parte de la entrada.
	Nivel 370	Nivel de explotación que tiene una sección aproximada de 2.50 por 2.80 con una longitud de 42 metros, muy fracturada en el frente mejorando la calidad conforme la profundidad incrementa, se observan a grandes rasgos dos dominios estructurales donde se aprecia una marcada diferencia en las propiedades de la roca.
Geología	Local	En el inicio del camino hacia el campamento se observa material predominantemente aluvial conforme avanzamos se observan pequeñas montañas conformadas principalmente por tonalita y diorita todo esto dominado por la formación la leche. En el nivel 370 la veta se emplaza en tonalitas y granodioritas del batolito de la costa. La veta tiene una potencia de 25 cm estrangulándose y desapareciendo a lo largo de la excavación, también se comprobó la existencia de mineral de hierro además de malaquita en pequeñas proporciones.
	Regional	Se observan depósitos aluviales, coluviales, rocas ígneas (granodiorita, tonalita y diorita), se aprecian 3 grandes grupos: gpo Goyllarisquizga, gpo Pullicana y el gpo Quillquiñan. La mayor dominada por la formación la leche.

Fuente: Elaboración propia.

Ubicación y acceso

La unidad minera Santa Clotilde 7 se asienta en la concesión con el mismo nombre que abarca los distritos de Patapo y Chongoyape pertenecientes a la provincia de Chiclayo dentro de la región Lambayeque.

La entrada está ubicada en el kilómetro 46 de la carretera asfaltada Chiclayo – Chongoyape en el sector de Garraspiña, aproximadamente a 1 hora de la provincia de Chiclayo, desde la entrada existe un camino de herradura que permite el acceso hasta la unidad con una extensión aproximada de 2 km, este acceso se encuentra temporalmente inhabilitado impidiendo el acceso de vehículos debido a deslizamientos producto de las intensas lluvias provocadas por fenómeno del niño, únicamente se puede recorrer a pie requiriéndose alrededor de 1:30 para llegar al campamento.

Clima

El clima en la zona se caracteriza por tener temperaturas que oscilan entre los 25 a 30 °C a lo largo de todo el año, las precipitaciones alcanzan un promedio de 37 mm en los meses de marzo y diciembre. Climatológicamente hablando la zona se clasifica como un bosque seco, por esto la humedad relativa muy baja.

Esta zona no ha sido ajena al fenómeno del niño costero durante los meses de febrero a marzo, cosa que se refleja al ver indicios de la activación de quebradas que llevaban inactivas muchos años. Los deslizamientos de material han sido el principal problema que se ha generado.

Geología regional

Tabla 14. Leyenda geológica regional

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA			DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO		Dep. Fluvial	Qr-fl		Abundancia de depósitos aluviales y fluviales constituidos por conglomerados, gravas, arenas, limos, etc. Se encuentran los depósitos de material grueso formando en muchos casos conos de deyección.
			Dep. Aluvial	Qr-al		
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Granodiorita	KTI-gd		Se evidencia la presencia de granodiorita y tonalita en cuerpos grandes, la tonalita principal del área levanta a la roca caja, el plutón no rompe a la Formación la Leche quedando el contacto intrusivo dentro de la misma unidad. La diorita se encuentran afloramientos restringidos que son cortados por los demás componentes del batolito de la costa, es posible que las monzonitas hayan sufrido metamorfismo por influencia de intrusivos posteriores.
			Tonalita	KTI-to		
			Diorita	KTI-di		
		MEDIO	Gpo. Pullicana	Km-pq		El grupo Pullicana muestra facies delgadas y clásticas, representado por calizas y lutitas negras o marrones con un grosor promedio de 25 metros cerca al pueblo de Chongoyape, el grupo Quillquiñan consiste en lutitas friables gris oscuras y margas azuladas en capas delgadas que cambian a marrón oscuro o marrón rojizo
	Gpo. Quillquiñan					
		Form. Inca Chulec	Km-ich		Conformada por lutitas, margas y calizas nodulares, se caracteriza por una coloración crema o gris producto del intemperismo, esta formación es delgada pero la presencia de un banco de calizas la diferencia del resto de unidades.	
	INFERIOR	Gpo. Goyllarisquizga	Ki-g		Consiste en areniscas y cuarcitas blanquecinas y marrones bien estratificadas en capas medianas e intercaladas con horizontes de lutita gris, marrón y rosada	
	JURASICO	MEDIO	Volc. Oyotun		J-vo	
SUPERIOR						
TRIASICO	SUPERIOR	Form. la Leche		Tr-l		El cuerpo principal de la formación consiste en calizas grisáceas algo silicificadas y bien estratificadas en capas delgadas o medianas intercalas con proporciones variables de lutitas, tobas y derrames

Fuente: Elaborada en colaboración con el Ing. Suyon Suclupe Alexander

Desde el punto de vista regional, la ubicación es al noreste del Perú en la zona de transición, dentro de la región de Lambayeque, cubre un área aproximada de 120 km², se asienta sobre la cordillera de la costa dominada principalmente por cerros bajos que no sobrepasan los 500 metros de altitud aunque existen casos excepcionales. La columna estratigráfica comprende una secuencia de rocas sedimentarias e intrusivas que van desde el triásico superior al cuaternario.

Las rocas más antiguas pertenecen a formación la Leche del triásico superior, tiene un grosor variable que va desde un promedio de 400 – 500 metros hasta un máximo de 1000 metros. El cuerpo principal de la formación consiste en calizas grisáceas algo silicificadas y bien estratificadas en capas delgadas o medianas intercalas con proporciones variables de lutitas, tobas y derrames.

Suprayaciendo a la Formación la Leche se encuentra la Formación Volcánicos de Oyotún que consiste en una secuencia gruesa de rocas volcánicas con intercalaciones sedimentarias, se observa en afloramientos macizos irregulares generalmente de coloración oscura, se estima un grosor de 400 metros.

También se encuentra el Grupo Goyllarisquizga que consiste en areniscas, cuarcitas blanquecinas y marrones bien estratificadas en capas medianas e intercaladas con horizontes de lutita gris, marrón y rosada, el contenido lutecio de la formación varía de un sitio a otro. La base cambia de una discordancia fuerte con rocas precretáceas a un contacto concordante y gradacional con la formación tinajones del cretáceo inferior. El tope de la formación es generalmente una discordancia paralela, arriba de la cual se asientan las areniscas y lutitas de la formación inca.

El grupo Pulluicana muestra facies delgadas y clásticas, representado por calizas y lutitas negras o marrones con un grosor promedio de 25 metros cerca al pueblo de Chongoyape, el grupo Quillquiñan consiste en lutitas friables gris oscuras y margas azuladas en capas delgadas que cambian a marrón oscuro o marrón rojizo.

Se evidencia la presencia de granodiorita y tonalita en cuerpos grandes, la tonalita principal del área levanta a la roca caja, el plutón no rompe a la Formación la Leche quedando el contacto intrusivo dentro de la misma unidad. La diorita se encuentran afloramientos restringidos que son cortados por los demás componentes del batolito de la costa, es posible que las monzonitas hayan sufrido metamorfismo por influencia de intrusivos posteriores.

Abundancia de depósitos aluviales y fluviales constituidos por conglomerados, gravas, arenas, limos, etc. Se encuentran los depósitos de material grueso formando en muchos casos conos de deyección.

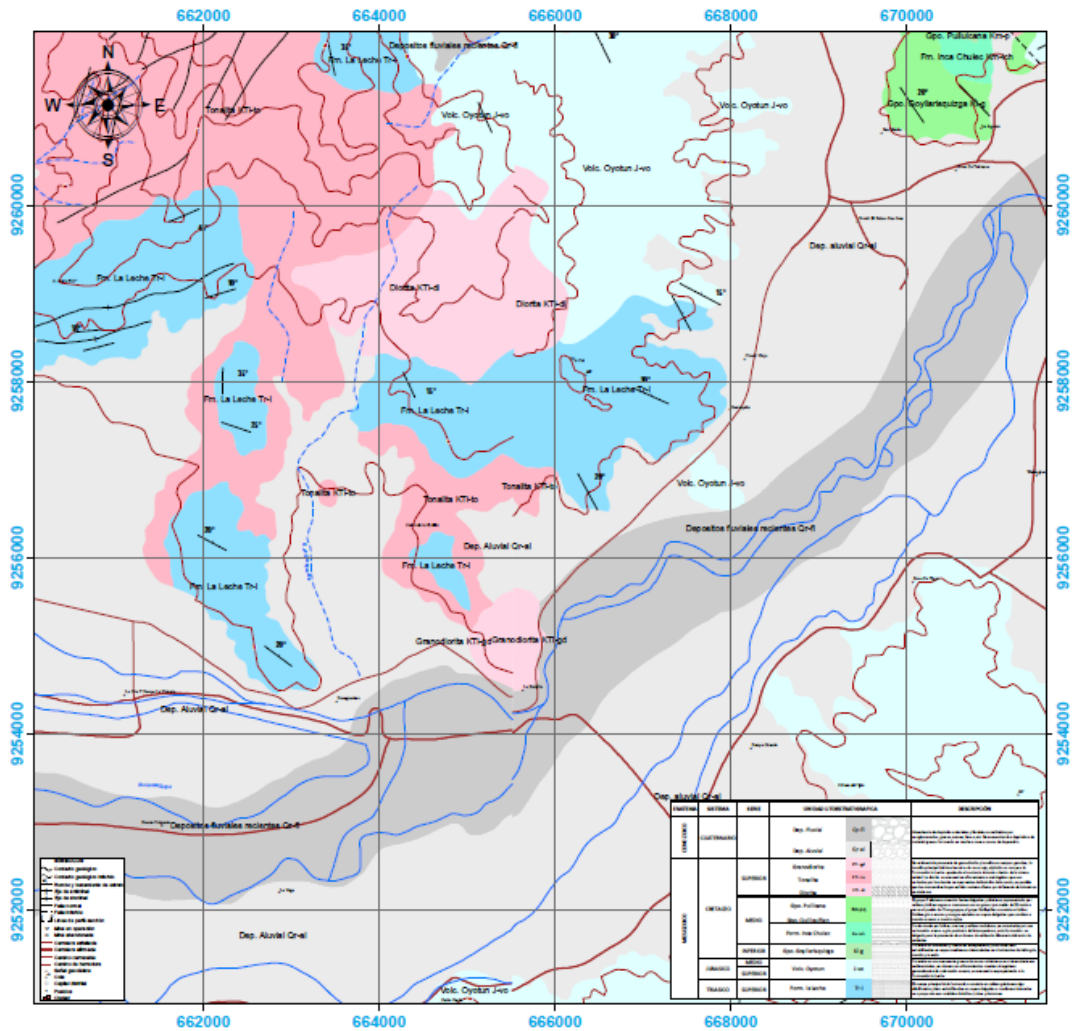


Figura 14. Mapa de Geología Regional

Geología Local

Tabla 15. Leyenda geológica local

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOSTRATIGRAFICA			DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO		Dep. Fluvial reciente 1	Qr-fl (t1)		Estos depósitos están conformado por gravas de forma sub redondeada, se encuentran en una matriz arenosa, estos tienen una compacidad pobre o estado suelto.
			Dep. Fluvial reciente 2	Qr-fl (t2)		
			Dep. Coluvial aluvial	Qr-col-al		Estos depósitos recientes están conformado por bloques, cantos, gravas de forma angulosa a sub angulosa, se encuentran en una matriz arenosa arcillosa de coloraciones beige, estos tienen una compacidad baja.
			Dep. Aluvial	Qr-al		Estos depósitos recientes están conformado por bloques, cantos, gravas de forma sub - angulosos, se encuentran en una matriz arcillosa de coloraciones beige a marrón oscuro, estos tienen una compacidad baja.
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Granodiorita Tonalita Diorita	KTI - gd KTI - to KTI - di		Diorita, Grano diorita y Tonalita, estas rocas intrusivas se encuentra a lo largo del área de estudio infrayacentes a la formación La Leche.
	TRIASICO	SUPERIOR	Form. la Leche	Tr-l		Se pueden observar estratos de calizas en la labor minera en mención, así como también las crestas de los cerros. Estos estratos son de coloración gris oscura y están silicificados, intercalados con limos y lutitas.

Fuente: Elaborada en colaboración con el Ing. Suyon Suclupe Alexander

Al analizar la geología en la zona de estudio, se aprecian rocas de tipo sedimentaria que datan de la era Mesozoica, con sistema Triásico Superior; hasta formaciones cuaternarias recientes correspondiente a depósitos Coluvio, aluviales, aluviales y terrazas fluviales.

Formación la Leche: Se pueden observar estratos de calizas en la labor minera en mención, así como también las crestas de los cerros. Estos estratos son de coloración gris oscura y están silicificados, intercalados con limos y lutitas.

Diorita, Granodiorita y Tonalita, estas rocas intrusivas se encuentra a lo largo del área de estudio infrayacentes a la Formación la Leche formadas a partir de los procesos volcánicos surgidos durante el cretáceo. Estas rocas dominan la excavación ya que dentro de estas se encuentra emplazada la veta.

Depósitos Coluvio – aluviales: Estos depósitos recientes están conformados por bloques, cantos, gravas de forma angulosa a sub angulosa, se encuentran en una matriz areno arcillosa de coloraciones beige, estos tienen una compacidad baja.

Depósitos Aluviales: Estos depósitos recientes están conformados por bloques, cantos, gravas de forma sub - angulosos, se encuentran en una matriz arcillosa de coloraciones beige a marrón oscuro, estos tienen una compacidad baja.

Depósitos Fluviales (Terrazas Fluviales): Estos depósitos están conformados por gravas de forma sub redondeada, se encuentran en una matriz arenosa, estos tienen una compacidad pobre o estado suelto se observan principalmente al inicio del acceso a la unidad minera cubierta por terrenos de cultivo cerca de donde discurre el río Lambayeque.

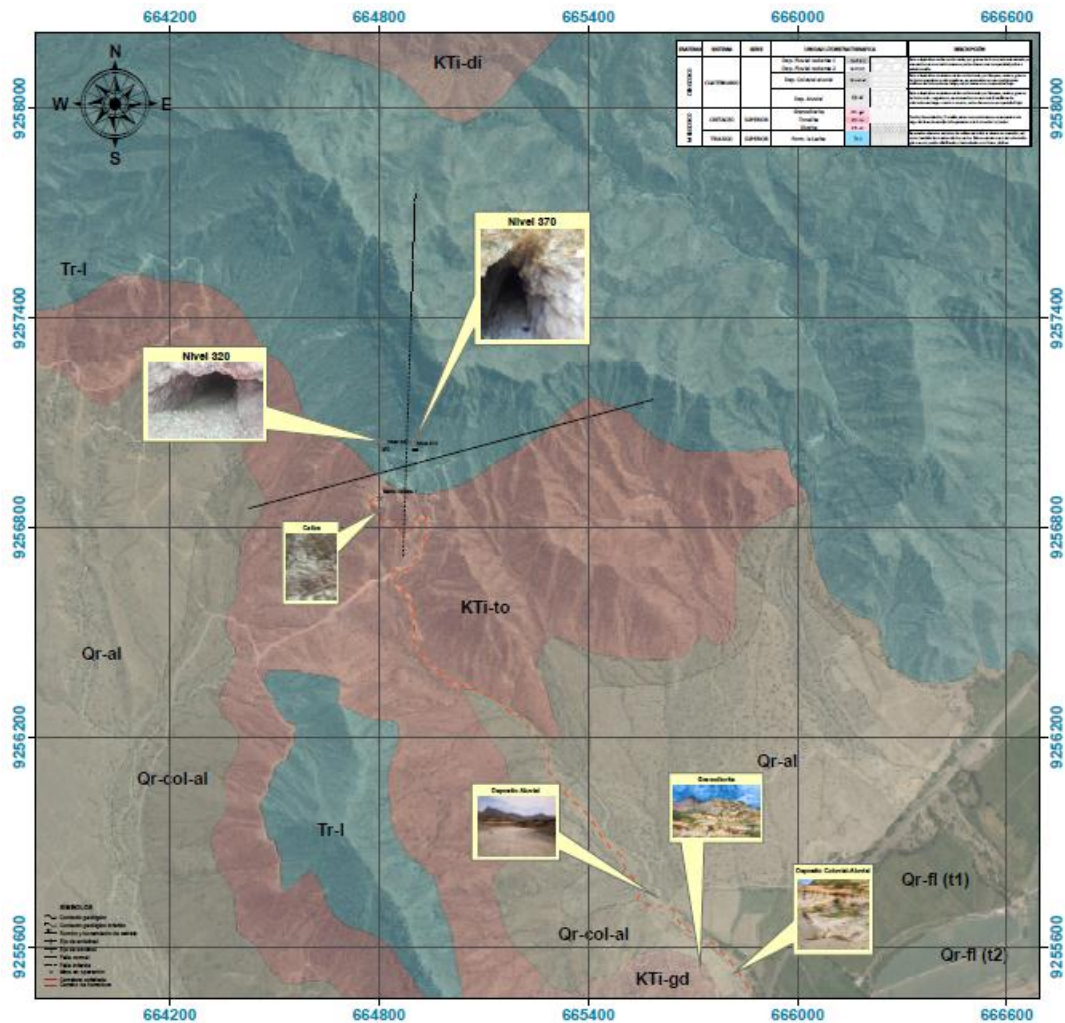


Figura 15. Mapa de Geología Local

Descripción de la labor 370

La galería en el nivel 370 tiene una longitud aproximada de 42 metros y una cobertura de entre 15 a 18 metros, con secciones marcadamente irregulares a medida que se avanza en excavación. La entrada de la galería tiene unas dimensiones de 2.00m x 2.20 m y un azimut de 64°, esta sección no es constante, se ensancha alcanzando los 2.70m x 2.20m; una vez se alcanza una longitud de 6.60m las dimensiones de la sección cambian reduciéndose considerablemente a 1.60m x 2.50m debido a las estratificación sub vertical notoria en la zona izquierda de la excavación, además se aprecia que la altura de la galería aumenta por razones de sobre excavación, esta sección continúa por 3.40m hasta llegar al primer echadero el cual tiene unas dimensiones de 1.40m x 1.90m, y una profundidad de 6 metros, la galería continua 2.20m más en donde la sección se mantiene constante, es necesario

resaltar la presencia de una chimenea sobre el echadero cuyas dimensiones son de 1.5m x 2.2m con una longitud de 15 metros que conecta con la superficie, 1.20 metros más adelante se encuentra el segundo echadero el cual tiene unas medidas de 1.20m x 1.00m y una profundidad de 30 metros, es en este punto donde la sección de la galería cambia de 1.60m x 2.50m a 2.20m x 2.90m, esto es debido a la sobre excavación producto de las condiciones del macizo rocoso y la mala planificación de voladura, esta dimensión continúa por 5 metros más, donde la sección se reduce considerablemente a 1.60m x 2.00m y el azimut se modifica a 55°, esta dimensión continúa por 5.00 metros más, donde se conecta con una estocada cuyas dimensiones son de 1.30m x 1.70m y una longitud de tan solo 2 metros de avance, volviendo a la galería principal nos encontramos una sección de 1.50m x 1.80m con una longitud de 5m y un azimut de 60°, aquí la sección se cambia a 1.60m x 1.80m con una longitud de 7 metros hasta llegar al frente de la galería con un azimut de 65°.

Se determinó que los accesos hacia la unidad minera son un punto crítico a solucionar ya que al encontrarse bloqueados por los deslizamientos impiden el paso de vehículos, personal y equipos necesarios para el reinicio de las operaciones. El análisis de la geología local reveló la presencia de grandes extensiones de agregados fuera de la concesión que podrían ser concesionados y aprovechados al encontrarse cerca de la carretera principal.

Se requiere del perfilado de la sección en el nivel de explotación 370 junto con labores de desatado de rocas sobre todo en el portal de la excavación para evitar daños al personal al empezar con los trabajos de extracción, por otro lado es igual de importante la remoción de material deslizado que cubre la entrada del nivel 320.

Estado actual del sostenimiento

Mina Santa Clotilde 7

Chongoyape 2017

Tabla 16

Estado Actual del Sostenimiento		
ítem	Sub-Ítem	Descripción
Tipo de estructura	-----	Puntales
Tipo de madera	-----	Eucalipto
Deformación	-----	Pandeo de algunos de los puntales debido a los esfuerzos producidos por la roca
Deterioro de origen Abiótico	Humedad	Presenta humedad debido a las lluvias producidas en los meses de febrero a marzo
	Temperatura	No se evidencian defectos por elevadas temperaturas debido a que se encuentran cerca a la superficie.
	Fuego	Las estructuras no se encuentran carbonizadas
	Edad de la estructura	La estructura tiene una antigüedad aproximada de 8 años.
Deterioro de origen Biótico	Pudrición	Se encontraron rastros de este defecto en la madera de manera moderada
	Xilófagos marinos	No se encontró presencia de este fenómeno en la madera
	Insectos	No se observaron insectos que afecten la integridad de la madera.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del nivel 370 el sostenimiento se realiza en su totalidad mediante puntales de eucalipto, este tipo de madera fue empleada debido a su abundancia y buenas propiedades mecánicas, los puntales soportan tanto la chimenea como los dos echaderos, en el primer y segundo echadero los puntales únicamente soportan los primeros metros y tienen una disposición completamente irregular, el diámetro promedio de los puntales es de 10 cm.

La chimenea que conecta con el exterior tiene unas dimensiones aproximadas de 1 metro de ancho y 1.20 metros de largo; aquí los puntales tienen un diámetro de entre 12 a 18 cm con una longitud que varía entre 1.00 a 1.50 metros, colocados de manera irregular.

Los puntales se encuentran dispuestos de múltiples formas. El hecho de que las labores antes mencionadas se encuentran muy próximas las unas con otras, conlleva a que una revisión de manera grupal sea el método más eficiente para su análisis.

El primer parámetro considerado fue la deformación de la madera, se observó un ligero pandeo de algunos de los puntales sobre todo de aquellos ubicados más próximos al exterior como los de la chimenea a consecuencia de las cargas que soportan y los agentes atmosféricos.

La humedad es un factor relevante al estudiar las alteraciones de la madera debido a factores externos, en excavaciones mineras con precipitaciones constantes y elevadas infiltraciones de agua no es recomendable el uso de la madera debido al factor antes mencionado. La zona donde se encuentra la explotación tiene el clima de un bosque seco por lo que la humedad es bastante baja; sin embargo, las lluvias producidas entre los meses de febrero y marzo producto del fenómeno del niño costero en el año 2017 y al ser la labor 370 una excavación provocan un incremento exponencial de este factor causando cambios en la dimensión de la madera haciéndola menos eficiente al momento de soportar las cargas del macizo rocoso.

Otro factor que se tuvo en cuenta es la temperatura, la cual suele estar entre los 24 a 30 °C rango no considerado como extremo, esto sumado al hecho de la cercanía de las estructuras al exterior produce que el aumento de la temperatura debido a la profundidad sea despreciable por lo que el efecto negativo sobre la madera es nulo.

No se observó carbonización sobre la madera en ninguna de las estructuras por lo que el fuego es un factor despreciable en este caso; sin embargo existen en la excavación factores que facilitarían la iniciación de este fenómeno.

Como último agente de deterioro abiótico se encuentra la edad de las estructuras teniendo estas entre 6 a 8 años de antigüedad. La vida útil de la madera es un factor relativo ya que va a depender de las condiciones a las que se encuentra sometida, en algunas excavaciones ha logrado alcanzar casi los 100 años de trabajo sin embargo la falta de mantenimiento por un largo periodo de tiempo como ocurre en este caso hace que la vida útil de los puntales se reduzca considerablemente.

La pudrición es en este caso el agente de deterioro biótico más importante ya que ocurre de manera natural a la materia orgánica, evaluar el grado en el que se encuentra afectando a los puntales es fundamental, pudiéndose observar rastros de este fenómeno sobre la superficie de la madera de manera moderada.

Los otros dos factores a tener en cuenta son los xilófagos marinos y los insectos, no encontrándose presencia de ninguno de ellos en la madera de los puntales por lo que quedan descartados, debido al curado inicial que tuvo la madera antes de ser colocada.

Al analizar todos los factores antes mencionados, especialmente el pandeo que se observa en los puntales y la moderada pudrición, se vuelve evidente la necesidad de reemplazar todos aquellos puntales que presenten estas condiciones ya que repercuten directamente en la integridad estructural, además es necesaria la adición de plantillas que permitan una mejor distribución de las cargas reduciendo el estrés sobre los puntales evitando el pandeo por los esfuerzos de compresión.

Calidad de la roca mediante el índice Q de Barton

Mina Santa Clotilde 7

Chongoyape 2017

Tabla N° 17

Calidad de la roca mediante el índice Q de Barton					
Tramo	Q_{74}	Calidad según Barton	Tipo de Roca según Bieniawski	Sostenimiento según el ábaco de Barton	Sostenimiento según el RMR_{76}
01	0.13	Muy mala	IV	Hormigón proyectado con fibras, 50-90mm y bulonado	Shotcrete de 100-150mm en la corona y 100mm en paredes
02	0.19	Muy mala	IV	Hormigón proyectado con fibras, 50-90mm y bulonado	Shotcrete de 100-150mm en la corona y 100mm en paredes
03	0.21	Muy mala	IV	Hormigón proyectado con fibras, 50-90mm y bulonado	Shotcrete de 100-50mm en la corona y 30mm en paredes
04	0.87	Muy mala	III	Bulonado sistemático con hormigo proyectado	Shotcrete de 100-50mm en la corona y 30mm en paredes
05	1.32	Mala	III	Sin Sostenimiento	Shotcrete de 100-50mm en la corona y 30mm en paredes
06	0.66	Muy mala	IV	Bulonado sistemático con hormigo proyectado	Shotcrete de 100-50mm en la corona y 30mm en paredes
07	1.32	Mala	III	Sin Sostenimiento	Shotcrete de 100-50mm en la corona y 30mm en paredes
08	3.87	Mala	III	Sin Sostenimiento	Shotcrete de 100-50mm en la corona y 30mm en paredes
09	4.02	Regular	III	Sin Sostenimiento	Shotcrete de 100-50mm en la corona y 30mm en paredes

Fuente: Elaboración propia.

Se consideraron un total de nueve tramos, teniendo los ocho primeros una longitud de 5 metros y el último solo dos metros, esto debido a la presencia de fracturas por voladura que pudieran ocasionar resultados erróneos al momento de evaluar los parámetros del índice Q.

La profundidad máxima alcanzada es de 42 metros con una cobertura de 15 metros aproximadamente, el ancho varía entre 1.60 a 2.70 metros reduciéndose conforme se avanza en la excavación, ocurre lo mismo con la altura que varía desde 1.60 a 2.90 metros debido a la sobre excavación producto de la disposición subvertical de

los estratos atraviesa la excavación en forma paralela y al diseño errado en las mallas de perforación y voladura.

El valor del parámetro RQD a lo largo de los nueve tramos de la excavación es relativamente variable, en la primera zona se encontró el valor promedio más bajo (59.23%) debido a la presencia de la bocamina que se encontraba muy alterada por la acción de agentes geológicos externos, se procuró no tomar en cuenta las diaclasas producidas por acción de la voladura ya que podrían haber afectado considerablemente el resultado final, conforme se avanza en la excavación es notoria la mejora en la calidad de la roca lo que se refleja en el aumento del porcentaje del RQD en los últimos tramos alcanzando un valor de hasta 80.35% lo que implica una calidad de roca buena.

La puntuación para J_n se obtuvo a partir del número de los planos principales obtenidos del análisis del diagrama de contornos producto de los datos de la orientación de las discontinuidades. En todos los estereogramas generados se evidencio la presencia de una familia de discontinuidades paralelas a la excavación con una inclinación subvertical lo que ya se había podido apreciar a simple vista en las múltiples observaciones dentro de la labor, esta orientación del macizo rocoso explica la sobre excavación en algunas zonas.

Existieron 3 zonas en las que se tuvo que tener especial cuidado al momento de terminar el parámetro J_n :

En la zona 1 debido a que aquí se presentaron cuatro familias principales de discontinuidades y algunas diaclasas aleatorias sin embargo al tratarse del portal el valor inicial de J_n que era de 15 puntos se duplica pasando a ser 30 cosa que influye considerablemente en el resultado del índice Q. Dentro de la zona 3 donde ubica la chimenea del nivel 370; debido a la presencia de esta estructura, una vez que se determinó el valor de J_n , que en esta zona fue de 12 puntos se triplico el resultado ya que según la clasificación se considera a este punto como intersección quedando el resultado final con una puntuación de 36. Por último la presencia de la estocada en la zona 12 modifico el resultado del parámetro antes mencionado triplicando nuevamente el valor inicial por los mismos motivos que en la zona 3.

El siguiente parámetro que se evaluó fue J_r , la rugosidad fue tomada para la familia de discontinuidades más desfavorables (tanto en términos de resistencia como de orientación). Para determinar este factor se empleó la tabla de perfiles propuesta por Barton que divide a los perfiles en tres clases, escalonados, ondulados y planos además de diversas subclases lo que puede apreciarse en la figura 11 (Anexos) es importante resaltar que conforme aumenta la rugosidad aumenta el valor de este parámetro y por ende el valor del índice Q .

A lo largo de la excavación las diaclasas son cerradas o tienen un desplazamiento de cizalla de 10cm esto último es evidente en la zona de la entrada, la puntuación oscila entre 2 y 3 puntos, estando los valores más bajos en los primeros tramos mientras que para los tramos finales se alcanza la mayor puntuación.

El siguiente parámetro está relacionado con el grado de alteración de las discontinuidades, de forma abreviada J_a , que considera las condiciones de contacto de las discontinuidades y principalmente el tipo de material de relleno de estas. Primero se determinó dentro de qué ítem se encontraban las discontinuidades de la galería, se observaron discontinuidades con contacto entre las paredes y patinas de mineral de relleno (ítem a); otras con desplazamiento entre las paredes y delgados rellenos de mineral (ítem b). El material de relleno encontrado es de tipo arcilloso o en los últimos tramos es producto del mismo desgaste de la roca lo que le confiere mejores propiedades.

Los últimos dos parámetros son J_w y el SRF, el primero varía ligeramente mientras el segundo se mantiene constante; el valor de J_w varió entre 0.66 y 1 debido a que los primeros tramos pueden ser humedecidos por las lluvias, mientras que el resto de las zonas se encontraban completamente secas y sin indicios de filtraciones. Para el parámetro SRF dado que la excavación tiene una cobertura (profundidad) menor a 50 metros y los desprendimientos han ocurrido por la presencia de zonas de debilidad que se interceptan con el eje de la labor además de que en el lado derecho de la excavación se aprecia material arcilloso junto con cuarzo lechoso químicamente desintegrados de baja potencia mucho menos competente que el macizo rocoso del lado izquierdo se toma un valor de SRF de 5 unidades correspondiente al ítem "a".

En la tabla 18 que se muestra a continuación se resume la puntuación de todos los parámetros a lo largo de los nueve tramos de la excavación.

Mina Santa Clotilde 7

Chongoyape 2017

Tabla 18

Resumen por tramo de los parámetros del índice Q									
Tramo/Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RQD (%)	59.23	68.47	75.4	79.03	79.36	71.44	79.36	77.38	80.35
Jn	30	24	36	12	12	36	18	6	6
Jr	2	2	3	3	3	3	3	3	3
Ja	4	4	4	3	3	2	2	2	2
Jw	0.66	0.66	0.66	0.66	1	1	1	1	1
SRF	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: Elaboración propia.

Para establecer el sostenimiento se determinó el diámetro equivalente, en función a la altura de la excavación y la constante ESR, al tratarse de un labor minera permanente de sección pequeña el valor del parámetro ESR se encontraba en el rango de 0.9 – 1.20 sin embargo en las zonas donde se ubicaba el portal, las intersecciones y las zonas afectadas por los mismos se tomó el valor más bajo (0.9), castigando de esta forma el valor final del diámetro equivalente al aumentar su resultado.

La altura de la excavación debido a su carácter variable toma diversos valores según la zona en la que se pretende determinar el sostenimiento, los valores obtenidos estuvieron comprendidos entre 1.80 a 2.90 metros, esta variación como se observó fue producto de la sobre excavación y la caída de material debido a las condiciones del macizo rocoso; el resumen del diámetro equivalente por tramo puede apreciarse en la tabla 19.

Mina Santa Clotilde 7

Chongoyape 2017

Tabla 19

Diámetro equivalente por zona en el nivel 370									
Tramo/Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
H - Altura del Túnel	2.20	2.50	2.50	2.90	2.00	1.80	1.80	1.80	1.80
ESR - Excavation Support Ratio	0.9	0.9	0.9	1.2	1.2	0.9	0.9	1.2	1.2
$D_{e93} = H/ESR$	2.44	2.78	2.78	2.42	1.67	2.00	2.00	1.50	1.50

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de lo cambiante de la altura de la excavación, el diámetro equivalente se mantiene en un intervalo poco variable oscilando entre 2.78 a 1.50, pese a ser un intervalo pequeño tiene un gran impacto a la hora de determinar si la zona requiere o no de fortificación.

Con la información del valor del índice Q y el diámetro equivalente se empleó el ábaco de Barton para establecer el tipo de sostenimiento.

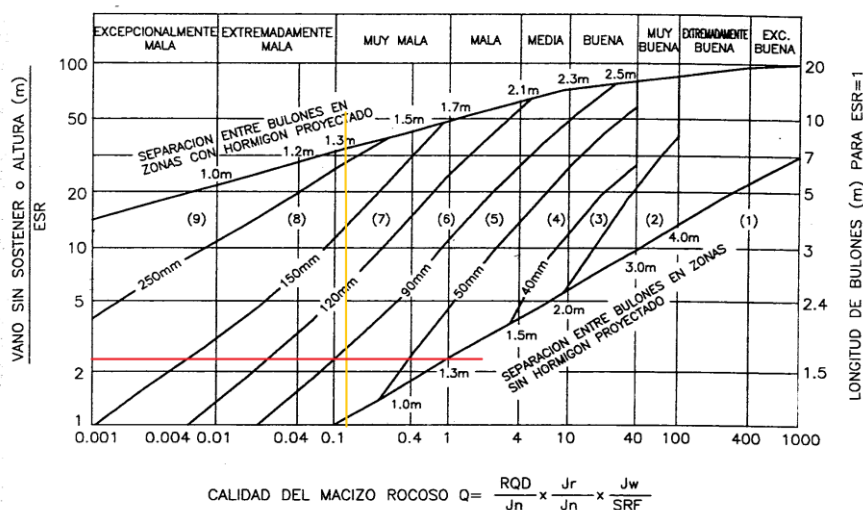


Figura 16. Ábaco de Barton

En la figura 16 se muestra a modo de ejemplo el uso del ábaco de Barton para determinar el sostenimiento en el primer tramo, la zona en donde se intersectan las rectas respectivas a cada uno de los ejes establece el sostenimiento del tramo correspondiente, como se puede observar en la imagen para este caso es la zona 5.

El espaciamiento de los pernos varía para el primer tramo dependiendo de si se emplea hormigo proyectado o no, en el caso de ser empleado el espaciamiento de los pernos será de 1.30 metros aproximadamente mientras que si no se emplea el espaciamiento requerido será de 1.40 metros, la longitud preliminar de los pernos para el primer tramo calculada con la expresión $L = 2 + (0.15xB/ESR)$ a modo de ejemplo es de 2.30 metros, estos parámetros son empíricos y pueden ser modificados según como se presente el macizo rocoso sin embargo proporcionan un rango aproximado sobre el cual se pueden apoyar análisis más profundos.

Para poder lograr un mejor entendimiento del macizo rocoso en el nivel 370 se calculó el valor del Rock Mass Rating (RMR) en base al índice Q mediante la expresión $RMR = 9 * LN(Q) + 44$ propuesta por Bieniawski, adicionalmente esto permitió asignar un tipo de roca según la zona en la que nos encontremos dentro de la labor, los resultados pueden apreciarse en la siguiente tabla.

Mina Santa Clotilde 7

Chongoyape 2017

Tabla 20

RMR y Tipo de Roca en la excavación según Bieniawski									
Tramo/Parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Índice Q	0.13	0.19	0.21	0.87	1.32	0.66	1.32	3.87	4.02
$RMR_{76} = 9 * LN(Q) + 44$	25.7%	29%	29.8%	42.7%	46.5%	39.3%	46.5%	56.2%	56.5%
Tipo de Roca	IV	IV	IV	III	III	VI	III	III	III

Fuente: Elaboración propia.

Como se esperaba al igual que ocurrió con el índice Q los valores para el RMR más bajos se obtuvieron en los primeros tramos, mejorando cerca del frente de la labor, adicionalmente del análisis se pudieron determinar hasta 2 tipos de calidad de roca en toda la excavación; sin embargo, estos resultados son puramente referenciales.

El plano geomecánico mostrado en la figura 17 simplifica los resultados obtenidos a partir de aplicar la clasificación de Barton en cada tramo.

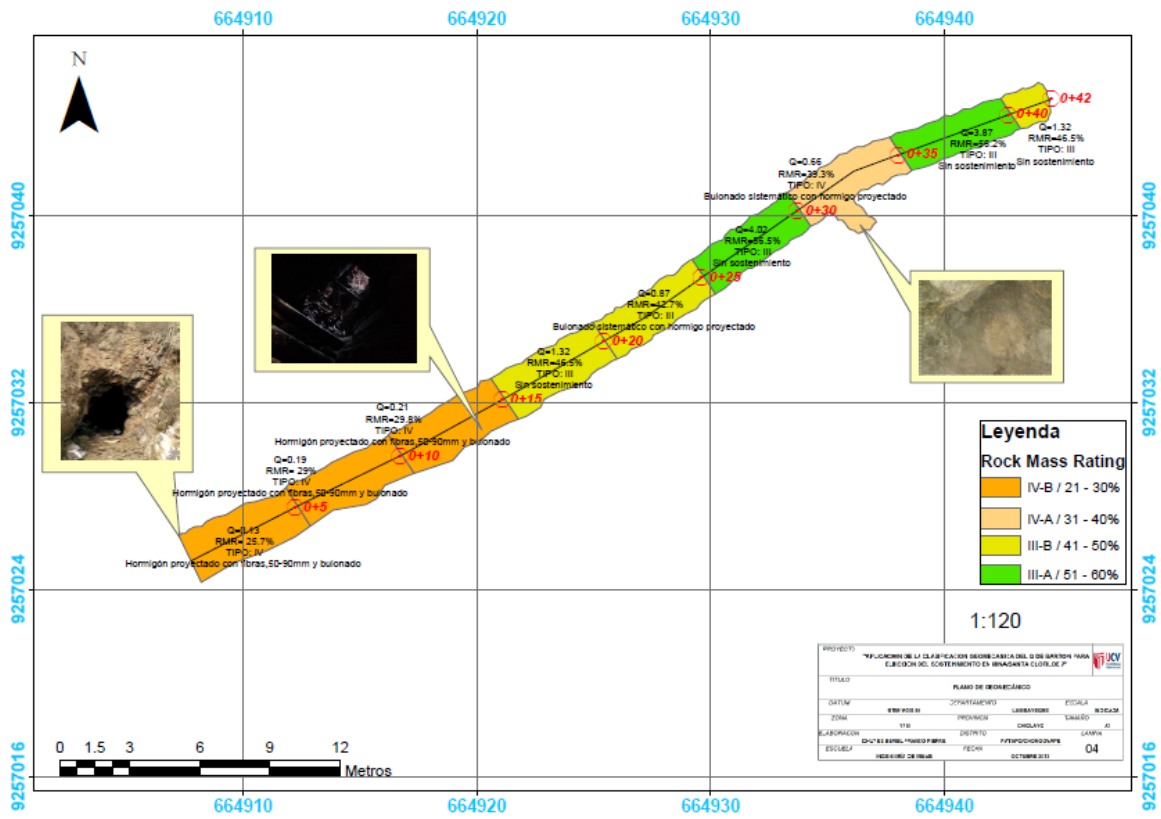


Figura 17. Plano Geomecanico del nivel 370

Descripción del macizo rocoso en términos de los esfuerzos a través de los criterios de rotura

Mina Santa Clotilde 7

Chongoyape 2017

Tabla 21

Caracterización del Macizo Rocos mediante el criterio de Hoek - Brown				
Parámetros	Z₁	Z₂₃₄	Z₅₆	Z₇₈₉
σ_{ci}	112.75 MPa	112.75 MPa	112.75 MPa	112.75 MPa
GSI	30	48	59	72
m_i	26	26	26	26
D	0.8	0.8	0.8	0.8
m_b	0.403	1.177	2.265	4.911
a	0.522	0.507	0.503	0.501
s	2.48×10^{-5}	0.0004	0.002	0.0144
σ_c	0.443 MPa	2.083 MPa	4.954 MPa	13.451 MPa
σ_t	-0.0069 MPa	-0.036 MPa	-0.1 MPa	-0.33 MPa
ϕ°	54.81°	62.61°	65.55°	67.26°
c	0.130 MPa	0.269 MPa	0.500 MPa	1.282 MPa

Fuente: Elaboración propia.

Todos los cálculos y resultados que se describen a continuación sirven como base para lograr un mayor entendimiento de cómo se comporta el macizo rocoso a lo largo de excavación y cuales son alguna de sus propiedades más relevantes.

Para determinar la resistencia de la roca intacta (σ_{ci}) se realizaron ensayos de carga puntual que se pueden apreciar en la figura 28 (Anexos) empleando muestras irregulares, debido a las características que presento el material en la excavación; la roca es de origen ígneo, la fuerza ejercida por el equipo para fracturar la muestra fue en promedio de 37.3 kN.

Luego de realizar el promedio de los resultados finales obtenidos mediante los ensayos, la resistencia a la compresión de la roca intacta fue de 112.75 MPa y el índice de carga puntual promedio fue de 4.9 MPa, comparando estos resultados con los de la tabla 11 (Anexos), la clase de roca es R5 de tipo “muy resistente”. La

descripción detallada de la muestra y los resultados pueden apreciarse en la tabla siguiente:

Mina Santa Clotilde 7

Chongoyape 2017

Tabla 22

Descripción del Ensayo de Carga Puntual										
Descripción	Forma de la Muestra	W1 W2	W promedio	Diámetro cm	(De) ²	P KN	Is MPa	F (De/50) ^{0.45}	Is ₅₀ MPa	σ_{ci} MPa
Ígnea	Irregular	4.1	3.6	2.4	108.57	35.5	4.72	14.426	1.203	108.49
		3.1								
Ígnea	Irregular	4.2	3.85	2.5	120.95	40	4.77	14.426	1.239	109.77
		3.5								
Ígnea	Irregular	4.0	3.7	2.2	102.29	37	5.22	14.426	1.280	120.02
		3.4								

Fuente: Elaboración propia.

El Índice de Resistencia Geológica (*GSI*) caracteriza a la excavación según el grado de alteración, para la galería del nivel 370 se aprecian cuatro zonas distintivas en las cuales la variación de este índice es notoria.

Mina Santa Clotilde 7

Chongoyape 2017

Tabla 23

Índice de Resistencia Geológica por zonas en el nivel 370									
Tramo/ parámetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Estructura del Macizo Rocosos	Fracturada/ Perturbada/ Sórdida	Muy Fracturada	Muy Fracturada	Muy Fracturada	Fracturada	Fracturada	Fracturada	Fracturada	Fracturada
Condición de la superficie	Pobre	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Buena	Buena	Buena
GSI	21 - 34	39 - 51	39 - 51	39 - 51	47 - 63	47 - 63	58 - 74	58 - 74	58 - 74
GSI agrupado	30	48			59		72		

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros faltantes son el la constante del material (m_i) y el factor de disturbancia (D), comparando la muestra con otras de tipo conocido se determinó que está es una tonalita (ígnea intrusiva) debido a esto, de la figura 4 se estima un valor de 26 puntos para el parámetro m_i ; como se aprecia las voladuras fueron de muy mala calidad afectando a todo el macizo rocoso circundante por lo que $D = 0.8$, valor más elevado de disturbancia.

Durante el cálculo es necesario introducir el valor del peso específico del material, los valores de este parámetro se pueden ver en la tabla 24.

Mina Santa Clotilde 7

Chongoyape 2017

Tabla 24

Resumen del Ensayo de Peso Específico									
Tramo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Peso de la roca- gr	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Volumen de la roca-cm^3	92.5	86.8	111.4	121.6	105.1	116.3	122.5	133.3	121.1
Peso específico- MN/m^3	0.0262	0.0264	0.0267	0.0268	0.0269	0.0268	0.0269	0.0269	0.0270
Peso específico agrupado- MN/m^3	0.0262	0.0266			0.0268		0.0269		

Fuente: Elaboración propia.

Se promedian los resultados del peso específico por tramo para que coincidan con los tramos del parámetro GSI , debido a la poca variación que existe entre ellos se toma un único valor promedio para toda la longitud de la excavación, siendo el valor más adecuado $0.027MN/m^3$.

A continuación se detallan los cálculos para la primera zona a modo de ejemplo ya que el resto de resultados se resumieron en la tabla 21 debido a la repetitividad del proceso.

Para z_1 se tienen los siguientes datos:

$$\sigma_{CI} = 112.75$$

$$GSI = 30$$

$$m_i = 26$$

$$D = 0.8$$

Valor reducido de la constante del material - m_b

$$m_b = m_i \times \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$m_b = 26 \times \exp\left(\frac{30 - 100}{28 - 14 \times 0.8}\right)$$

$$m_b = 0.403$$

Constantes a y s

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

$$s = \exp\left(\frac{30 - 100}{9 - 3 \times 0.8}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-30/15} - e^{-20/3} \right)$$

$$s = 2.48 \times 10^{-5}$$

$$a = 0.522$$

Resistencia a la Compresión Uniaxial - σ_c y Resistencia a la Tracción - σ_t

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \chi s^a$$

$$\sigma_t = -\frac{s \sigma_{ci}}{m_b}$$

$$\sigma_c = 112.75 \times (2.48 \times 10^{-5})^{0.522}$$

$$\sigma_t = -\frac{2.48 \times 10^{-5} \times 112.75}{0.403}$$

$$\sigma_c = 0.443 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = -0.0069 \text{ MPa}$$

Resistencia del macizo rocoso σ'_{cm}

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)](m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

$$\sigma'_{cm} = 112.75x \frac{[0.403 + (4x2.48x10^{-5}) - 0.522(0.403 - (8x2.48x10^{-5}))](0.403/4 + 2.48x10^{-5})^{0.522-1}}{2(1+0.522)(2+0.522)}$$

$$\sigma'_{cm} = 8.468$$

Límite superior del esfuerzo de confinamiento σ'_{3max}

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0.47 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}$$

$$\frac{\sigma'_{3max}}{8.468} = 0.47 \left(\frac{8.468}{0.027x18} \right)^{-0.94}$$

$$\sigma'_{3max} = 0.2711$$

Angulo de fricción ϕ' y cohesión c'

Primero determinamos el parámetro σ'_{3n} luego calculamos el valor del ángulo de fricción y la cohesión:

Paso 1

$$\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$$

$$\sigma'_{3n} = 0.2711 / 112.75$$

$$\sigma'_{3n} = 0.0024$$

Paso 2

Angulo de fricción ϕ'

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6x0.522x0.403(2.48x10^{-5} + 0.403x0.0024)^{0.522-1}}{2(1+0.522)(2+0.522) + 6x0.522x0.403(2.48x10^{-5} + 0.403x0.0024)^{0.522-1}} \right]$$

$$\phi' = 54.81^\circ$$

Cohesión c'

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}}$$

$$c' = \frac{112.75x[(1+2x0.522)2.48x10^{-5} + (1-0.522)0.403x0.0024](2.48x10^{-5} + 0.403x0.0024)^{0.522-1}}{(1+0.522)(2+0.522) \sqrt{1 + \frac{6x0.522x0.403(2.48x10^{-5} + 0.403x0.0024)^{0.522-1}}{(1+0.522)(2+0.522)}}}$$

$$c' = 0.130Mpa$$

Al evaluarse todos los resultados correspondientes a cada zona, resumidos en la tabla 23, lo más evidente es que al aumentar el valor del *GSI* (mejor calidad del macizo rocoso) aumentan, tanto la cohesión como el ángulo de fricción interna lo que dificulta el deslizamiento de las cuñas que pudieran formarse o que ya se encuentran a lo largo de la excavación.

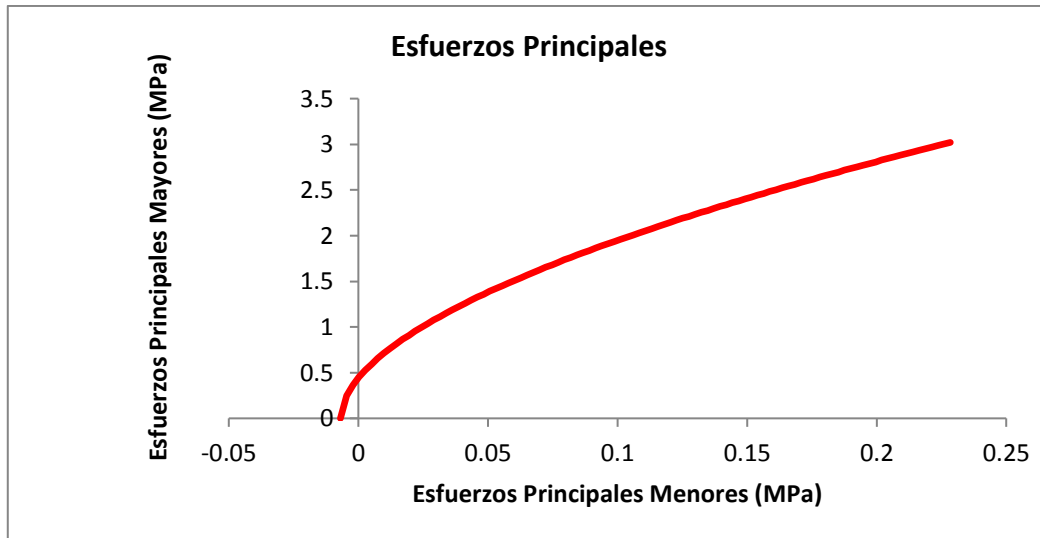


Figura 18. Esfuerzos principales menores (σ_3') vs mayores (σ_1')

La figura 18 en conjunto con los otros gráficos de esfuerzos menores versus esfuerzos mayores presentados en Anexos, muestran las diferentes propiedades mecánicas del macizo rocoso según las condiciones in situ.

En el caso del primer tramo, el gráfico de envolvente resume los resultados obtenidos mediante el cálculo, la zona negativa en el eje de los esfuerzos principales menores σ_3 donde inicia la curva representa la resistencia a la tracción ($\sigma_t = -0.0069$); el punto en la curva donde los esfuerzos principales menores se vuelven nulos, indica la resistencia a la compresión ($\sigma_c = -0.443$), esto interpolarse para el resto de envolventes.

DISCUSIONES

Esta investigación se centró en determinar la calidad de la roca a partir del índice Q de Barton y posteriormente estimar el sostenimiento requerido en la excavación; para llevar a cabo todo esto se realizaron evaluaciones geomecánicas por tramo siguiendo los criterios y puntuación de la clasificación geomecánica de Barton.

Durante la investigación se presentaron diversas dificultades sobre todo en términos de la información disponible pues a pesar del tiempo que la mina llevaba realizando sus operaciones no se elaboraron estudios previos que sirvieran de base.

La metodología empleada para llevar a cabo cada uno de los objetivos propuestos estuvo basada en los procedimientos seguidos en otras investigaciones además de bibliografía publicada por Barton sobre su clasificación geomecánica, en donde se describen las pautas pertinentes para llevar a cabo el proceso, se contó con la guía de asesores expertos en materia geomecánica que validaron la forma en que se llevó a cabo la investigación.

Se logró determinar la calidad de la roca y el sostenimiento para toda la longitud del nivel 370 y del mismo modo se pudo aplicar el criterio de rotura de Hoek – Brown como se había propuesto desde un principio.

Los instrumentos de recolección de información se diseñaron considerando la información requerida para la investigación, para los ensayos de laboratorio los instrumentos se construyeron a partir de la norma ASTM respectiva, todos ellos siendo validados nuevamente por los asesores.

Todos los análisis y pruebas realizadas en campo y laboratorio siguieron un riguroso procedimiento; sin embargo, no se pudieron llevar a cabo todas las pruebas pertinentes en laboratorio ya que no se contó con el tiempo suficiente, pero gracias al carácter descriptivo de las clasificaciones se pudo superar este percance. La información obtenida con los ensayos se comparó con medidas referenciales para muestras de características similares estando los valores dentro del rango pertinente.

Pese a las limitaciones tanto en información como en el número de ensayos de laboratorio, los resultados son confiables debido a la meticulosa toma de información de tal modo que los valores finales fueron concordantes entre sí.

Los resultados a pesar de basarse en información fidedigna obtenida de la excavación son únicamente aplicables al contexto de la unidad minera Santa Clotilde 7 debido al carácter empírico de la clasificación geomecánica de Barton; es necesario recalcar que cada labor minera va a presentar características únicas que son relevantes al momento de estudiarlas.

Con respecto a la hipótesis propuesta en un estudio realizado por Aquilino Bustamante Murillo en 2008 sobre geomecánica aplicada a la prevención de pérdidas por caídas de rocas mina Huanzalá - Cia.minera Santa Lucia S.A. plantea demostrar la gran utilidad de la geomecánica en las operaciones mineras además de servir como un control de la ocurrencia de los incidentes/accidentes por caída de rocas.

Esta hipótesis se centra en la aplicación de la geomecánica en el apartado de la seguridad planteando la reducción de los incidentes producidos por la caída de rocas al mejorar los sistemas de sostenimiento conjetura que queda comprobada en la investigación antes mencionada, esta hipótesis en contraste con la planteada en este estudio es mucho más amplia; sin embargo, con esto se puede comprobar que las clasificaciones geomecánicas son útiles para lograr condiciones estándar de trabajo por tanto ya que en la investigación que se ha realizado se aplica la clasificación Q de Barton para elección del sostenimiento por relación lógica también se podrán evitar las pérdidas, accidentes por caída de rocas, etc.

Al contrastar el procedimiento seguido en la investigación, con el trabajo sobre estimación de la fortificación en un túnel de exploración de roca blanda elaborado por Yuling Quispe Arones en 2012 se pudo ver que en esta última el procedimiento consistió en:

Clasificar el macizo rocoso según Q, luego se selecciona el grado de importancia de la excavación definido mediante el índice ESR (Excavation Support Ratio) que viene a ser un factor de seguridad para luego definir el “diámetro equivalente” De.

El punto de intersección entre la línea horizontal dada por el valor D_e y las líneas oblicuas separan regiones numeradas de 1 a 9 que definen los tipos de sostenimiento desde el tipo I al tipo V que puede variar para cada tramo.

Por lo tanto se puede decir que la metodología empleada es similar a la usada en esta investigación, ya que el procedimiento se encuentra establecido por el autor de la clasificación geomecánica (Barton), esta es la forma más ordenada y precisa para llevar a cabo todo el proceso de selección del sostenimiento, medio que proporcionara un factor de seguridad adecuado para el desarrollo de las labores de explotación sin contratiempos y respetando los estándares establecidos por la normativa minera peruana. Se demuestra que el procedimiento es independiente del tipo de labor que se lleve a cabo (túnel o excavación minera) y el tipo de roca en dicha labor.

CONCLUSIONES

Del análisis del área de estudio se pudo concluir que existen múltiples deficiencias que complican el inicio de las operaciones en la unidad minera Santa Clotilde 7 siendo la principal, el bloqueo de las vías de acceso para los vehículos debido a deslizamientos lo que impide el transporte del personal, material y equipos necesarios en toda labor minera.

De los resultados obtenidos para el segundo objetivo se puede concluir que la forma empleada para fortificar la labor no es la más adecuada debido a que los puntales no se encuentran correctamente dispuestos por lo que no podrían soportar adecuadamente la presión de la masa rocosa, el otro factor determinante es la falta de mantenimiento a los puntales puesto que se observó deterioro de la celulosa de la madera lo que afecta a sus propiedades mecánicas.

Para el tercer objetivo se llegó a la conclusión de que existen cinco zonas que requieren de sostenimiento en la excavación, tanto los cuatro primeros tramos, como el sexto tramo (donde se ubica la estocada), el resto de las zonas evaluadas no lo requieren; los resultados dejan ver que las dimensiones reducidas del nivel 370 benefician a la estabilidad general de la labor y que la calidad va mejorando conforme se avanza en la excavación; sin embargo, la orientación subvertical de los estratos es un factor a tomar en consideración.

Para el tercer objetivo se llegó a la conclusión de que solo existen dos zonas que requieren de sostenimiento en la excavación, tanto el primer tramo (portal) como el tercer tramo (donde se ubica la chimenea), el resto de las zonas evaluadas no lo requieren; los resultados dejan ver que las dimensiones reducidas del nivel 370 benefician a la estabilidad general de la labor y que la calidad va mejorando conforme se avanza en la excavación; sin embargo, la orientación subvertical de los estratos es un factor a tomar en consideración.

Los resultados obtenidos para el cuarto objetivo permitieron conocer las características del macizo rocoso de una manera aproximada gracias a los criterios de rotura, confirmándose que la calidad de la roca mejora conforme se avanza en la

excavación cosa que se aprecia con el aumento de la cohesión y el ángulo de fricción al profundizar en la labor, además los altos valores obtenidos disminuyen las posibilidades de que las cuñas formadas en la excavación se desplacen.

RECOMENDACIONES

Para los futuros investigadores, durante la descripción del área se detectaron múltiples deficiencias sobre todo en lo referente a las vías de acceso, por lo que se recomienda que esta problemática sea abordada en otras investigaciones aceptándose que a un quedan aspectos adicionales por mejorar en dicha unidad minera.

Se recomienda al gerente de la unidad minera Santa Clotilde 7 el reemplazo y modificación de la forma en que se han dispuesto los puntales de madera usados como sostenimiento, ya que la madera presenta señales de debilitamiento además de la implementación de un programa de mantenimiento para estos elementos ya que de esta forma conservaran sus propiedades mecánicas de una manera óptima.

Las resultados ofrecidos por el criterio de rotura de Hoek – Brown debido a su carácter empírico y al limitado número de ensayos que se pudieron llevar a cabo podrían no ofrecer resultados con demasiada confiabilidad, por lo que se recomienda tomar sus valores únicamente como medidas referenciales o en su defecto realizar múltiples ensayos de compresión triaxial, que ofrezcan datos más confiables mejorando la precisión en los resultados obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **ABAD Alvarado, Alan y HUISA Velásquez, Freddy.** Procedimientos de excavación y sostenimiento de túneles proyecto derivación Huascacocha – Rímac. Tesis (Bachiller en Ingeniería Civil). Lima : Universidad Ricardo Palma, 2011.
2. **AYES Zamudio, Juan.** La teoria de bloques aplicada a la mecanica de rocas. Tesis (Bachiller en Ingeniería Civil). Mexico D.F.: Instituto Politecnico Nacional, 2011.
3. **BUSTAMANTE Murillo, Aquilino.** Geomecánica aplicada en la prevención de pérdidas por caída de rocas mina Huanzalá-cía.minera Santa Luisa S.A. Tesis Doctoral (Magister en Ingeniería de Minas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2008.
4. **CARHUAMACA Guerrero, José.** Evaluación y Optimización del Sostenimiento con Cimbras en Minería Subterránea. Tesis (Bachiller en Ingeniería de Minas). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2009.
5. **CASTRESANA González, Leire.** Análisis comparativo de metodología de sostenimiento de túneles. Tesis Doctoral (Magister en Ingeniería de Minas). Oviedo : Universidad de Oviedo, 2016.
6. **CASTRO Rodriguez, Carlos y ZUBIETA Bengolea, Harold.** Análisis y Diseño de la Arquitectura de procesos para la Pequeña Minería procesos de Exploración y Explotación. Tesis (Bachiller en Ingeniería de Sistemas de la Informacion). Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2011.
7. **CCORAHUA Sequeiros, Blas.** La geomecánica en el sostenimiento de la mina Ricotona Lambra 2016. Tesis (Bachiller en Ingeniería de Minas). Abancay : Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac, 2016.

8. **ENGAÑA Erazo, Matías. 2008.** Geoestadística Aplicada a Parámetros Geotécnicos. Tesis (Bachiller en Ingeniería Civil de Minas). Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2008.
9. **GAVILANES, Hernán y ANDRADE, Byron.** Introducción a la Ingeniería de Túneles- Caracterización, Clasificación y Análisis Geomecánico de los Macizos Rocosos. Quito : Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador , 2004. ISBN: 9978-43-452-6.
10. **GONZALES DE VALLEJO, Luis.** Ingeniería Geológica. Madrid : Pearson Educación, 2002. ISBN: 84-205-3104-9.
11. **GONZALO, Escobar. 2016.** Geotecnia para el trópico andino. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2016. No Publicado.
12. **GUARTATANGA Guartatanga, Giovanni. 2013.** Sistema de información geográfica aplicado a la integración de Georeportes y Geoestadística de las empresas eléctricas de distribución del país integrando la información espacial con web services. Tesis Doctoral (Magister en Sistemas de Información Geográfica). Quito : Universidad San Francisco de Quito, 2013.
13. **JUÁRES Ferreras, Rafael.** Sostenimiento de talleres en minas de carbón con entibación hidráulica individual. Tesis (Bachiller en Ingeniería de Minas). Madrid : Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, 2003.
14. En 2015 fallecieron 28 trabajadores del sector minero por accidentes [En línea]. La Republica.PE. 11 de Enero de 2016. [Fecha de consulta: 7 de Setiembre de 2017.] <http://larepublica.pe/sociedad/732825-en-2015-fallecieron-28-trabajadores-del-sector-minero-por-accidentes>.
15. **MIRANDA Carranza, Marú.** Geotecnia para el diseño del túnel Yanango. Tesis (Bachiller en Ingeniería Civil). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2015.

16. **NAVARRO, Salvador, ORTIZ, Raúl y RUIZ, Juan.** Geotecnia Aplicada a la Construcción de Túneles. 2011 [En línea]. [Fecha de consulta: 11 de Setiembre de 2017.] . Disponible en:
https://issuu.com/primiramone/docs/geotecnia_aplicada_a_la_construccion_de_tuneles.
17. **OTEO Mazo, Carlos.** Manual de Ingeniería Geológica. [en línea]. Madrid : Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1981. [Fecha de consulta: 10 de Setiembre de 2017.]. Capítulo 2. Introducción a la mecánica de rocas. Disponible en:
http://info.igme.es/SidPDF%5C067000%5C080%5C67080_0001.pdf.
18. **QUISPE Aronés, Yuling. 2012.** Comportamiento de roca blanda en un túnel de exploración diseñado con el sistema Q. Tesis Doctoral (Magister en Ciencias con mención en Ingeniería Geotécnica). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2012.
19. **RAMIRES, Pedro y ALEJANO, Leandro.** Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. [En línea] 2004 . [fecha de consulta: 8 de Mayo de 2017.]. Disponible en:
http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf.
20. **RIVERA, Hugo.** Geología General. 2ª. ed. Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2005. ISBN: 00982-2004.
21. **RODRÍGUEZ Gómez, Catarino.** Análisis espacial geológico-minero para la definición de áreas de interés prospectivo en los municipios de Actopan y Pachuca, estado de Hidalgo, México. Tesis Doctoral (Magister en Ciencias con mención en Geología). Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2012.
22. **SARI Chalco, Juan y RODAS Andrade, Daniel.** Propuesta del sistema de fortificación que se debe emplear a lo largo de la veta f-10 de la mina subterránea liga de oro de la empresa minera Somilora S.A. Tesis (Bachiller en Ingeniería Civil). Cuenca : Universidad de Cuenca, 2013.

23. **Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía.** Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas. Lima : Comité de Seguridad Industrial, 2004.

24. **TORRES Yupanqui, Luis [et al.]**. Geomecánica aplicada al control de las labores mineras para la minimización de caída de rocas en la minas Madrugada Cía. Minera Huinac SAC-Ancash- 2009. Ancash: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2009.

ANEXOS

Tabla 1. *Coordenadas geográficas de la concesión en sistema WGS84*

Puntos	Este	Norte
P1	665745.26	9257635.92
P2	665745.26	9256635.92
P3	664745.28	9256635.91
P4	664745.28	9257635.90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. *Tipos de clasificaciones de roca*

Nombre de la Clasificación	Creador	Año	País	Aplicación
Rock load	Terzaghi	1946	USA	Túneles
Stand-up time	Lauffer	1958	Austria	Túneles
Rock Quality Designation	Deere	1967	USA	Testigos-Túneles
Sistema RSR	Wickham	1972	USA	Túneles
Sistema RMR	Bieniawski	1973	Sudáfrica	Túneles - Taludes
Sistema Q	Barton	1974	Noruega	Túneles – Cavernas
Sistema SRC	Gonzales de Vallejo	1985-2003	España	Túneles – Taludes
Sistema GSI	Hoek y Brown	1994	USA	Túneles - Taludes

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. *Parámetros y puntuaciones de la clasificación RMR*

Parámetros	Intervalo de valores						
Resistencia a la compresión de la roca	> 250 MPa	250-100 MPa	100-50 MPa	50-25 MPa	25-5 MPa	5-1 MPa	< 1 MPa
valorización	15	12	7	4	2	1	0
RQD	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	< 25%		
valorización	20	17	13	8	3		
Separación entre las	> 2mt	0.6-2mt	200-600mm	60-200mm	< 60mm		

juntas					
valorización	20	15	10	8	5
Condición de las juntas	Muy rugosas, no continuas, cerradas, bordes sanos y duros.	Algo rugosas, separación < 1 mm bordes algo meteorizados (duros).	Algo rugosas, separación < 1 mm bordes muy meteorizados (blandos)	Espejos de falla o relleno < 5 mm o separación 1-5 mm. Continuas.	Relleno blando > 5 mm o separación > 5 mm. Continuas.
valorización	30	25	20	10	0
Flujo de agua entre las juntas	Secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Fluyendo
Filtración en 10m de túnel	0	< 10	10-25	25-125	> 125
Razón de presiones intersticiales	0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	0.5
valorización	15	10	7	4	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Puntuaciones de RQD para el índice Q de Barton

1.Calidad de Testigo RQD		RQD (%)
A	Muy mala	0-25
B	Mala	25-50
C	Media	50-75
D	Buena	75-90
E	Excelente	90-100

Notas:

- Cuando se obtienen valores del RQD inferiores o iguales a 10, se toma un valor de 10 para calcular el índice Q.
- Los intervalos los de 5 unidades para el RQD, es decir. 100, 95, 90, etc., tienen suficiente precisión.

Fuente: Gonzales de Vallejo (2002).

Tabla 5. Puntuaciones de J_n para el índice Q de Barton

2. Índice de Diaclasado		J_n
A	Roca masiva, sin diaclasar o con fisuración escasa	0.5-0.1
B	Una familia de diaclasas	2
C	Una familia y algunas diaclasas aleatorias	3
D	Dos familias de diaclasas	4
E	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias	6
F	Tres familias de diaclasas	9
G	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias	12
H	Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J	Roca triturada, terrosa	20
Notas:		
-En intersecciones de túneles se utiliza la expresión: $3J_n$		
-En la boca de los túneles se utiliza la expresión: $2J_n$		

Fuente: Gonzales de Vallejo (2002)

Tabla 6. Puntuaciones de J_r para el índice Q de Barton

3. Índice de Rugosidad de las Discontinuidades		J_r
a) Contacto entre las dos caras de las discontinuidades		
b) Contacto entre las dos caras de las discontinuidades ante un desplazamiento cortante inferior a 10cm.		
A	Diaclasas discontinuas	4
B	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares	3
C	Diaclasas onduladas, lisas	2
D	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas	1.5
E	Diaclasas planas, rugosas o irregulares	1.5
F	Diaclasas planas, lisas	1.0
G	Diaclasas planas, perfectamente lisas	0.5
Notas:		
-Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y escala intermedia, por este orden.		
c) No existe contacto entre las caras de las discontinuidades ante un desplazamiento cortante.		
H	Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad	1.0
J	Zona arenosa, de gravas o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad	1.0
Notas:		
-Si el espaciado de la principal familia de discontinuidades es superior a 3 m. se debe aumentar el índice J_r en una unidad.		
-En el caso de diaclasas planas perfectamente lisas que presenten lineaciones. y que dichas lineaciones estén orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar el valor $J_r = 0.5$		

Fuente: Gonzales de Vallejo (2002)

Tabla 7. Puntuaciones de J_a para el índice Q de Barton

4. Índice de Alteración de las Discontinuidades		ϕ_r	J_a
a) Contacto entre los planos de las discontinuidades (sin minerales de relleno intermedios)			
A	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos, impermeable, cuarzo	-	0.75
B	Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas	25°-35°	1.0
C	Planos de discontinuidades ligeramente alterados. Presentan minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.	25°-30°	2.0
D	Recubrimientos de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla (no blanda)	20°-25°	3.0
E	Recubrimientos de arcillas blandas o de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clarita, talco, yeso, grafito, etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas	8°-16°	4.0
b) Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm (minerales de relleno en pequeños espesores)			
F	Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	25°-35°	4.0
G	Fuertemente sobreconsolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm)	16°-24°	6.0
H	Sobreconsolidación media a baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero de espesores inferiores a 5mm)	12°-16°	8.0
J	Rellenos de arcillas expansivas, es decir, montmorillonita (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm). El valor de J_a depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas	6°-12°	8-12
c) No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante (rellenos de mineral de espesor)			
K L M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H, y J para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6°-24°	6.8-8-12
N	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, con pequeñas fracciones de arcillas no reblandecibles	-	5.0
O P R	Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso (ver clases G, H y J, para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6°-24°	10-13 o 13-20
<p>Nota:</p> <p>Los valores expresados para los parámetros J_r y J_a se aplican a la familia de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad, tanto por la orientación de las mismas como por su resistencia al corte (esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión: $T \approx \sigma_n \tan^{-1} \frac{J_r}{J_a}$)</p>			

Fuente: Gonzales de Vallejo (2002)

Tabla 8. Puntuaciones de J_w para el índice Q de Barton

5. Factor de reducción por la presencia de agua		Presión de agua (kg/cm^2)	J_w
A	Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 L/min, de forma localizada	< 1	1.0
B	Afluencia a presión media, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades	1-2.5	0.66
C	Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno	2.5-10	0.5
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas	2.5-10	0.33
E	Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar las voladuras, decreciendo con el tiempo	> 10	0.2-0.1
F	Afluencia excepcionalmente alta, o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable	> 10	0.1-0.05
Notas: -Los valores de las clases C, D, E y F son meramente estimativos. Si se acometen medidas de drenaje, puede incrementarse el valor de J_w . -No se han considerado los problemas especiales derivados de la formación de hielo.			

Fuente: Gonzales de Vallejo (2002)

Tabla 9. Puntuaciones del SRF para el índice Q de Barton

6. Condiciones tensiones de la roca		SRF
a) Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del túnel va avanzando		
A	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad)	10
B	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación ≤ 50 m)	5
C	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación ≥ 50 m)	2.5
D	Múltiples zonas de fracturas en roca competente (libres de arcillas), roca de contorno suelta (a cualquier profundidad)	7.5
E	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de excavación ≤ 50 m)	5.0
F	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de la excavación ≥ 50 m)	2.5
G	Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturado, en terrones, etc. (a cualquier profundidad)	5.0

Nota:				
Se reducen los valores expresados del SRF entre un 20-50% si las zonas de fracturas solo ejercen cierta influencia pero no intersectan a la excavación				
b) Rocas competentes, problemas tensionales en las roca		σ_c/σ_1	σ_c/σ_θ	SRF
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasas abiertas	> 200	< 0.01	2.5
J	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables	200-10	0.01-0.3	1
K	Tensiones e levadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10-5	0.3-0.4	0.5-2
L	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5-3	0.5-0.65	5-50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de algunos minutos en rocas masivas	3-2	0.65-1	50-200
N	Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	< 2	> 1	200-400
Notas:				
<p>-Si se comprueba la existencia de campos tensionales fuertemente anisótropicos cuando: $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, disminuyendo el parámetro σ_c hasta $0.75\sigma_c$; si $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, se tomara el valor $0.5\sigma_c$. σ_c es resistencia a la compresión simple, σ_1 y σ_3 son la tensiones principales mayor y menor y σ_θ es la tensión tangencial máxima, estimada a partir de la teoría de la elasticidad.</p> <p>-En los casos en que la profundidad de la clave del túnel es menor que la anchura de la excavación, se sugiere aumentar el valor del SRF entre 2.5 y 5 unidades (véase clase H).</p>				
c) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas presiones litostáticas			σ_θ/σ_c	SRF
O	Presión de deformación baja		1-5	5-10
P	Presión de detonación alta		> 5	10-20
Notas:				
<p>Los fenómenos de deformación o fluencia de rocas suelen ocurrir a profundidades: $H > 350Q^{1/3}$ (Singh et al. 1992). La resistencia a la compresión del macizo rocoso puede estimarse mediante la expresión: $q(MPa) \approx 7 \cdot \gamma \cdot Q^{1/3}$, donde γ es la densidad de la roca en g/cm^3 (Singh, 1993).</p>				
d) Rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.				SRF
R	Presión de expansión baja			5-10
S	Presión de expansión alta			10-15

Fuente: Gonzales de Vallejo (2002)

Tabla 10. *Calidad de la Roca según el índice Q*

Valor	Clasificación
0,001 - 0,01	Roca excepcionalmente mala
0,1 – 1	Roca extremadamente mala
1 – 4	Roca muy mala
4 – 10	Roca mala
10 – 40	Roca media
40 – 100	Roca buena
100 – 400	Roca muy buena
400 – 1000	Roca extremadamente buena

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. *Estimación en terreno de la Resistencia en Compresión Uniaxial*

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (MPa)	Índice de carga puntual	Estimación en el terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita
R5	Muy Resistente	100 – 250	4 - 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5 – 25	Para rocas con una resistencia en compresión uniaxial menor que 25 MPa los resultados del ensayo de carga puntual son poco confiables.	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas pero con dificultad	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 – 5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0.25 - 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

Fuente: Evert Hoek; Edwin T. Brown (1981)

Tabla 12. Parámetros del ESR

Categoría de la Excavación		ESR
A	Labores mineras de carácter temporal, etc.	2 - 5
B	Excavaciones mineras permanentes, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo tuberías forzadas de alta presión), túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1.6 - 2.0
C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de agua, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1.2 – 1.3
D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles.	0.9 – 1.1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fabricas, túneles para tuberías principales de gas.	0.5 - 0.8

Fuente: Barton, Nick; Grimstad, Eystein (2000)

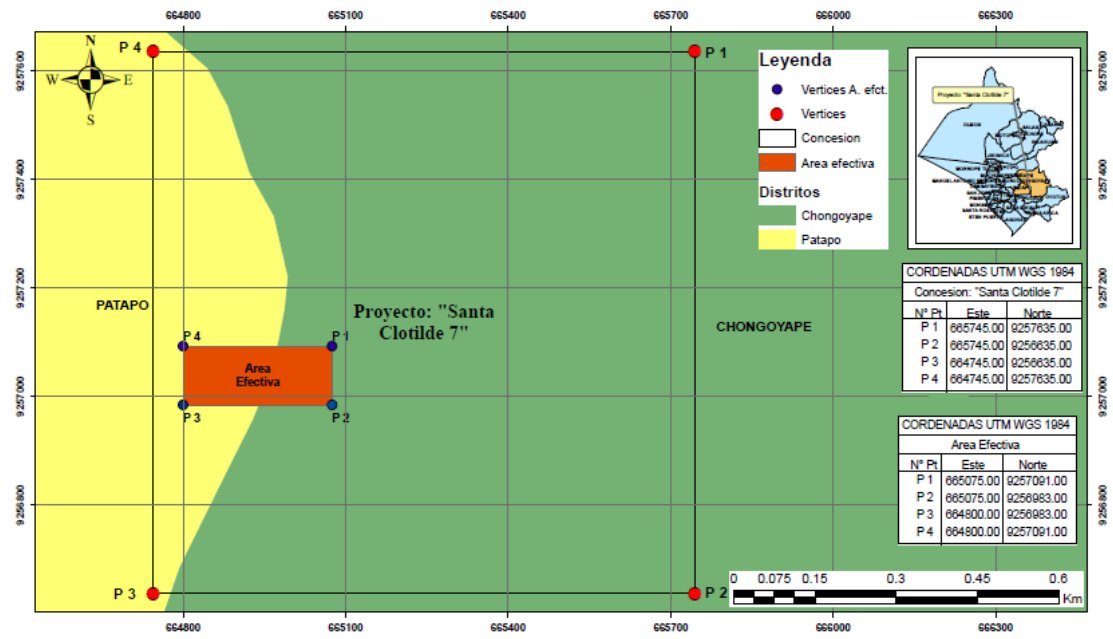


Figura 1. Plano de ubicación de la mina "Santa Clotilde 7"



Figura 2. Condiciones de sostenimiento en la mina "Santa Clotilde 7"

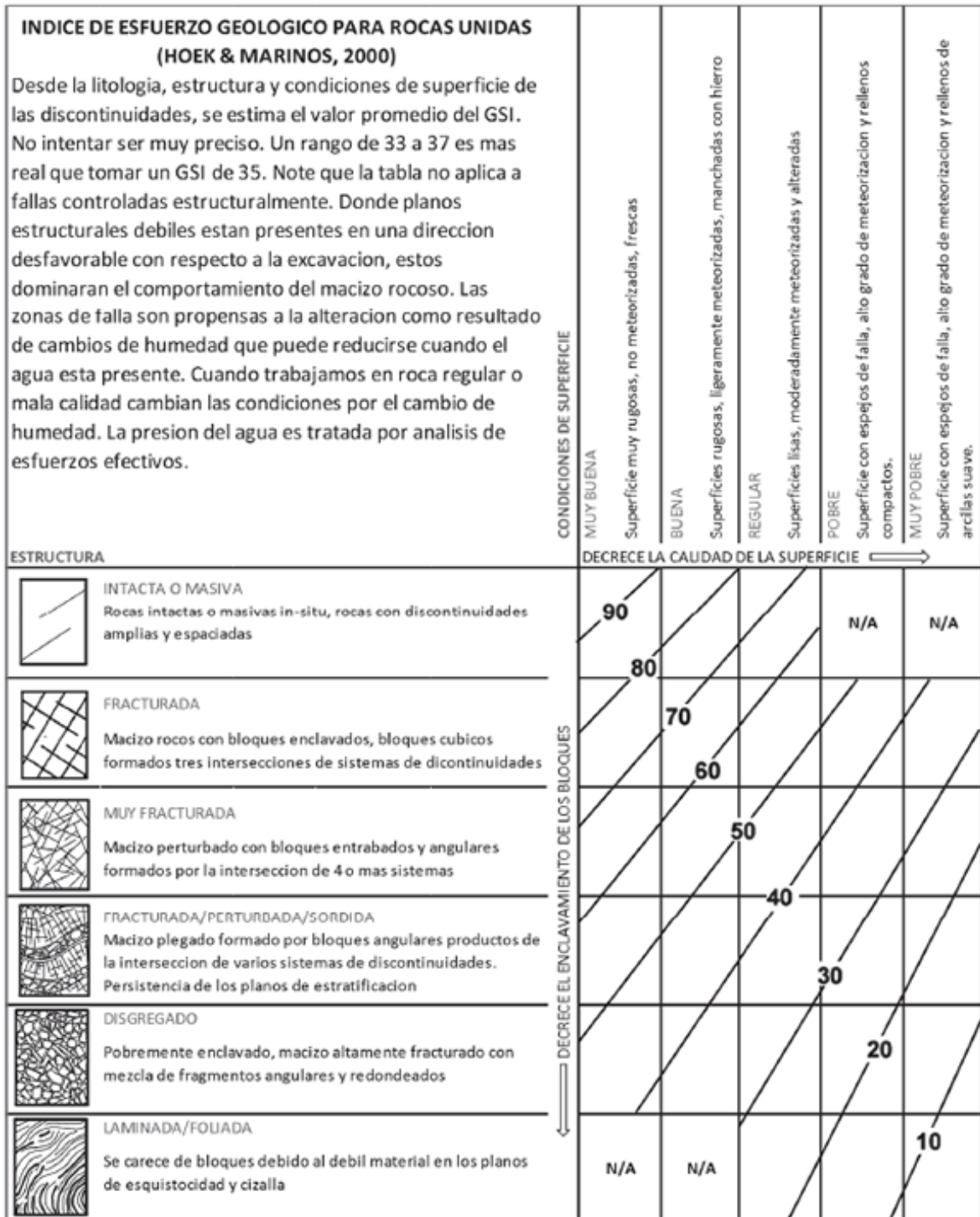


Figura 3. GSI modificado por Hoek y Marianos (2000)

Tipo de Roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy Fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Arcillolita 4
			←----- Grauwaca -----→ (18)			
	No Clásticas	Orgánicas	←----- Creta -----→ 7			
			←----- Carbón -----→ (8 - 21)			
	Carbonatos	Brechas (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8		
	Químicas		Yeso 16	Anhidrita 13		
METAMORFICAS	No Foliadas		Mármol 9	Rocas Cómicas (19)	Cuarcita 24	
	Levemente Foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 25 - 31	Milonitas (6)	
	Foliadas		Gneiss 33	Esquistos 4 - 8	Filitas (10)	Pizarras 9
IGNEAS	Intrusivas	Claras	Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
		Oscuras	Diorita (28)		Andesita 19	
		Gabbro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)		
		Norita 22				
	Extrusivas Piroclásticas		Aglomerados (20)	Brechas (18)	Tobas (15)	

Figura 4. Valores de la constante m_i para distintos tipos de roca




Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor <i>D</i> sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel	<i>D</i> = 0
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante. Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.	<i>D</i> = 0 <i>D</i> = 0.5 No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.	<i>D</i> = 0.8

Figura 5. Valores del factor de disturbancia

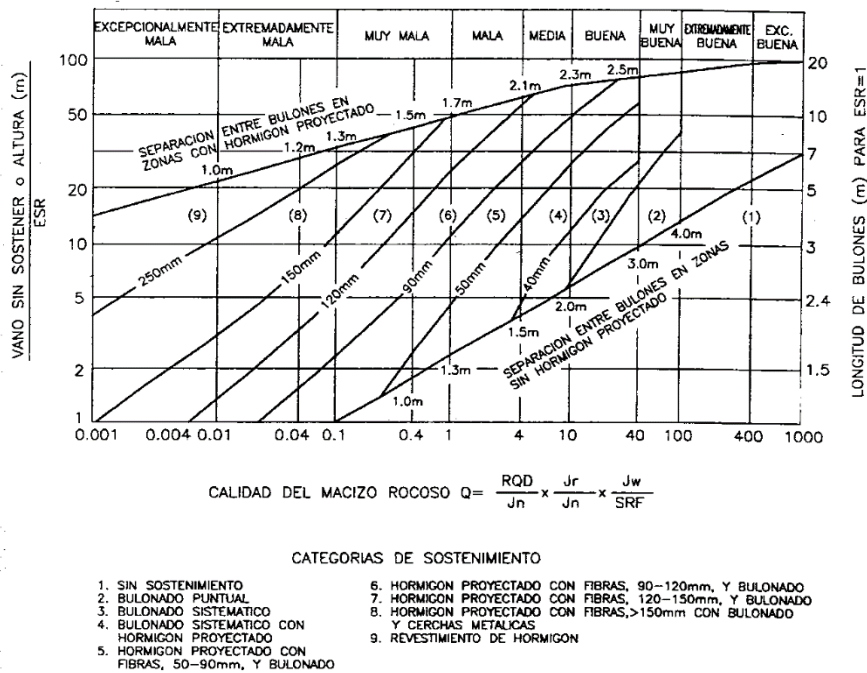


Figura 6. Abaco de Barton para sostenimiento

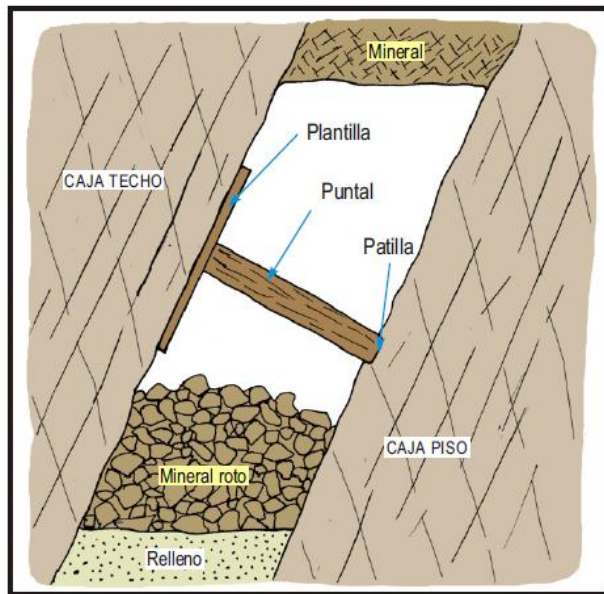


Figura 7. Puntal de madera con sus respectivos componentes



Figura 8. Woodpack aplicado como soporte

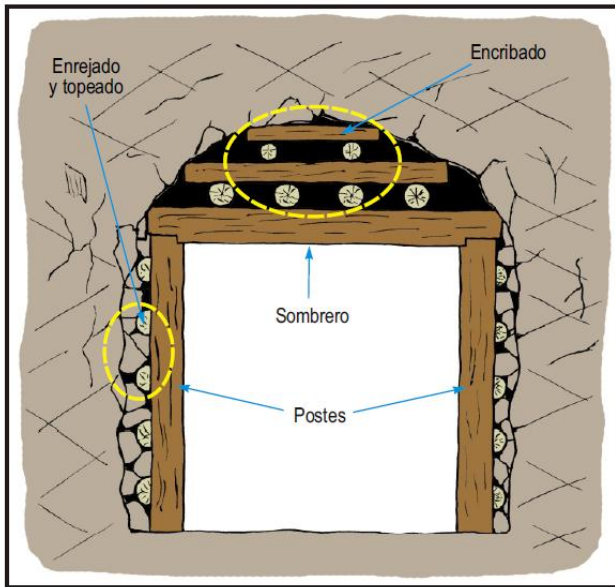


Figura 9. Forma típica de un cuadro de madera

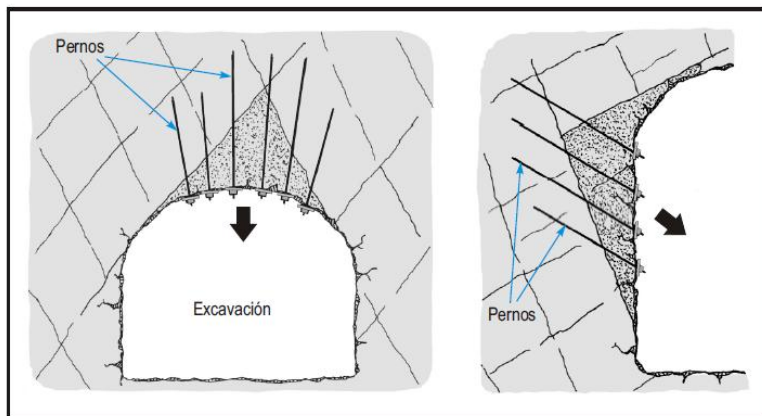


Figura 10. Esquema de colocación de los pernos de roca

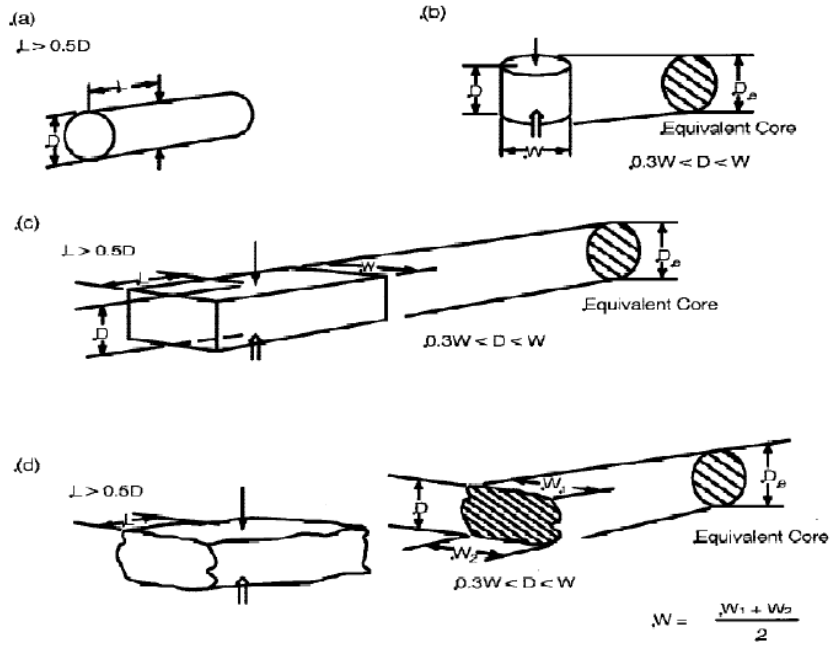


Figura 11. Dimensiones requeridas para el ensayo de carga puntual

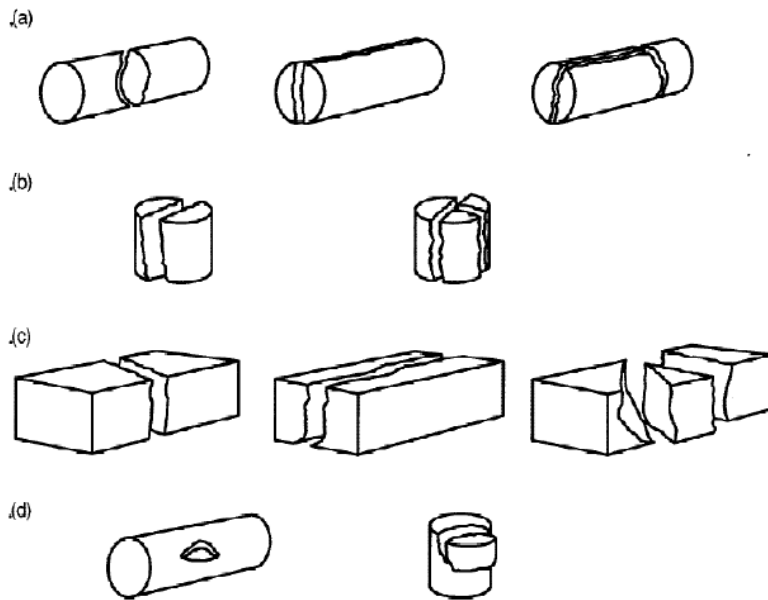


Figura 12. Modos típicos de rotura

Descripción	Perfil	J _r	JRC 200mm	JRC 1 m
Rugosa		4	20	11
Suave		3	14	9
Pulida		2	11	8
	Escalonada	2	11	8
Rugosa		3	14	9
Suave		2	11	8
Pulida		1.5	7	6
	Ondulada	1.5	7	6
Rugosa		1.5	2.5	2.3
Suave		1.0	1.5	0.9
Pulida		0.5	0.5	0.4
	Plana	0.5	0.5	0.4

Figura 13. Abaco de rugosidad propuesto por Barton

Ábacos de Barton

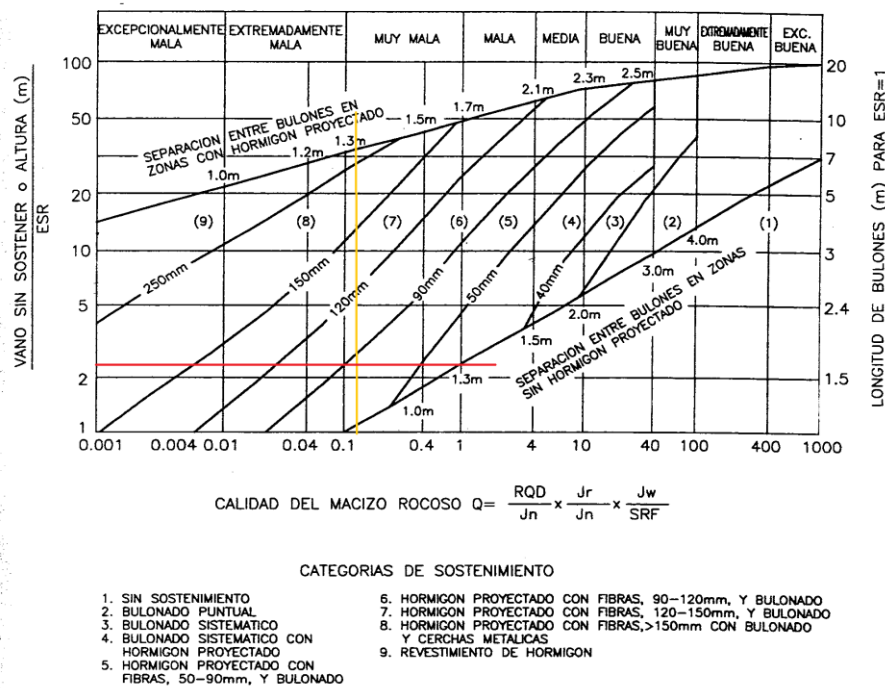


Figura 19. Ábaco para el tramo 1

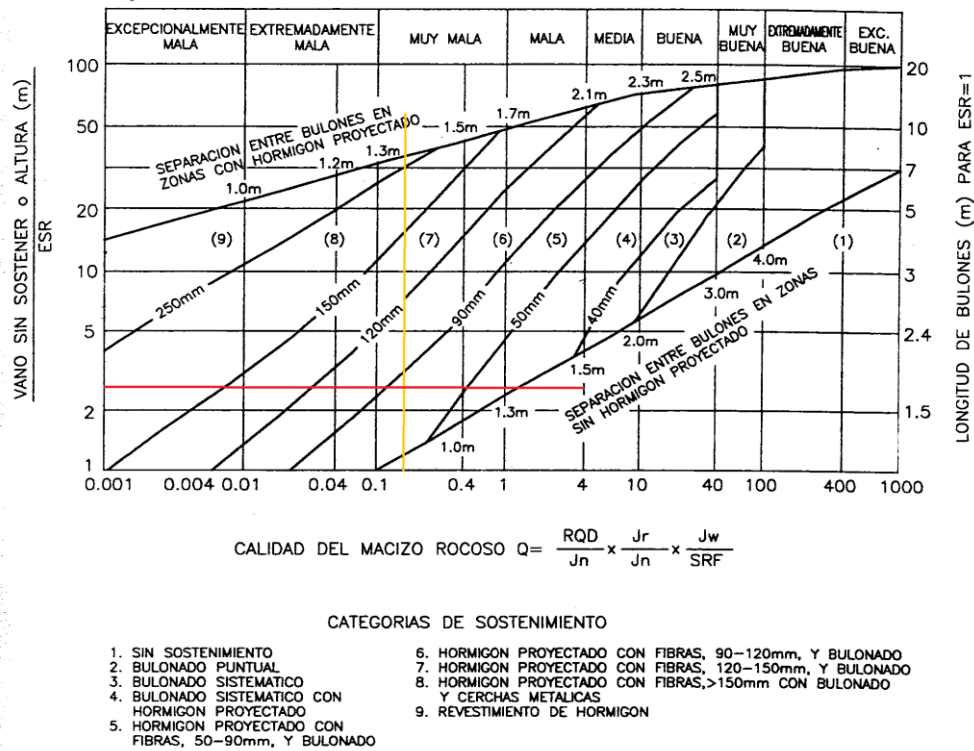


Figura 20. Abaco para el tramo 2

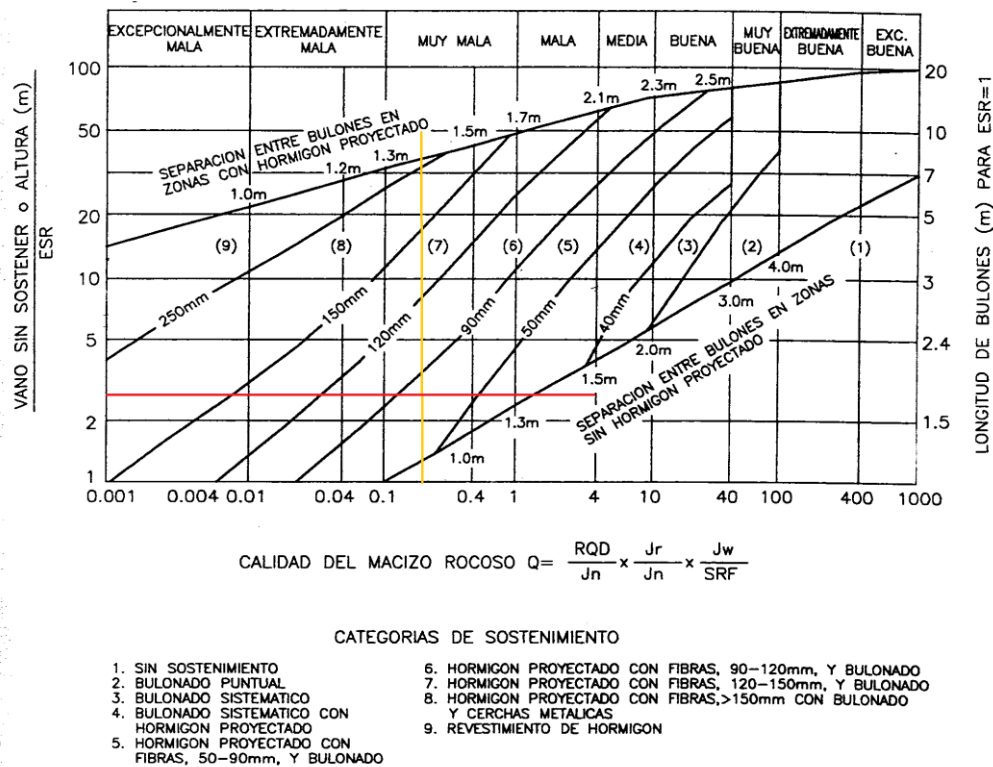


Figura 21. Abaco para el tramo 3

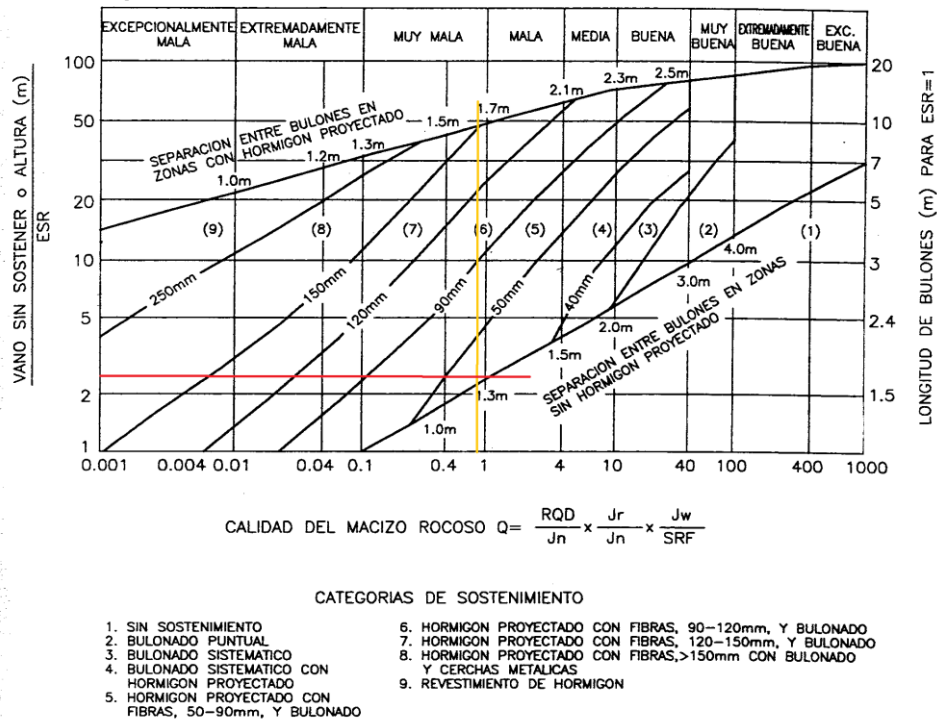


Figura 22. Ábaco para el tramo 4

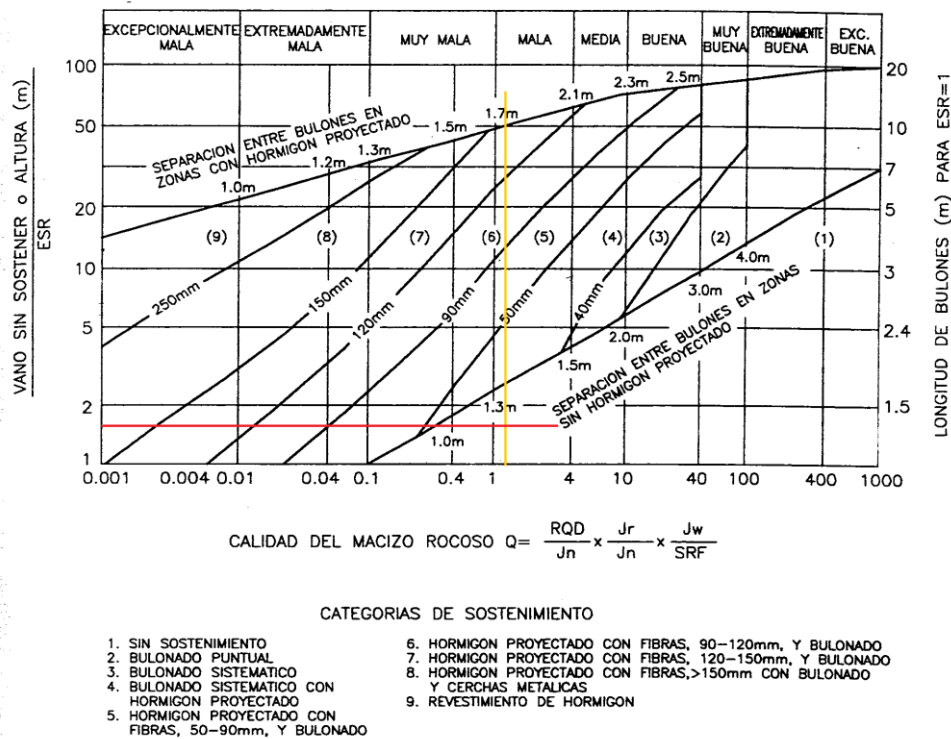


Figura 23. Ábaco para el tramo 5

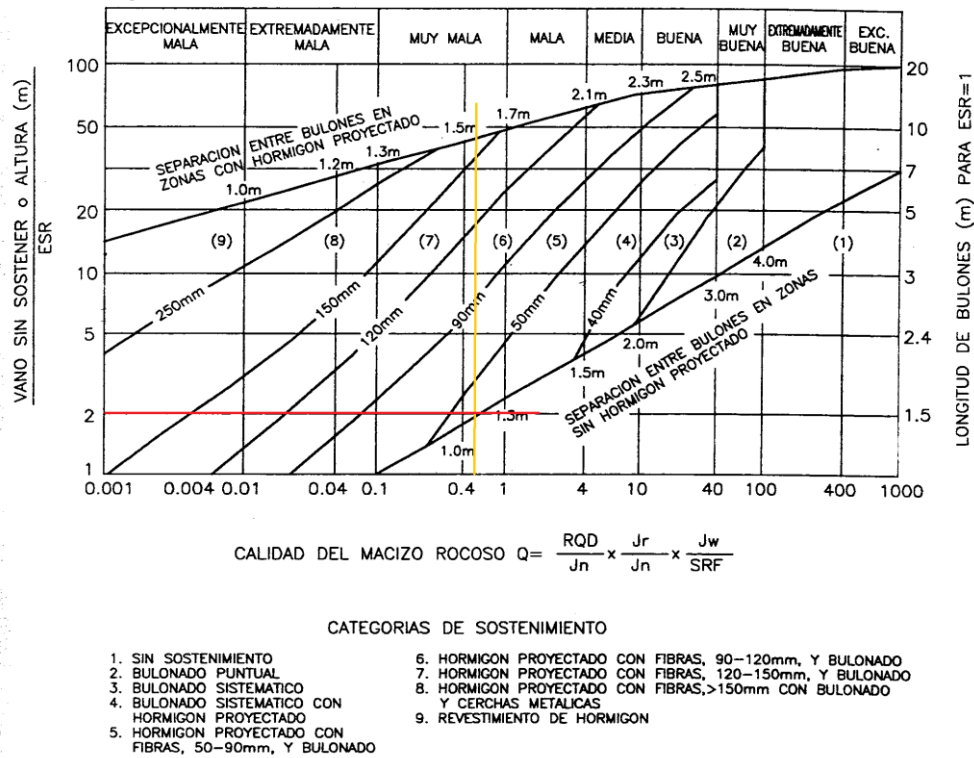


Figura 24. Ábaco para el tramo 6

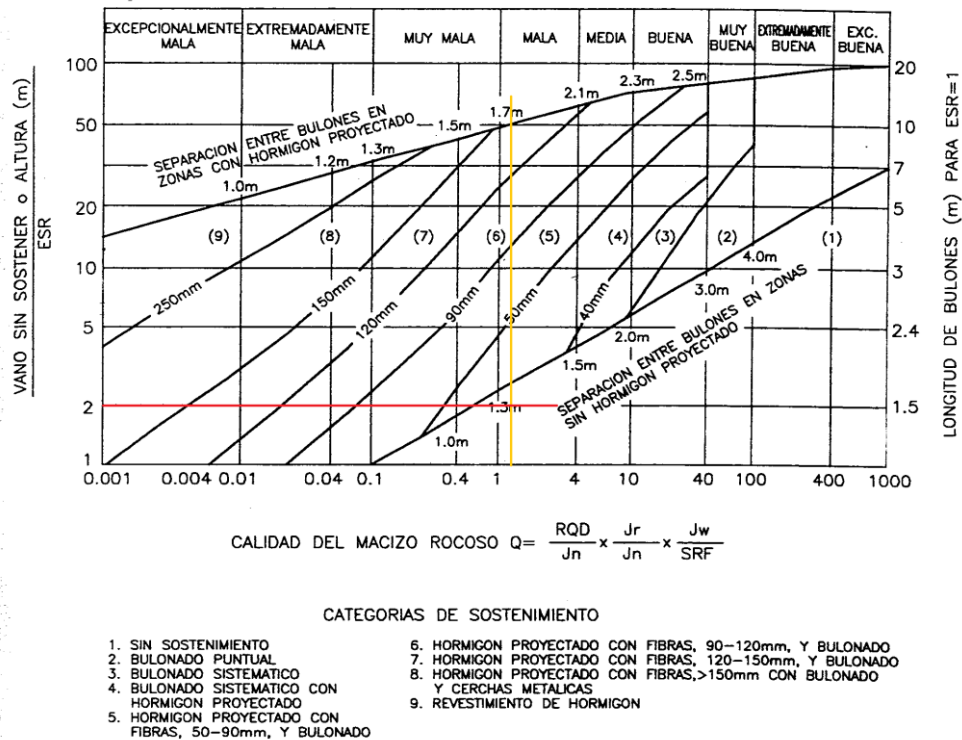
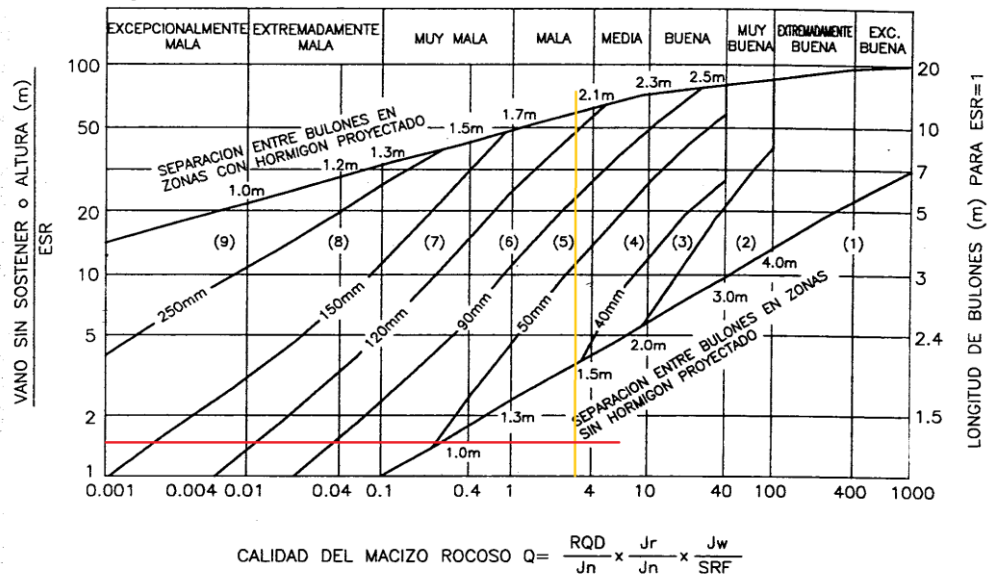


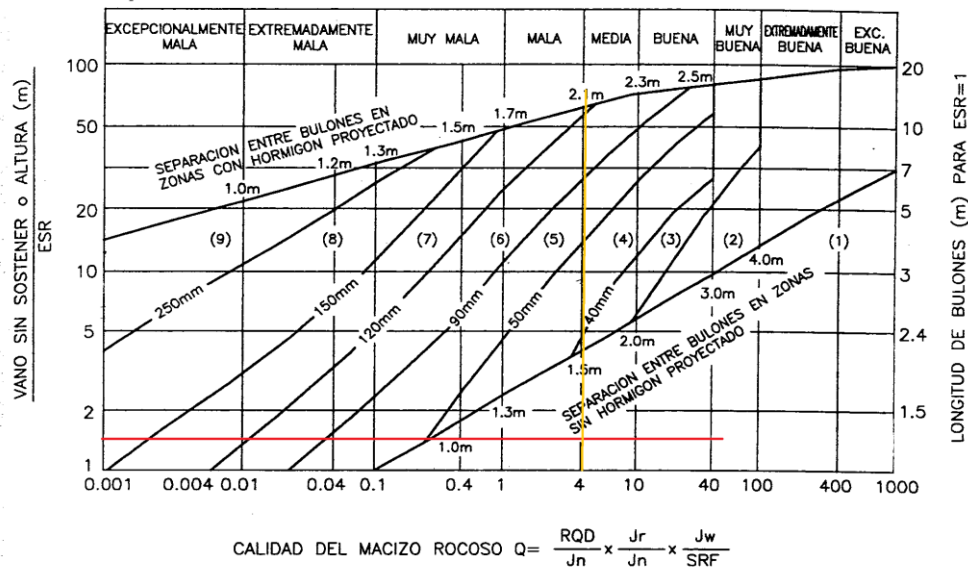
Figura 25. Ábaco para el tramo 7



CATEGORIAS DE SOSTENIMIENTO

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. SIN SOSTENIMIENTO 2. BULONADO PUNTUAL 3. BULONADO SISTEMATICO 4. BULONADO SISTEMATICO CON HORMIGON PROYECTADO 5. HORMIGON PROYECTADO CON FIBRAS, 50-90mm, Y BULONADO | <ol style="list-style-type: none"> 6. HORMIGON PROYECTADO CON FIBRAS, 90-120mm, Y BULONADO 7. HORMIGON PROYECTADO CON FIBRAS, 120-150mm, Y BULONADO 8. HORMIGON PROYECTADO CON FIBRAS, >150mm CON BULONADO Y CERCHAS METALICAS 9. REVESTIMIENTO DE HORMIGON |
|---|--|

Figura 26. Ábaco para el tramo 8



CATEGORIAS DE SOSTENIMIENTO

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. SIN SOSTENIMIENTO 2. BULONADO PUNTUAL 3. BULONADO SISTEMATICO 4. BULONADO SISTEMATICO CON HORMIGON PROYECTADO 5. HORMIGON PROYECTADO CON FIBRAS, 50-90mm, Y BULONADO | <ol style="list-style-type: none"> 6. HORMIGON PROYECTADO CON FIBRAS, 90-120mm, Y BULONADO 7. HORMIGON PROYECTADO CON FIBRAS, 120-150mm, Y BULONADO 8. HORMIGON PROYECTADO CON FIBRAS, >150mm CON BULONADO Y CERCHAS METALICAS 9. REVESTIMIENTO DE HORMIGON |
|---|--|

Figura 27. Ábaco para el tramo 9



Figura 28. Ensayo de Carga Puntual

Figura de Esfuerzos Principales Mayores y Menores

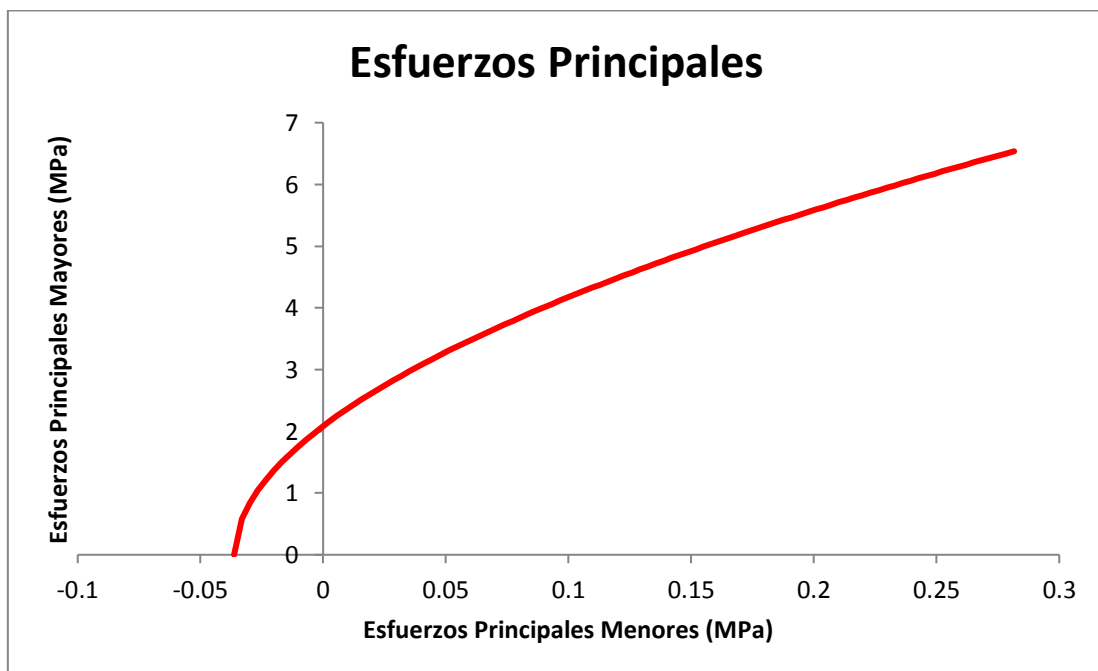


Figura 29. Esfuerzos principales en la sección 2

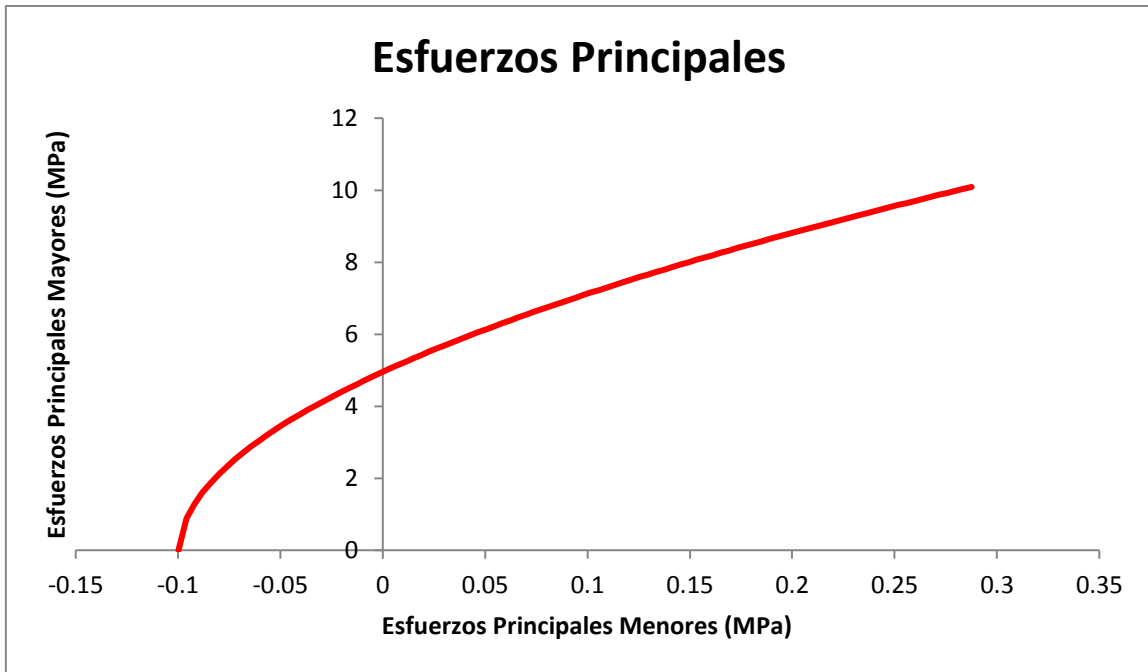


Figura 30. Esfuerzos principales en la sección 3

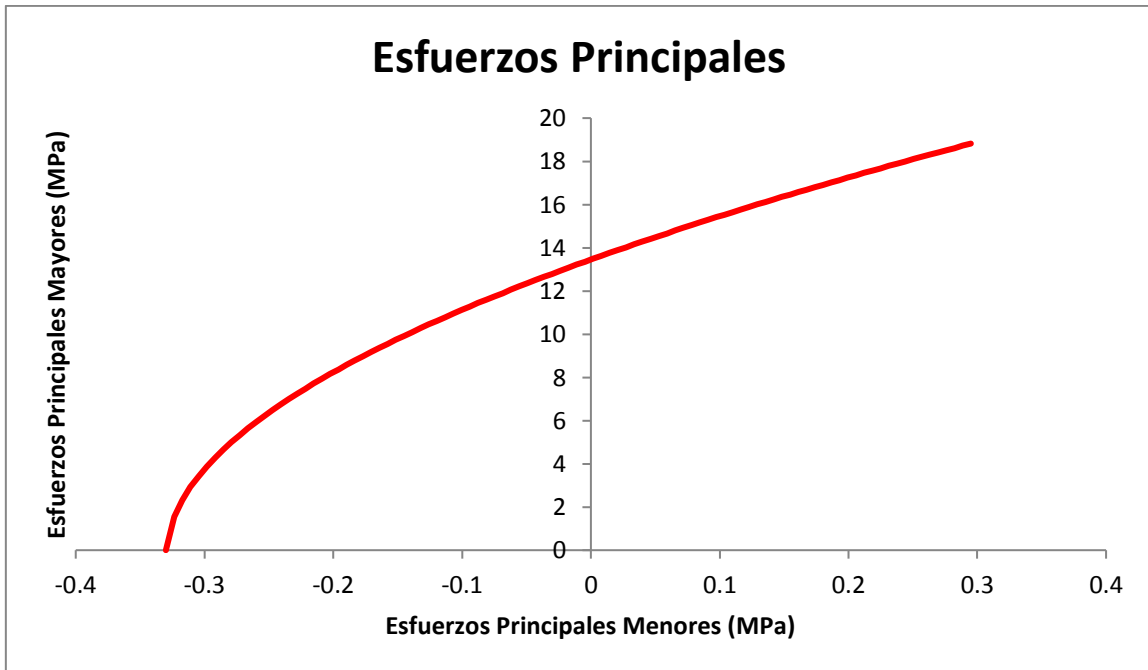


Figura 31. Esfuerzos principales en la sección 4

Anexo 13

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
RECONOCIMIENTO DEL ÁREA
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, la cual está destinada a identificar todos los elementos relevantes para la investigación observados en la unidad minera Santa Clotilde 7.

Fecha:

Nombre del observador:

Hora de inicio / término de la observación:

Lugar de observación:

Nombre: Guía de Reconocimiento del Área

Guía de Reconocimiento del Área		
Ítems	Sub-Ítem	Descripción
Accesos		
Clima		
Galerías de explotación	Nivel 320	
	Nivel 370	
Geología	Local	
	Regional	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 14. Guía “B”: Calidad del macizo rocoso según el índice del Q de Barton



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON

1. Índice de calidad de roca.		RQD (%)
A	Muy pobre.	0 - 25
B	Pobre.	25 - 50
C	Regular.	50 - 75
D	Buena.	75 - 90
E	Excelente.	90 - 100

Nota:

2. Número de sistemas de discontinuidades.		J _n
A	Masiva, sin diaclasas o con fisuración escasa.	0.5 - 1
B	Un sistema de diaclasas.	2
C	Un sistema de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	3
D	Dos sistemas de diaclasas.	4
E	Dos sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	6
F	Tres sistemas de diaclasas.	9
G	Tres sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	12
H	Cuatro o más sistemas de diaclasas, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J	Roca triturada, terrosa.	20

Nota: i.) En intersecciones de túneles se emplea la expresión 3J_n.
ii.) En la boca de los túneles se emplea la expresión 2J_n.

3. Factor de rugosidad de discontinuidades.		J _r
a) Contacto entre las paredes; y, b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10cm.		
A	Diaclasas discontinuas.	4
B	Rugosas o irregulares, ondulantes.	3
C	Lisas, ondulantes.	2
D	Lustrosas, ondulantes.	1,5
E	Rugosas o irregulares, planares.	1,5
F	Lisas, planares.	1
G	Lustrosas, planares.	0,5

Nota: i.) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y a escala intermedia, en ese orden.
c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla.

H	Zona conteniendo minerales arcillosos en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.	1
J	Zona arenosa, de gravas o triturada en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.	1

Nota: i.) Adicionar 1.0 cuando el espaciado entre discontinuidades es superior a 3 m.
ii.) Se puede usar J_r = 0.5 para discontinuidades lustrosas planares que presenten lineaciones, siempre que éstas estén orientadas según la dirección de mínima resistencia.

4. Factor de descomposición de discontinuidades.		Φ, (aprox.)	J _a
a) Contacto entre las paredes (sin minerales de relleno, sólo pátinas).			
A	Discontinuidad cerrada, dura, relleno impermeable, p. e., cuarzo o epidota.	---	0,75
B	Paredes inalteradas, superficies con ligeras manchas de oxidación.	25° - 35°	1
C	Paredes ligeramente alteradas, pátinas de mineral no blando, arenas y partículas libres de arcilla, por desintegración de roca.	25° - 30°	2
D	Capas de arcillas limosas o arenosas, pequeña fracción de arcillas (no blandas).	20° - 25°	3
E	Capas de arcillas blandas o de baja fricción, p. e., caolinita, mica, clorita, talco, yeso, grafito, et c. Pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	8° - 16°	4

b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (delgados rellenos de mineral).

F	Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G	Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	16° - 24°	6
H	Media a baja sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 16°	8
J	Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de J _a depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	6° - 12°	8 - 12

c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla (delgados rellenos de mineral).

K, L, M	Zonas o banda de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	6° - 24°	6, 8 ó 8 - 12
---------	--	----------	---------------

N	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, pequeñas fracciones de arcillas (no blandas).	---	5
O, P, R	Densas zonas o bandas continuas de arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	6° - 24°	10, 13 ó 13 - 20

5. Factor de reducción por contenido de agua.		Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A	Excavaciones secas o flujos menores, p. e., < 5 l/ min, localmente.	< 1	1
B	Flujos o presiones medias, lavado ocasional de rellenos de las discontinuidades.	1 - 2,5	0,66
C	Flujos grandes o altas presiones en roca competente con discontinuidades sin relleno.	2,5 - 10	0,5
D	Flujos grandes o altas presiones, considerable lavado de discontinuidades rellenadas.	2,5 - 10	0,33
E	Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos durante la voladura, deprimiendo con el tiempo.	> 10	0.2 - 0.1
F	Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos, continuando sin depresión notable.	> 10	0.1- 0.05

Nota:

6. Factor de reducción por tensiones.		SRF	
a) Zonas débiles intersectan a la excavación, en las cuáles pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el túnel es excavado.			
A	Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	10	
B	Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).	5	
C	Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).	2,5	
D	Múltiples zonas de cizalla en roca competente (libre de arcilla). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	7,5	
E	Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).	5	
F	Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).	2,5	
G	Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terrones, et c. (cualquier profundidad).	5	

Nota: i.) Reducir esos valores de SRF entre 25 - 50% si las zonas de cizalla relevantes solamente influyen pero no intersectan a la excavación.

b) Roca competente. Problemas tensionales.		σ _c / σ _t	σ _θ / σ _c	SRF
H	Tensiones bajas, cerca de la superficie, fracturas abiertas.	> 200	< 0.01	2,5
J	Tensiones medias, condición de tensiones favorable.	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K	Tensiones altas, estructura muy compacta. Usualmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para los hastiales.	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L	Lajeamiento moderado después de 1 hora en roca masiva.	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M	Lajeamiento y estallido de roca después de unos pocos minutos en roca masiva.	3 - 2	0.65 - 0.1	50 - 200
N	Estallido violento de roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inmediata en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400


Nota: i.) Para campos de tensión fuertemente anisotrópicos (si son medidos); cuando 5<σ_v/σ₃<10, reducir σ_c a 0.75σ_c; cuando σ_v/σ₃<10, reducir σ_c a 0.5σ_c; donde σ_c=resistencia a la compresión uniaxial, σ_v y σ₃ son los esfuerzos principales mayor y menor, y σ_θ=esfuerzo tangencial máxima (estimados de la teoría de elasticidad).
ii.) Pocos casos disponibles se registran donde la profundidad de la corona es menor que el ancho Se sugiere incrementar SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H).

c) Deformación de la roca. Flujos plásticos de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.		σ _θ / σ _c	SR F
O	Presión litostática de deformación suave.	1 - 5	5 - 10
P	Presión litostática de deformación fuerte.	> 5	10 - 20

Nota: i.) Casos de deformación de roca pueden ocurrir para profundidades H<350Q^{1/3} (Singh, et al., 199 L) la resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada de q(Mpa)=0.7γQ^{1/3}, donde γ=densidad de la roca en kN/m³ (Singh, 1993).

d) Expansión de la roca. Actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.		SRF	
R	Presión litostática de deformación suave.	1 - 5	5 - 10
S	Presión litostática de deformación fuerte.	> 5	10 - 20

Nivel	Dist. portal	N° de tabla
-------	--------------	-------------

DETALLES DE LA EXCAVACION			PROYECTO	ESTUDIO GEOMECANICO CON FINES DE SOSTENIMIENTO PARA LA LABOR SUBTERRANEA 370 PERTENECIENTE A LA CONCESION SANTA CLOTILDE 7							
Tramo	Dirección de la excavación (trend)	Buzamiento de la excavación (plunge)	DISTRITOS: PATAPO / CHONGOYAPE	PROVINCIA: CHICLAYO	REGION: LAMBAYEQUE	Estación N°:					
CARACTERISTICAS VISIBLES DE LA EXCAVACIÓN:						Estación N°:	Guía B.0				
LADO IZQUIERDO DE LA EXCAVACION	DISCONTINUIDAD	Orientación de las Discontinuidades			LADO DERECHO DE LA EXCAVACION	DISCONTINUIDAD	Orientación de las Discontinuidades			ESTEREOGRAMA	
		Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)	Observaciones			Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)	Observaciones		
									FOTOGRAFIA		

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 15

Anexo 16

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
CALCULO DEL ROCK QUALITY DESIGNATION
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, la cual está destinada a determinar el RQD y complementar la guía “B” dentro de la mina Santa Clotilde 7.

Fecha:

Nombre del observador:

Hora de inicio / término de la observación:

Lugar de observación:

Nombre: Guía B.1

Jv / Juntas o fisuras por m^3			Jv	$RQD = 115 - 3.3Jv$	
Jv_x	Jv_y	Jv_z		$RQD = 100$ si $Jv = 4.5$	
Notas:					
Nivel		Distancia del portal		N° de tabla	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 17

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
DETERMINACIÓN DEL DIAMETRO EQUIVALENTE
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, la cual está destinada a determinar el diámetro equivalente (D_e) dentro de la mina Santa Clotilde 7.

Fecha:

Nombre del observador:

Hora de inicio / término de la observación:

Lugar de observación:

Nombre: Guía B.2

<i>H</i> / Altura del Túnel	<i>ESR</i> / Excavation Support Ratio	$D_e = H/ESR$			
Notas:					
Nivel		Distancia del portal		N° de tabla	

Fuente: elaboración propia.

Anexo 18

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
DETERMINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS EN LA EXCAVACION
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, la cual está destinada a determinar el Excavation Support Ratio – *ESR* dentro de la mina Santa Clotilde 7.

Fecha:

Nombre del observador:

Hora de inicio / término de la observación:

Lugar de observación:

Nombre: Guía B.3

Categorías en la excavación - ESR									
Categoría/ Tramo	1	2	3	4	5	6	7	8	n..
A (2 - 5)									
B (1.6 - 2.0)									
C (1.2 - 1.3)									
D (0.9 - 1.1)									
E (0.5 - 0.8)									
NOTAS									

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 19

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE SOSTENIMIENTO
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, la cual está destinada al análisis del estado actual de los puntales de madera dentro de la mina Santa Clotilde 7.

Fecha:

Nombre del observador:

Hora de inicio / término de la observación:

Lugar de observación:

Nombre: Guía de Observación “C”

Estado Actual del Sostenimiento		
ítem	Sub-Ítem	Descripción
Tipo de estructura	-----	
Tipo de madera	-----	
Deformación	-----	
Deterioro de origen Abiótico	Humedad	
	Temperatura	
	Fuego	
	Edad de la estructura	
Deterioro de origen Biótico	Pudrición	
	Xilófagos marinos	
	Insectos	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 20

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, está destinada a recoger información Índice de Resistencia Geológica para el nivel 370 en la mina Santa Clotilde 7.

Fecha:

Nombre del observador:

Hora de inicio / término de la observación:

Lugar de observación:

Nombre: Guía de Observación “D”

Tramo	Estructura del Macizo Rocosos	Condición de la superficie
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 21

GUÍA DE OBSERVACIÓN EXPERIMENTAL
ELABORACIÓN DEL ENSAYO DE CARGA PUNTUAL
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, está destinada a recoger información del ensayo de Carga Puntual para rocas extraídas del nivel 370 de la concesión “Santa Clotilde 7”.

Fecha:

Nombre del observador:

Hora de inicio / término de la observación:

Lugar de observación:

Nombre: Guía de Ensayo de Carga Puntual

Descripción	Forma de la Muestra	W1	W2	W promedio	Diámetro cm	(De) ²	P KN	Is MPa	F (De/50) ^{0.45}	Is ₅₀ MPa	σ _c MPa

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 22

GUÍA DE OBSERVACIÓN EXPERIMENTAL
ELABORACIÓN DEL ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, está destinada a recoger información del ensayo de Peso Específico para rocas extraídas del nivel 370 de la concesión “Santa Clotilde 7”.

Fecha:

Nombre del observador:

Hora de inicio / término de la observación:

Lugar de observación:

Nombre: Guía de Ensayo de Peso Específico

Tramo	Peso de la roca- <i>gr</i>	Volumen del fluido- <i>cm³</i>	Volumen del fluido desplazado- <i>cm³</i>	Diferencia de volúmenes- <i>cm³</i>	Peso específico- <i>gr/cm³</i>	Peso específico- <i>MN/m³</i>
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 23

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO

RECONOCIMIENTO DEL AREA

APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, la cual está destinada a identificar todos los elementos relevantes para la investigación observados en la unidad minera Santa Clotilde 7.

Fecha: 07/10/2017

Nombre del observador: Chuyes Benel Franco

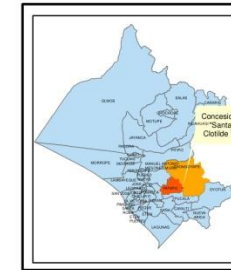
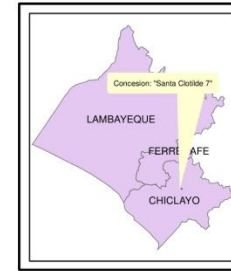
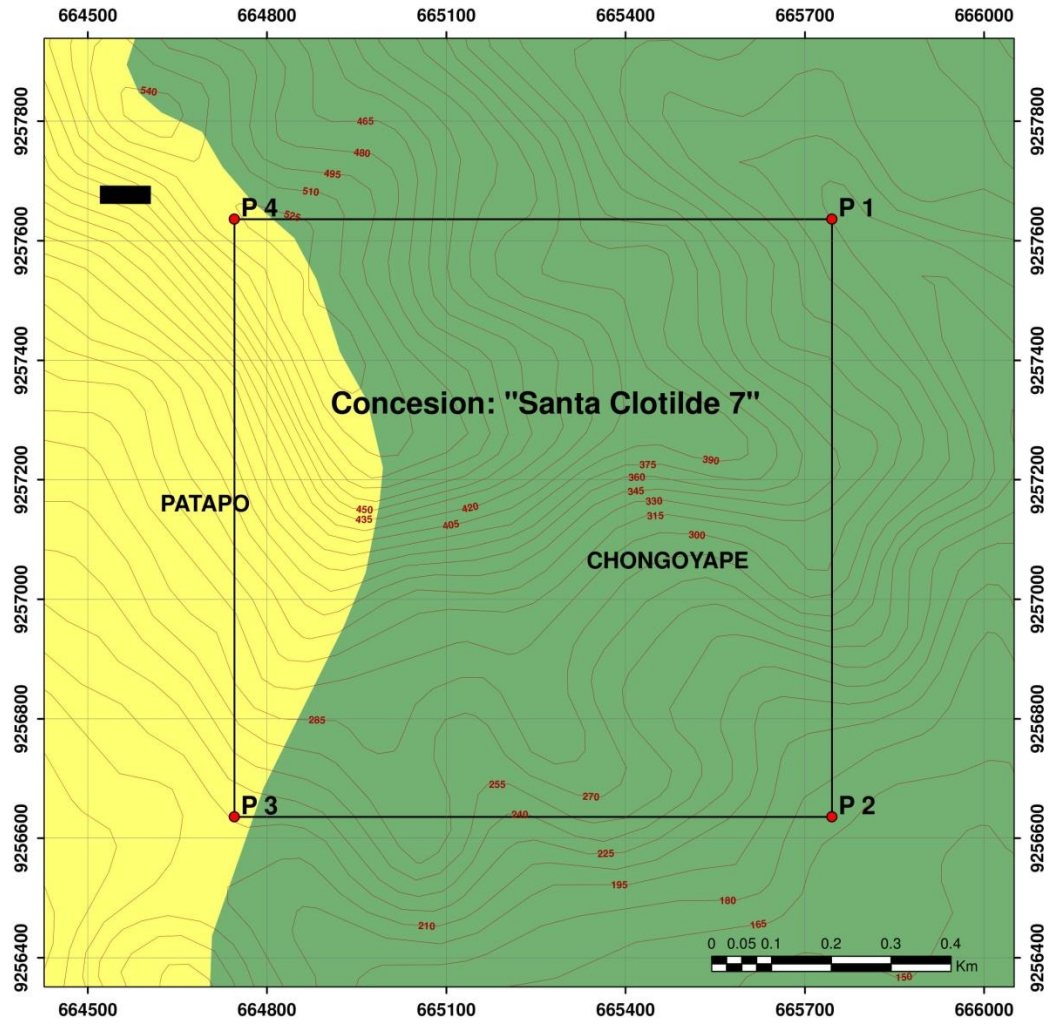
Hora de inicio / término de la observación: 11:00 am a 3:00 pm

Lugar de observación: Santa Clotilde 7

<i>Guía de Reconocimiento del Área</i>		
Ítems	Sub-Ítem	Descripción
Accesos		Para llegar al nivel de explotación es necesario recorrer un camino de herradura sinuoso, que se encuentra bloqueado por deslizamientos debido a las lluvias.
Clima		El clima es seco, con elevada temperaturas que pueden alcanzar los 30 grados descendiendo paulatinamente conforme transcurre el día.
Galerías de explotación	Nivel 320	Galería de exploración con una sección aproximada de 1.5 por 1.80 con una longitud de excavación de 16 metros, presenta elevada humedad adicionalmente un deslizamiento cubrió parte de la entrada.
	Nivel 370	Nivel de explotación que tiene una sección aproximada de 2.50 por 2.80 con una longitud de 42 metros, muy fracturada en el frente mejorando la calidad con forme la profundidad incrementa, se observan a grandes rasgos dos dominios estructurales donde se aprecia una marcada diferencia en las propiedades de la roca.
Geología	Local	En el inicio del camino hacia el campamento se observa material predominantemente aluvial conforme avanzamos se observan pequeñas montañas conformadas principalmente

		<p>por tonalita y diorita todo esto dominado por la formación la leche.</p> <p>En el nivel 370 la veta se emplaza en tonalitas y granodioritas del batolito de la costa. La veta tiene una potencia de 25 cm estrangulándose y desapareciendo a lo largo de la excavación, también se comprobó la existencia de mineral de hierro además de malaquita en pequeñas proporciones.</p>
	Regional	<p>Se observan depósitos aluviales, coluviales, rocas ígneas (granodiorita, tonalita y diorita), se aprecian 3 grandes grupos: gpo Goyllarisquizga, gpo Pullicana y el gpo Quillquiñan. La mayor dominada por la formación la leche.</p>

Plano de Ubicación



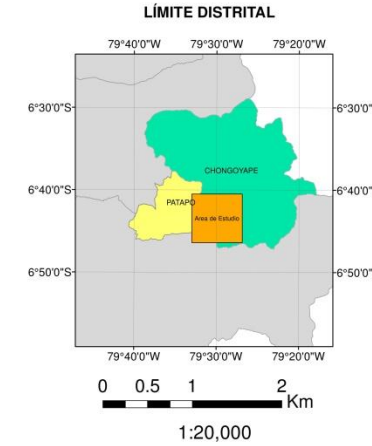
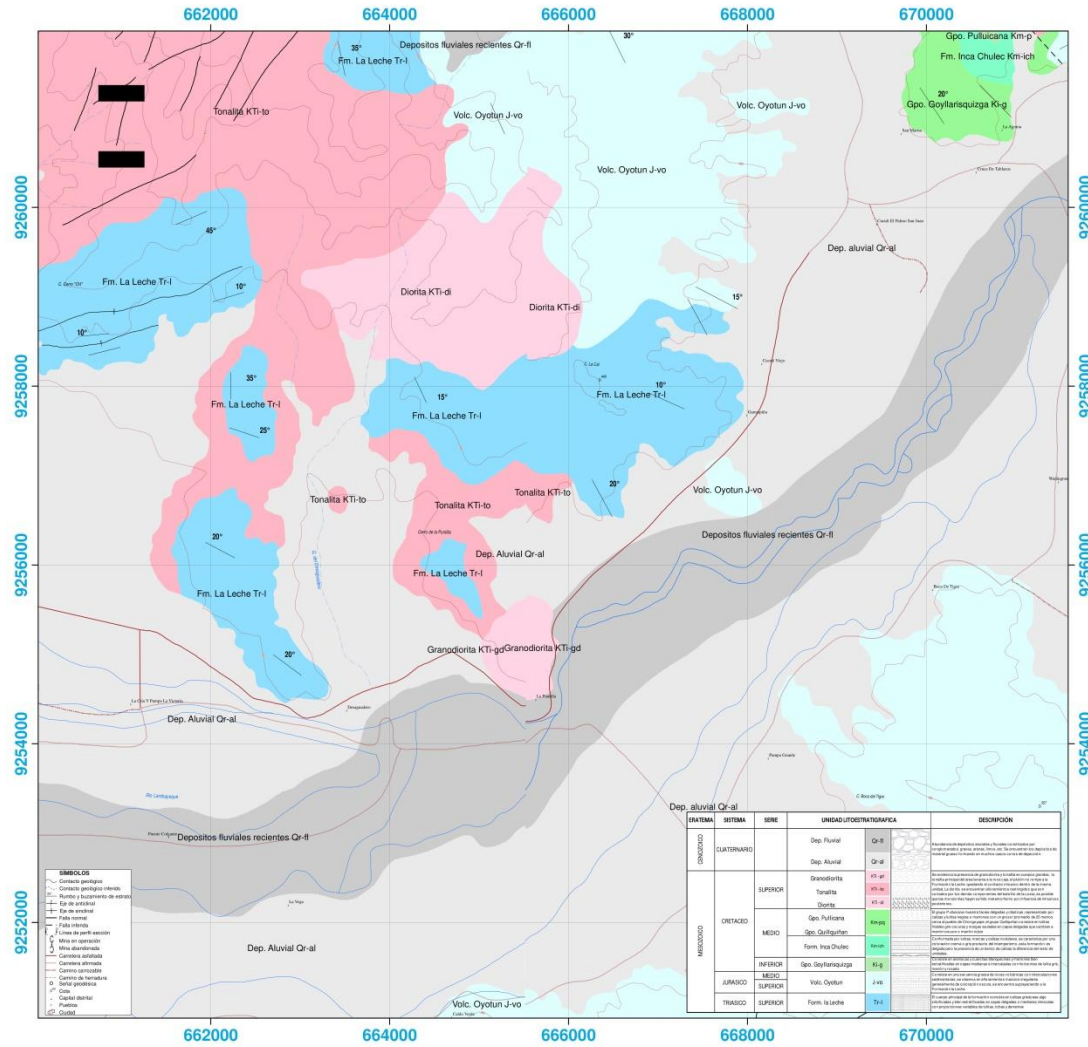
CORDENADAS UTM WGS 1984		
Concesion: "Santa Clotilde 7"		
Nº PI	Este	Norte
P 1	665745.00	9257635.00
P 2	665745.00	9256635.00
P 3	664745.00	9256635.00
P 4	664745.00	9257635.00

Leyenda	
	Vertices
	Concesion
Distritos	
	Chongoyape
	Patapo

1:6,000

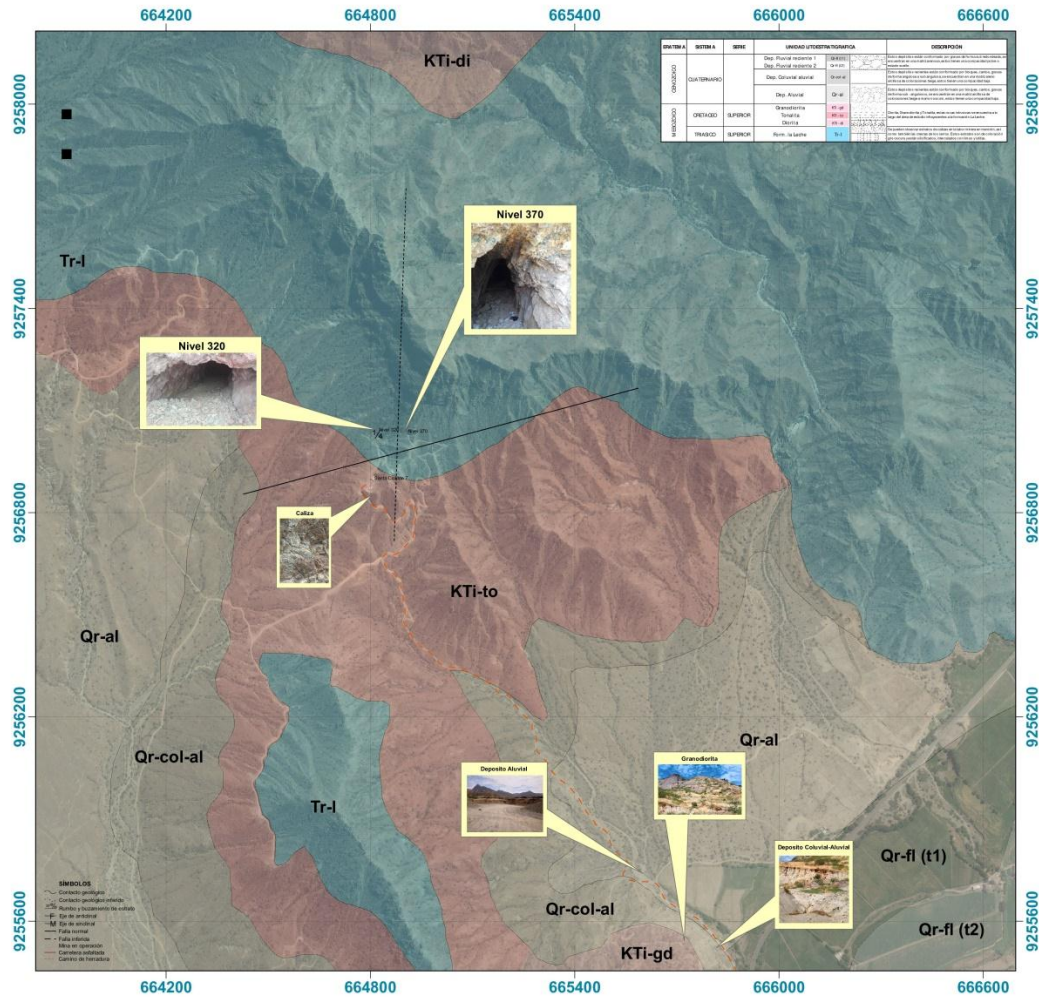
PROYECTO	"APLICACIÓN DE LA CLASIFICACION GEOMECANICA DEL Q DE BARTON PARA ELECCION DEL SOSTENIMIENTO EN MINA SANTA CLOTILDE 7"				
TITULO	PLANO DE UBICACION				
DATUM	UTM WGS 84	DEPARTAMENTO	LAMBAYEQUE	ESCALA	INDICADA
ZONA	17 S	PROVINCIA	CHICLAYO	TAMANO	A3
ELABORACION	CHUYES BENEL FRANCO PIERRE	DISTRITO	PATAPO/CHONGOYAPE	LAMINA	
ESCUELA	INGENIERIA DE MINAS	FECHA	OCTUBRE 2017	U-01	

Plano de Geología Regional

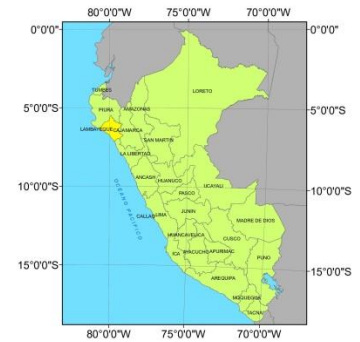


PROYECTO				
"APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECANICA DEL Q DE BARTON PARA ELECCION DEL SOSTENIMIENTO EN MINA SANTA CLOTILDE I"				
TITULO				
PLANO DE GEOLOGIA REGIONAL				
DATUM	UTM WGS 84	DEPARTAMENTO	LAMBAYEQUE	ESCALA
ZONA	17 S	PROVINCIA	CHICLAYO	TAMAÑO
ELABORACION	CHUYES BENEL FRANCO PIERRE	DISTRITO	PATAPOCHONGOYAPE	LAMINA
ESCUELA	INGENIERIA DE MINAS	FECHA	OCTUBRE 2017	02

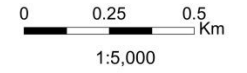
Plano de Geología Local



LÍMITE DEPARTAMENTAL



LÍMITE DISTRITAL



PROYECTO "APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA DEL Q DE BARTON PARA ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA SANTA CLOTILDE II"					
TÍTULO PLANO DE GEOLOGÍA LOCAL					
DATUM	UTM WGS 84	DEPARTAMENTO	LAMBAYEQUE	ESCALA	INDICADA
ZONA	17 S	PROVINCIA	CHICLAYO	TAMAÑO	A3
ELABORACION	CHRYLES BENEL FRANCO FIERRE	DISTRITO	PATAPO/CHONGOYAPE	LÁMINA	03
ESCUELA	INGENIERÍA DE MINAS	FECHA	OCTUBRE 2017		

Anexo 24

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE SOSTENIMIENTO
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, la cual está destinada al análisis del estado actual de los puntales de madera dentro de la mina Santa Clotilde 7.

Fecha: 07/10/2017

Nombre del observador: Chuyes Benel Franco

Hora de inicio / término de la observación: 11:00 am a 3:00 pm

Lugar de observación: Unidad Minera Santa Clotilde 7

Estado Actual del Sostenimiento		
ítem	Sub-ítem	Descripción
Tipo de estructura	-----	Puntales
Tipo de madera	-----	Eucalipto
Deformación	-----	Pandeo de algunos de los puntales debido a los esfuerzos producidos por la roca
Deterioro de origen Abiótico	Humedad	Presenta humedad debido a las lluvias producidas en los meses de febrero a marzo
	Temperatura	No se evidencian defectos por elevadas temperaturas debido a que se encuentran cerca a la superficie.
	Fuego	Las estructuras no se encuentran carbonizadas
	Edad de la estructura	La estructura tiene una antigüedad aproximada de 8 años.
Deterioro de origen Biótico	Pudrición	Se encontraron rastros de este defecto en la madera de manera moderada
	Xilófagos marinos	No se encontró presencia de este fenómeno en la madera
	Insectos	No se observaron insectos que afecten la integridad de la madera.

Anexo 25

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
CALCULO DEL ROCK QUALITY DESIGNATION
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, la cual está destinada a determinar el RQD y complementar la guía 02 dentro de la mina Santa Clotilde 7.

Fecha: 07/10/2017

Nombre del observador: Chuyes Benel Franco

Hora de inicio / término de la observación: 11:00 am a 3:00 pm

Lugar de observación: Unidad Minera Santa Clotilde 7

<i>Jv / Juntas o fisuras por m³</i>			<i>Jv</i>	<i>RQD = 115 - 3.3Jv</i> <i>RQD = 100 si Jv = 4.5</i>	
<i>Jv_x</i>	<i>Jv_y</i>	<i>Jv_z</i>			
10	4	7	21	45.70	
11	4	8	23	39.10	
6	4	5	15	65.50	
3	4	3.5	10.5	80.35	
4	6	5	15	65.50	
Notas: Sector de bocamina, roca muy motorizada debido a agentes geológicos					
Nivel	370	Distancia del portal	0- 5 mtr	N° de tabla	01

<i>Jv / Juntas o fisuras por m³</i>			<i>Jv</i>	<i>RQD = 115 - 3.3Jv</i> <i>RQD = 100 si Jv = 4.5</i>	
<i>Jv_x</i>	<i>Jv_y</i>	<i>Jv_z</i>			
4	5	4.5	13.5	70.45	
5	6	5.5	16.5	60.55	
4	6	5	15	65.50	
5	4	4.5	13.5	70.45	
3	5	4	12	75.40	
Notas: Zona cercana al exterior, un poco menos alterada, el lado opuesto se encuentra mucho más alterado debido a efectos de la voladura y la naturaleza más blanda de la veta.					
Nivel	370	Distancia del portal	5-10 mtr	N° de tabla	02

Jv / Juntas o fisuras por m^3			Jv	$RQD = 115 - 3.3Jv$ $RQD = 100$ si $Jv = 4.5$	
Jv_x	Jv_y	Jv_z			
4	3	3.5	10.5	80.35	
5	5	5	15	65.50	
3	6	4.5	13.5	70.45	
5	3	4	12	75.40	
2	4	3	9	85.3	
Notas: Zona dispuesta en capas subverticales paralelas a la excavación, con muy pocas fracturas por metro. El lado opuesto se encuentra mucho más alterado debido a efectos de la voladura.					
Nivel	370	Distancia del portal	10-15 mtr	N° de tabla	03

Jv / Juntas o fisuras por m^3			Jv	$RQD = 115 - 3.3Jv$ $RQD = 100$ si $Jv = 4.5$	
Jv_x	Jv_y	Jv_z			
4	4	4.5	12.5	73.75	
3	3	3	9	85.30	
3	4	3.5	10.5	80.35	
4	3	3.5	10.5	80.35	
3	5	4	12	75.4	
Notas: Roca de buena calidad, poca generación de discontinuidades debido a la voladura salvo en el lado opuesto donde se aprecia un macizo rocoso más alterado.					
Nivel	370	Distancia del portal	15-20 mtr	N° de tabla	04


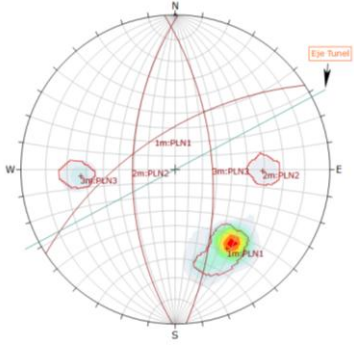

Jv / Juntas o fisuras por m^3			Jv	$RQD = 115 - 3.3Jv$ $RQD = 100$ si $Jv = 4.5$
Jv_x	Jv_y	Jv_z		
4	3	3.5	10.5	80.35
5	2	3.5	10.5	80.35
3	4	3.5	10.5	80.35
5	4	4.5	13.5	70.45
4	2	3	9	85.30
Notas: Roca muy poco afectada por voladura con una calidad un poco superior a la de tramos anteriores sin embargo se evidencian diversas diaclasas en zonas puntuales.				


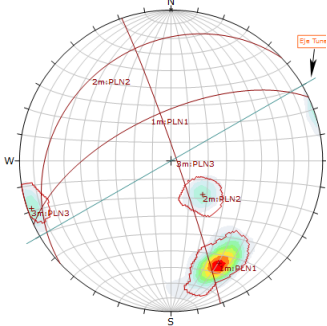

Jv / Juntas o fisuras por m^3			Jv	$RQD = 115 - 3.3Jv$ $RQD = 100$ si $Jv = 4.5$	
Jv_x	Jv_y	Jv_z			
5	4	4.5	13.5	70.45	
3	4	3.5	10.5	80.35	
5	5	5	15	64.5	
5	4	4.5	13.5	70.45	
4	5	4.5	13.5	70.45	
Notas: roca de buena calidad sin embargo los efectos de la voladura se hacen más evidentes disminuyendo su calidad.					
Nivel	370	Distancia del portal	25-30 mtr	N° de tabla	06


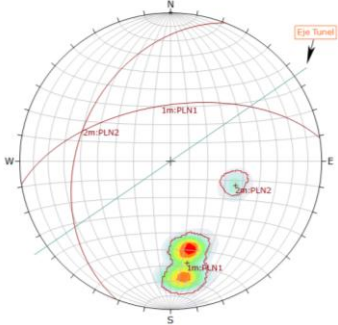

Jv / Juntas o fisuras por m^3			Jv	$RQD = 115 - 3.3Jv$ $RQD = 100$ si $Jv = 4.5$	
Jv_x	Jv_y	Jv_z			
4	4	4	12	75.40	
3	4	3.5	10.50	80.35	
5	3	4	12	75.40	
4	4	4	12	75.40	
3	2	2.2	7.5	90.25	
Notas: roca ígnea con muy pocas discontinuidades, de gran resistencia a ambos lados de la excavación					
Nivel	370	Distancia del portal	30-35 mtr	N° de tabla	07

Jv / Juntas o fisuras por m^3			Jv	$RQD = 115 - 3.3Jv$ $RQD = 100$ si $Jv = 4.5$	
Jv_x	Jv_y	Jv_z			
4	4	4	12	75.40	
4	3	3.5	10.5	80.35	
3	4	3.5	10.5	80.35	
4	4	4	12	75.40	
3	5	4	12	75.40	
Notas: roca ígnea con muy pocas discontinuidades, de gran resistencia a ambos lados de la excavación.					
Nivel	370	Distancia del portal	35-40 mtr	N° de tabla	08

Jv / Juntas o fisuras por m^3			Jv	$RQD = 115 - 3.3Jv$ $RQD = 100$ si $Jv = 4.5$	
Jv_x	Jv_y	Jv_z			
4	3	3.5	10.5	80.35	
3	4	3.5	10.5	80.35	
Notas: Se mantiene la buena calidad de la roca, lo que se demuestra con el elevado RQD					
Nivel	370	Distancia del portal	40-42 mtr	N° de tabla	09

DETALLES DE LA EXCAVACION			PROYECTO	ESTUDIO GEOMECANICO CON FINES DE SOSTENIMIENTO PARA LA LABOR SUBTERRANEA 370 PERTENECIENTE A LA CONCESION SANTA CLOTILDE 7						
Tramo	Dirección de la excavación (trend)	Buzamiento de la excavación (plunge)	DISTRITOS: PATAPO / CHONGOYAPE	PROVINCIA: CHICLAYO	REGION: LAMBAYEQUE	Estación N°: 4				
Zona 4	62°	90°	CARACTERISTICAS VISIBLES DE LA EXCAVACIÓN: Excavación paralela a estratos subverticales			Anexo 15				
LADO IZQUIERDO DE LA EXCAVACION	Orientación de las Discontinuidades			LADO DERECHO DE LA EXCAVACION	Orientación de las Discontinuidades			ESTEREOGRAMA		
	DISCONTINUIDAD	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)		Observaciones	DISCONTINUIDAD	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)	Observaciones	
	1	60	348			1	69	346		
	2	60	272			2	60	320		
	3	58	270			3	69	319		
	4	48	342			4	68	322		
	5	63	315			5	69	340		
	6	55	325			6	66	321		
	7	58	325			7	75	330		
	8	61	296			8	60	325		
	9	60	314			9	64	344		
	10	56	332			10	68	230		
	11	61	321			11	63	84		
	12	57	322			13	68	86		
				14	59	89				
								FOTOGRAFIA		
										

DETALLES DE LA EXCAVACION			PROYECTO	ESTUDIO GEOMECANICO CON FINES DE SOSTENIMIENTO PARA LA LABOR SUBTERRANEA 370 PERTENECIENTE A LA CONCESION SANTA CLOTILDE 7						
Tramo	Dirección de la excavación (trend)	Buzamiento de la excavación (plunge)	DISTRITOS: PATAPO / CHONGOYAPE	PROVINCIA: CHICLAYO	REGION: LAMBAYEQUE	Estación N°: 6				
Zona 6	60°	90°	CARACTERISTICAS VISIBLES DE LA EXCAVACIÓN: Excavación paralela a estratos subverticales			Anexo 15				
LADO IZQUIERDO DE LA EXCAVACION	Orientación de las Discontinuidades			LADO DERECHO DE LA EXCAVACION	Orientación de las Discontinuidades			ESTEREOGRAMA		
	DISCONTINUIDAD	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)		Observaciones	DISCONTINUIDAD	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)	Observaciones	
	1	61	326			1	25	326		
	2	60	328			2	25	324		
	3	65	320			3	55	325		
	4	68	330			4	53	326		
	5	65	370			5	25	310		
	6	64	333			6	26	308		
	7	56	343			7	87	69		
	8	73	340			8	85	68		
	9	88	75			9	65	330		
	10	87	73			10	65	342		
	11	75	357			11	65	335		
12	74	350		12	68	340				
				13	64	337				
				14	67	339				
				15	65	343				
				16	66	336				
								FOTOGRAFIA		
										

DETALLES DE LA EXCAVACION			PROYECTO	ESTUDIO GEOMECANICO CON FINES DE SOSTENIMIENTO PARA LA LABOR SUBTERRANEA 370 PERTENECIENTE A LA CONCESION SANTA CLOTILDE 7					
Tramo	Dirección de la excavación (trend)	Buzamiento de la excavación (plunge)	DISTRITOS: PATAPO / CHONGOYAPE	PROVINCIA: CHICLAYO	REGION: LAMBAYEQUE				
Zona 7	65°	90°	CARACTERISTICAS VISIBLES DE LA EXCAVACIÓN: Excavación paralela a estratos subverticales			Estación N°: 7	Anexo 15		
LADO IZQUIERDO DE LA EXCAVACION	Orientación de las Discontinuidades			LADO DERECHO DE LA EXCAVACION	Orientación de las Discontinuidades			ESTEREOGRAMA	
	DISCONTINUIDAD	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)		DISCONTINUIDAD	Buzamiento (°)	Dirección de Buzamiento (°)		
	Observaciones	Observaciones	FOTOGRAFIA						
	1	70	352			1	52	351	
	2	67	358			2	50	350	
	3	65	359			3	49	351	
	4	69	359			4	50	353	
	5	89	350			5	53	345	
	6	68	355			6	47	342	
	7	69	357			7	50	355	
	8	68	352			8	55	347	
	9	68	345			9	51	338	
10	70	348	10	54		352			
11			11	35		295			
12			12	40	290				
			13	38	288				
			14						

Anexo 27. Tablas de Barton

Guía "B": Para determinar la calidad del macizo rocoso según el índice del Q de Barton



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON

1. Índice de calidad de roca.		RQD (%)
A	Muy pobre.	0 - 25
B	Pobre.	25 - 50
C	Regular.	50 - 75
D	Buena.	75 - 90
E	Excelente.	90 - 100

Nota:

2. Número de sistemas de discontinuidades.		J _n
A	Masiva, sin diaclasas o con fisuración escasa.	0.5 - 1
B	Un sistema de diaclasas.	2
C	Un sistema de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	3
D	Dos sistemas de diaclasas.	4
E	Dos sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	6
F	Tres sistemas de diaclasas.	9
G	Tres sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	12
H	Cuatro o más sistemas de diaclasas, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J	Roca triturada, terrosa.	20

Nota: 1) En intersecciones de líneas se emplea la expresión 3J.
2) En la boca de los túneles se emplea la expresión 2J.

3. Factor de rugosidad de discontinuidades.		J _r
a) Contacto entre las paredes, y:		
b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10cm.		
A	Diaclasas discontinuas.	4
B	Rugosas o irregulares, ondulantes.	3
C	Lisas, ondulantes.	2
D	Lustradas, ondulantes.	1.5
E	Rugosas o irregulares, planas.	1.5
F	Lisas, planas.	1
G	Lustradas, planas.	0.5

Nota: 1) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y a escala intermedia, en ese orden.
2) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla.
3) Zona conteniendo minerales arcillosos en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.
4) Zona arenosa, de gravas o triturada en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.

Nota: 1) Adicional: 1.0 cuando el espaciado entre discontinuidades es superior a 3 m.
2) Se puede usar J_r = 0.5 para discontinuidades lustradas planas que presenten lineaciones, siempre que éstas estén orientadas según la dirección de mínima resistencia.

4. Factor de descomposición de discontinuidades.		Φ (aprox.)	J _d
a) Contacto entre las paredes (sin minerales de relleno, sólo patinas).			
A	Discontinuidad cerrada, dura, relleno impermeable, p. e., cuarzo o epidota.	—	0.75
B	Paredes inalteradas, superficies con ligeros manchados de oxidación.	25° - 35°	1
C	Paredes ligeramente alteradas, patinas de mineral no blando, arenoso y partículas libres de arcilla, por desintegración de roca.	25° - 30°	2
D	Capas de arcillas limosas o arenosas, pequeña fracción de arcillas (no blandas).	20° - 25°	3
E	Capas de arcillas blandas o de baja fricción, p. e., caolinita, mica, durita, talco, yeso, grafito, et c. Pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	15° - 10°	4

b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (delgados rellenos de mineral).

F	Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G	Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	15° - 24°	6
H	Medio a bajo sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 15°	8
J	Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de J _d depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	10° - 12°	8 - 12

c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla (delgados rellenos de mineral).

K, L	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	10° - 24°	8, 8 o 8 - 12
------	---	-----------	---------------

N	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, pequeñas fracciones de arcillas (no blandas).	—	5
O, P, R	Densas zonas o bandas continuas de arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	6° - 24°	10, 13 ó 13 - 20

5. Factor de reducción por contenido de agua.		Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A	Excavaciones secas o flujos menores, p. e., < 5 l/min, localmente.	< 1	1
B	Flujos o presiones medias, lavado ocasional de rellenos de las discontinuidades.	1 - 2.5	0.66
C	Flujos grandes o altas presiones en roca competente con discontinuidades sin relleno.	2.5 - 10	0.5
D	Flujos grandes o altas presiones, considerable lavado de discontinuidades rellenadas.	2.5 - 10	0.33
E	Flujos o presiones de agua excepcionalmente altas durante la voladura, depurando con el tiempo.	> 10	0.2 - 0.1
F	Flujos o presiones de agua excepcionalmente altas, continuando sin depresión notable.	> 10	0.1 - 0.05

Nota:

6. Factor de reducción por tensiones.		SRF
a) Zonas débiles intersectan a la excavación, en las cuales pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el túnel es excavado.		
A	Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	10
B	Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).	5
C	Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).	2.5
D	Múltiples zonas de cizalla en roca competente (libre de arcilla). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	7.5
E	Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).	5
F	Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).	2.5
G	Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terrones, et c. (cualquier profundidad).	5

Nota: 1) Reducir esos valores de SRF entre 25 - 50% las zonas de cizalla relevantes solamente influyen pero no intersectan a la excavación.

b) Roca competente. Problemas tensionales.		σ ₁ / σ ₃	σ ₁ / σ ₂	SRF
H	Tensiones bajas, cerca de la superficie, fracturas abiertas.	> 200	< 0.01	2.5
J	Tensiones medias, condición de tensiones favorables.	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K	Tensiones altas, estructura muy compacta. Usualmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para los hostiles.	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L	Luzamiento moderado después de 1 hora en roca masiva.	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M	Luzamiento y estallido de roca después de unos pocos minutos en roca masiva.	3 - 2	0.65 - 0.1	50 - 200
N	Estallido violento de roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inelástica en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400

Nota: 1) Para campos de tensión fuertemente anisotrópicos (si son medidas), cuando $5 < \sigma_1 / \sigma_3 < 10$, reducir σ_1 a 0.75 σ_1 ; cuando $\sigma_1 / \sigma_3 < 10$, reducir σ_1 a 0.5 σ_1 , donde σ_1 = resistencia a la compresión uniaxial, σ_2 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor, y σ_2 = esfuerzo tangencial máximo (estimados de la teoría de elasticidad).

2) Pocos casos disponibles se registran donde la profundidad de la corona es menor que el ancho. Se sugiere incrementar SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H).

c) Deformación de la roca. Flujos plásticos de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.		σ _v / σ _h	SRF
O	Presión litostática de deformación suave.	1 - 5	5 - 10
P	Presión litostática de deformación fuerte.	> 5	10 - 20

Nota: 1) Casos de deformación de roca pueden ocurrir para profundidades H-350Q^{1/3} (Singh, et al., 1991). La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada de $\sigma_1(MPa) = 0.7YQ^{1/3}$, donde Y = densidad de la roca en kN/m³ (Singh, 1993).

d) Expansión de la roca. Actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.		SRF	
R	Presión litostática de deformación suave.	1 - 5	5 - 10
S	Presión litostática de deformación fuerte.	> 5	10 - 20

Nivel	370	Dist. portal	---	Nº de tabla	01
-------	-----	--------------	-----	-------------	----

Guía "B": Para determinar la calidad del macizo rocoso según el índice del Q de Barton



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON

1. Índice de calidad de roca.	RQD (%)
A Muy pobre.	0 - 25
B Pobre.	25 - 50
C Regular.	50 - 75
D Buena.	75 - 90
E Excelente.	90 - 100

2. Número de sistemas de discontinuidades.	J _n
A Masiva, sin diaclasas o con fisuración escasa.	0.5 - 1
B Un sistema de diaclasas.	2
C Un sistema de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	3
D Dos sistemas de diaclasas.	4
E Dos sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	6
F Tres sistemas de diaclasas.	8
G Tres sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	12
H Cuatro o más sistemas de diaclasas, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J Roca triturada, terrosa.	20

Nota: 1) En intersecciones de túneles se emplee la expresión 3/4.
2) En la boca de los túneles se emplee la expresión 2/3.

3. Factor de rugosidad de discontinuidades.	J _r
a) Contacto entre las paredes, y:	
b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10cm.	
A Diaclasas discontinuas.	4
B Rugosas o irregulares, ondulantes.	3
C Lisas, ondulantes.	2
D Lustradas, ondulantes.	1.5
E Rugosas o irregulares, planares.	1.5
F Lisas, planares.	1
G Lustradas, planares.	0.5

Nota: 1) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y a escala intermedia, en ese orden.

c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla.	
H Zona conteniendo minerales arcillosos en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.	1
J Zona arenosa, de grava o triturada en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.	1

Nota: 1) Adicionar 1.0 cuando el espaciado entre discontinuidades es superior a 3 m.
2) Se puede usar J_r = 0.5 para discontinuidades lustradas planares que presenten lineaciones, siempre que éstas estén orientadas según la dirección de mínima resistencia.

4. Factor de descomposición de discontinuidades.	Φ _i (aprox.)	J _s
a) Contacto entre las paredes (sin minerales de relleno, sólo pétreas).		
A Discontinuidad cerrada, dura, relleno impermeable, p. e., cuarzo o epidoto.	—	0.75
B Paredes intertrazadas, superficies con ligeros machos de oxidación.	25° - 35°	1
C Paredes ligeramente alisadas, pétreas de mineral no blando, arenas y partículas libres de arcilla, por desintegración de roca.	25° - 30°	2
D Capas de arcillas limosas o arenosas, pequeña fracción de arcillas (no blandas).	20° - 25°	3
E Capas de arcillas blandas o de baja fricción, p. e., caolinita, mica, óxido de hierro, yeso, grafito, et c. Pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	0° - 10°	4

b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (deja los rellenos de mineral).		
F Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	10° - 24°	6
H Medía a baja sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 10°	8
J Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de J _s depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	0° - 12°	8 - 12

c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla (deja los rellenos de mineral).		
K, L Zonas o banda de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	0° - 24°	5, 6 ó 8 - 12

N Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, pequeñas fracciones de arcillas (no blandas).	—	5
O, P, R Densas zonas o bandas continuas de arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	0° - 24°	10, 13 ó 13 - 20

5. Factor de reducción por contenido de agua.	Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A Excavaciones secas o flujos menores, p. e., < 5 l/min, localmente.	< 1	1
B Flujos o presiones medias, lavado ocasional de rellenos de las discontinuidades.	1 - 2.5	0.65
C Flujos grandes o altas presiones en roca competente con discontinuidades sin relleno.	2.5 - 10	0.5
D Flujos grandes o altas presiones, considerable lavado de discontinuidades rellenas.	2.5 - 10	0.33
E Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos durante la voladura, deprimiendo con el tiempo.	> 10	0.2 - 0.1
F Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos, continuando sin depresión notable.	> 10	0.1 - 0.05

6. Factor de reducción por tensiones.	SRF
a) Zonas débiles intersección a la excavación, en las cuáles pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el túnel es excavado.	
A Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	10
B Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).	5
C Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).	2.5
D Múltiples zonas de cizalla en roca competente (libre de arcilla). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	7.5
E Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).	5
F Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).	2.5
G Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terrones, et c. (cualquier profundidad).	5

Nota: 1) Reducir esos valores de SRF entre 25 - 50% si las zonas de cizalla relevantes solamente influyen pero no interseccionan a la excavación.

b) Roca competente. Problemas tensionales.	σ ₁ / σ ₃	σ ₁ / σ ₂	SRF
H Tensiones bajas, cercas de la superficie, fracturas abiertas.	> 200	< 0.01	2.5
J Tensiones medias, condición de tensiones favorable.	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K Tensiones altas, estructura muy compacta. Usualmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para los hostales.	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L Lajeamiento moderado después de 10hrs en roca masiva.	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M Lajeamiento y estallido de roca después de unos pocos minutos en roca masiva.	3 - 2	0.65 - 0.1	50 - 200
N Estallido violento de roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inmediata en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400

Nota: 1) Para campos de tensión fuertemente anisotrópicos (si son medidos) cuando 5 < σ₁ / σ₃ < 10, reducir σ₁ a 0.75σ₁; cuando σ₁ / σ₃ < 10, reducir σ₁ a 0.5σ₁, donde σ₁ = resistencia a la compresión uniaxial, σ₂ y σ₃ son los esfuerzos principales mayor y menor, y σ₂ = esfuerzo tangencial máximo (estimados de la teoría de elasticidad).

2) Pocos casos disponibles se registran donde la profundidad de la corona es menor que el ancho. Se sugiere incrementar SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H).

c) Deformación de la roca. Flujos plásticos de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones isotópicas.	σ ₁ / σ ₃	SRF
O Presión isotópica de deformación suave.	1 - 5	5 - 10
P Presión isotópica de deformación fuerte.	> 5	10 - 20

Nota: 1) Casos de deformación de roca pueden ocurrir para profundidades H < 350Q^{1/3} (Singh, et al., 1991). La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada de q(MPa) = 0.7γQ^{1/3}, donde γ = densidad de la roca en kN/m³ (Singh, 1993).

d) Expansión de la roca. Actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.	SRF
R Presión isotópica de deformación suave.	1 - 5
S Presión isotópica de deformación fuerte.	> 5

Nivel	370	Dist. portal	5 m	Nº de tabla	02
-------	-----	--------------	-----	-------------	----

Guía "B": Para determinar la calidad del macizo rocoso según el índice del Q de Barton



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON

1. Índice de calidad de roca.	RQD (%)
A Muy pobre.	0 - 25
B Pobre.	25 - 50
C Regular.	50 - 75
D Buena.	75 - 90
E Excelente.	90 - 100

2. Número de sistemas de discontinuidades.	J _n
A Masiva, sin diaclasas o con fisuración escasa.	0.5 - 1
B Un sistema de diaclasas.	2
C Un sistema de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	3
D Dos sistemas de diaclasas.	4
E Dos sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	5
F Tres sistemas de diaclasas.	6
G Tres sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	7
H Cuatro o más sistemas de diaclasas, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J Roca triturada, terrosa.	20

3. Factor de rugosidad de discontinuidades.	J _r
a) Contacto entre las paredes, y: b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 30cm.	
A Diaclasas discontinuas.	4
B Rugosas o irregulares, ondulantes.	5
C Lisas, ondulantes.	2
D Lustradas, ondulantes.	1.5
E Rugosas o irregulares, planares.	1.5
F Lisas, planares.	1
G Lustradas, planares.	0.5

4. Factor de descomposición de discontinuidades.	Φ _d (aprox.)	J _s
a) Contacto entre las paredes (sin minerales de relleno, sólo pitones).		
A Discontinuidad cerrada, dura, relleno impermeable, p. e., cuarzo o epidota.	—	0.75
B Paredes multigradas, superficies con liguras machicas de oxidación.	25° - 35°	1
C Paredes ligeramente aliradas, pitones de mineral no blandos, arenas y partículas libres de arcilla, por desintegración de roca.	25° - 30°	2
D Capas de arcillas limosas o arenosas, pequeña fracción de arcillas (no blandas).	20° - 25°	3
E Capas de arcillas blandas o de baja fricción, p. e., caolinita, mica, clorita, talco, yeso, grafito, et c. Pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	0° - 10°	4

b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (deja los rellenos de mineral).		
F Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	10° - 24°	6
H Media a baja sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 16°	8
J Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de J _s depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	0° - 12°	0 - 12
c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla (deja los rellenos de mineral).		
K, L Zonas o bande de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	0° - 24°	0, 0.0 - 12

N Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, pequeñas fracciones de arcillas (no blandas).	—	5
O, P, R Densas zonas o bandas continuas de arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	0° - 24°	10, 13 ó 13 - 20

5. Factor de reducción por contenido de agua.	Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A Excavaciones secas o flujos menores, p. e., < 5 l/min, localmente.	< 1	1
B Flujos o presiones medias, lavado ocasional de rellenos de las discontinuidades.	1 - 2.5	0.65
C Flujos grandes o altas presiones en roca competente con discontinuidades sin relleno.	2.5 - 10	0.5
D Flujos grandes o altas presiones, considerable lavado de discontinuidades rellenadas.	2.5 - 10	0.33
E Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos durante la voladura, deprimiendo con el tiempo.	> 10	0.2 - 0.1
F Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos, continuando sin depresión notable.	> 10	0.1 - 0.05

6. Factor de reducción por tensiones.	SRF
a) Zonas débiles intersectan a la excavación, en las cuales pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el talud es excavado.	
A Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	10
B Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).	5
C Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).	2.5
D Múltiples zonas de cizalla en roca competente (libre de arcilla). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	7.5
E Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).	5
F Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).	2.5
G Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terrones, et c. (cualquier profundidad).	5

Nota: i) Reducir esos valores de SRF entre 25 - 50% si las zonas de cizalla no afectan solamente influyen pero no intersectan a la excavación.			
ii) Pocos casos disponibles se registran donde la profundidad de la corona es menor que el ancho. Se sugiere incrementar SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H).			
b) Roca competente. Problemas tensionales.			
H Tensiones bajas, cerca de la superficie, fracturas abiertas.	> 200	< 0.01	2.5
J Tensiones medias, condición de tensiones favorable.	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K Tensiones altas, estructura muy compacta. Usualmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para los hastiales.	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L Lajamiento moderado después de 1 hora en roca masiva.	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M Lajamiento y estallido de roca después de unos pocos minutos en roca masiva.	3 - 2	0.65 - 0.1	50 - 200
N Estallido violento de roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inmediata en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400
Nota: i) Para campos de tensión fuertemente anisotrópicos (si son medidos): cuando $5 < \sigma_1 / \sigma_3 < 10$, reducir σ_1 a $0.75\sigma_1$; cuando $\sigma_1 / \sigma_3 < 10$, reducir σ_1 a $0.5\sigma_1$, donde σ_1 = resistencia a la compresión uniaxial, σ_3 o σ_2 son los esfuerzos principales mayor y menor, y σ_2 = esfuerzo tangencial máximo (estimados de la teoría de elasticidad).			
ii) Pocos casos disponibles se registran donde la profundidad de la corona es menor que el ancho. Se sugiere incrementar SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H).			
c) Deformación de la roca. Flujos plásticos de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.	σ_1 / σ_3	SRF	
O Presión litostática de deformación suave.	1 - 5	5 - 10	
P Presión litostática de deformación fuerte.	> 5	10 - 20	
Nota: i) Casos de deformación de roca pueden ocurrir para profundidades H=350Q ^{1/3} (Singh, et al., 199) La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada de $\sigma_1(MPa) = 0.77Q^{1/3}$, donde Q = resistencia de la roca en kN/m ² (Singh, 1993).			
d) Expansión de la roca. Actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.		SRF	
R Presión litostática de deformación suave.	1 - 5	5 - 10	
S Presión litostática de deformación fuerte.	> 5	10 - 20	

Nivel	370	Dist. portal	10 md	Nº de tabla	03
-------	-----	--------------	-------	-------------	----

Guía "B": Para determinar la calidad del macizo rocoso según el índice del Q de Barton



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON

Índice de calidad de roca.	RQD (%)
A Muy pobre.	0 - 25
B Pobre.	25 - 50
C Regular.	50 - 75
D Buena.	75 - 90
E Excelente.	90 - 100

Nota:

Número de sistemas de discontinuidades.	J _n
A Masiva, sin diaclasas o con fracturación escasa.	0.5 - 1
B Un sistema de diaclasas.	2
C Un sistema de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	3
D Dos sistemas de diaclasas.	4
E Dos sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	5
F Tres sistemas de diaclasas.	6
G Tres sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	7
H Cuatro o más sistemas de diaclasas, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J Roca triturada, terrones.	20

Nota: i) En intersecciones de líneas se emplee la expresión 3/.
ii) En la boca de los límites se emplee la expresión 2/.

Factor de rugosidad de discontinuidades.	J _r
a) Contacto entre las paredes; y b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm.	
A Diaclasas discontinuas.	4
B Rugosas e irregulares, ondulantes.	5
C Lisas, ondulantes.	2
D Lustradas, ondulantes.	1.5
E Rugosas e irregulares, planares.	1.5
F Lisas, planares.	1
G Lustradas, planares.	0.5

Nota: i) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y a escala intermedia, en ese orden.
c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla.

H Zona conteniendo minerales arcillosos en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.	1
J Zona arenosa, de gravas o triturada en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.	1

Nota: i) Adicionar 1.0 cuando el espaciado entre discontinuidades es superior a 3 m.
ii) Se puede usar J_r = 0.5 para discontinuidades lustradas planares que presentan lineaciones, siempre que éstas estén orientadas según la dirección de mínima resistencia.

Factor de descomposición de discontinuidades.	Φ _i (aprox.)	J _s
a) Contacto entre las paredes (sin minerales de relleno, sólo pétreas):		
A Discontinuidad cerrada, dura, relleno impermeable, p. e., cuarzo o epidota.	—	0.75
B Paredes intertrazadas, superficies con ligeros manchales de oxidación.	25° - 35°	1
C Paredes ligeramente alisadas, pistónes de mineral no blando, arenas y partículas libres de arcilla, por desintegración de roca.	25° - 30°	2
D Capas de arcillas limosas o arenosas, pequeña fracción de arcillas (no blandas).	20° - 25°	3
E Capas de arcillas blandas o de baja fricción, p. e., caolinita, mica, alúmina, talco, yeso, grafito, et c. Pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	8° - 18°	4
b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (delgados rellenos de mineral):		
F Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	18° - 24°	6
H Media a baja sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 18°	8
J Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de J _s depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	8° - 12°	8 - 12
c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla (delgados rellenos de mineral):		
K, L Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	8° - 24°	8, 8 o 8 - 12

N Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, pequeñas fracciones de arcillas (no blandas).	—	5
O, P Densas zonas o bandas conteniendo de arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	6° - 24°	10, 13 ó 13 - 20

Factor de reducción por contenido de agua.	Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A Excavaciones secas o flujos menores, p. e., < 5 l/min, localmente.	< 1	1
B Flujos o presiones medias, lavado ocasional de rellenos de las discontinuidades.	1 - 2.5	0.66
C Flujos grandes o altas presiones en roca competente con discontinuidades sin relleno.	2.5 - 10	0.5
D Flujos grandes o altas presiones, considerable lavado de discontinuidades rellenas.	2.5 - 10	0.33
E Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos durante la voladura, deprimiendo con el tiempo.	> 10	0.2 - 0.1
F Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos, continuando sin depresión notable.	> 10	0.1 - 0.05

Nota:

Factor de reducción por tensiones.	SRF
a) Zonas débiles intersección a la excavación, en las cuáles pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el talud es excavado:	
A Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	10
B Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).	5
C Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).	2.5
D Múltiples zonas de cizalla en roca competente (libre de arcilla). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	7.5
E Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).	5
F Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).	2.5
G Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terrones, et c. (cualquier profundidad).	5

Nota: i) Reducir esos valores de SRF entre 25 - 50% las zonas de cizalla relevantes solamente influyen pero no interseccion a la excavación.

Rocas competente. Problemas tensionales.	σ ₁ / σ ₃	σ ₁ / σ ₂	SRF
H Tensiones bajas, cerca de la superficie, fracturas abiertas.	> 200	< 0.01	2.5
J Tensiones medias, condición de tensiones favorables.	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K Tensiones altas, estructura muy compacta. Usualmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para los hastales.	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L Labiamiento moderado después de 1 hora en roca masiva.	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M Labiamiento y estallido de roca después de unos pocos minutos en roca masiva.	3 - 2	0.65 - 0.1	50 - 200
N Estallido violento de roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inmediata en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400

Nota: i) Para campos de tensión fuertemente anisotrópicos (si son medidos): cuando $5 \cdot \sigma_1 / \sigma_3 < 10$, reducir σ_1 / σ_3 a 0.75; cuando $\sigma_1 / \sigma_3 < 10$, reducir σ_1 / σ_2 a 0.5; donde σ_1 = resistencia a la compresión uniaxial, σ_2 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor, y σ_2 = esfuerzo tangencial máximo (estimados de la teoría de elasticidad).
ii) Pocos casos disponibles se registran donde la profundidad de la corona es menor que el ancho. Se sugiere incrementar SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H).

Deformación de la roca. Flujos plásticos de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.	σ ₁ / σ ₃	SRF
O Presión litostática de deformación suave.	1 - 5	5 - 10
P Presión litostática de deformación fuerte.	> 5	10 - 20

Nota: i) Casos de deformación de roca pueden ocurrir para profundidades $H < 350Q^{1/3}$ (Singh, et al., 199) La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada de $\sigma_1(Mpa) = 0.7 \cdot Q^{1/3}$, donde Q = densidad de la roca en kN/m³ (Singh, 1993).

Expansión de la roca. Actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.	SRF
R Presión litostática de deformación suave.	1 - 5
S Presión litostática de deformación fuerte.	> 5

Nivel	370	Dist. portal	19 m	Nº de tabla	04
-------	-----	--------------	------	-------------	----

Guía "B": Para determinar la calidad del macizo rocoso según el índice del Q de Barton



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON

1. Índice de calidad de roca.	RQD (%)
A Muy pobre.	0 - 25
B Pobre.	26 - 50
C Regular.	50 - 75
D Buena.	75 - 90
E Excelente.	90 - 100

Nota:

2. Número de sistemas de discontinuidades.	J _n
A Masiva, sin diaclasas o con fracturación escasa.	0.5 - 1
B Un sistema de diaclasas.	2
C Un sistema de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	3
D Dos sistemas de diaclasas.	4
E Dos sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	6
F Tres sistemas de diaclasas.	9
G Tres sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	12
H Cuatro o más sistemas de diaclasas, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J Roca triturada, terrosa.	20

Nota: I) En intersecciones de líneas se emplea la expresión 3/.
II) En la boca de los lineales se emplea la expresión 23/.

3. Factor de rugosidad de discontinuidades.	J _r
a) Contacto entre las paredes: y.	
b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cabeza de 30 cm.	
A Diaclasas discontinuas.	4
B Rugosas e irregulares, ondulantes.	3
C Lisas, ondulantes.	2
D Lustradas, ondulantes.	1.5
E Rugosas e irregulares, planares.	1.5
F Lisas, planares.	1
G Lustradas, planares.	0.5

Nota: I) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y a escala intermedia, en ese orden.
c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cabeza.

H Zona conteniendo minerales arcillosos en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.	1
J Zona arenosa, de grava o triturada en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.	1

Nota: I) Adicionar 1.0 cuando el espaciado entre discontinuidades es superior a 3 m.
II) Se puede usar J_r = 0.5 para discontinuidades lustradas planares que presentan lineaciones, siempre que éstas estén orientadas según la dirección de mínima resistencia.

4. Factor de descomposición de discontinuidades.	Φ _i (aprox.)	J _s
a) Contacto entre las paredes (sin minerales de relleno, sólo pilinas):		
A Discontinuidad cerrada, dura, relleno impermeable, p. e., cuarzo o epidota.	—	0.75
B Paredes inalteradas, superficies con ligeros manchados de oxidación.	25° - 35°	1
C Paredes ligeramente alteradas, pilinas de mineral no blanco, arenas y partículas libres de arcilla, por desintegración de roca.	25° - 30°	2
D Capas de arcillas limosas o arenosas, pequeña fracción de arcillas (no blandas).	20° - 25°	3
E Capas de arcillas blandas o de baja fricción, p. e., caolinita, mica, alúmina, talco, yeso, grafito, et c. Pocas cantidades de arcillas expansivas.	8° - 10°	4

b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cabeza de 10 cm (delgados rellenos de mineral):

F Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	10° - 24°	6
H Medía a baja sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 10°	8
J Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de J _s depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	8° - 12°	8 - 12

c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cabeza (delgados rellenos de mineral):

K, L Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	8° - 24°	6, 8 o 8 - 12
--	----------	---------------

N Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, pequeñas fracciones de arcillas (no blandas).	—	5
O, P Densas zonas o bandas continuas de arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	6° - 24°	10, 13 ó 13 - 20

5. Factor de reducción por contenido de agua.	Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A Excavaciones secas o flujos menores, p. e., < 5 l/min, localmente.	< 1	1
B Flujos o presiones medias, lavado ocasional de rellenos de las discontinuidades.	1 - 2.5	0.66
C Flujos grandes o altas presiones en roca competente con discontinuidades sin relleno.	2.5 - 10	0.5
D Flujos grandes o altas presiones, considerable lavado de discontinuidades rellenas.	2.5 - 10	0.33
E Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos durante la voladura, deprimiendo con el tiempo.	> 10	0.2 - 0.1
F Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos, continuando sin depresión notable.	> 10	0.1 - 0.05

Nota:

6. Factor de reducción por tensiones.	SRF
a) Zonas débiles intersección a la excavación, en las cuales pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el túnel es excavado.	
A Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	10
B Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).	5
C Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).	2.5
D Múltiples zonas de cizalla en roca competente (libre de arcilla). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	7.5
E Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).	5
F Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).	2.5
G Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terrones, et c. (cualquier profundidad).	5

Nota: I) Reducir esos valores de SRF entre 25 - 50% las zonas de cizalla relevantes solamente influyen pero no interseccion a la excavación.

b) Roca competente. Problemas tensionales.	σ ₁ / σ ₃	σ ₁ / σ ₂	SRF
H Tensiones bajas, cerca de la superficie, fracturas abiertas.	> 200	< 0.01	2.5
J Tensiones medias, condición de tensiones favorable.	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K Tensiones altas, estructura muy compacta. Usualmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para los hastates.	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L Lijamiento moderado después de 1 hora en roca masiva.	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M Lijamiento y estallido de roca después de unos pocos minutos en roca masiva.	3 - 2	0.65 - 0.1	50 - 200
N Estallido violento de roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inmediata en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400

Nota: I) Para campos de tensión fuertemente anisotrópicos (si son medidos) cuando $5 - \sigma_1 / \sigma_3 < 10$, reducir σ_1 / σ_2 a 0.75 σ_1 / σ_3 , cuando $\sigma_1 / \sigma_3 < 10$, reducir σ_1 / σ_2 a 0.5 σ_1 / σ_3 , donde σ_1 = resistencia a la compresión uniaxial, σ_2 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor, y σ_2 = esfuerzo tangencial máxima (estimadas de la teoría de elasticidad).
II) Pocos casos disponibles se registran donde la profundidad de la corona es menor que el ancho Se sugiere incrementar SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H).

c) Deformación de la roca. Flujos plásticos de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.	σ ₁ / σ ₃	SRF
O Presión litostática de deformación suave.	1 - 5	5 - 10
P Presión litostática de deformación fuerte.	> 5	10 - 20

Nota: I) Casos de deformación de roca pueden ocurrir para profundidades H < 350Q^{0.75} (Singh, et al., 1991) La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada de $q(N/m^2) = 0.7\gamma Q^{0.75}$, donde γ = densidad de la roca en kN/m³ (Singh, 1993).

d) Expansión de la roca. Actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.	SRF
R Presión litostática de deformación suave.	1 - 5
S Presión litostática de deformación fuerte.	> 5

Nivel	370	Dist. portal	20 m	Nº de tabla	05
-------	-----	--------------	------	-------------	----

Guía "B": Para determinar la calidad del macizo rocoso según el índice del Q de Barton



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON

1. Índice de calidad de roca.	RQD (%)
A Muy pobre.	0 - 25
B Pobre.	25 - 50
C Regular.	50 - 75
D Buena.	75 - 90
E Excelente.	90 - 100

Nota:

2. Número de sistemas de discontinuidades.	J _n
A Masiva, sin diaclasas o con fisuración escasa.	0.5 - 1
B Un sistema de diaclasas.	2
C Un sistema de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	3
D Dos sistemas de diaclasas.	4
E Dos sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	5
F Tres sistemas de diaclasas.	6
G Tres sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	7
H Cuatro o más sistemas de diaclasas, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terreros, etc.	15
J Roca triturada, terrosa.	20

Nota: i) En intersecciones de túneles se emplea la expresión 3I.
ii) En la boca de los túneles se emplea la expresión 2J.

3. Factor de rugosidad de discontinuidades.	J _r
a) Contacto entre las paredes:	
A Diaclasas discontinuas.	4
B Rugosas e irregulares, undulantes.	3
C Lisas, ondulantes.	2
D Lisas, planas.	1.5
E Lisas, planas.	1
F Lisas, planas.	0.5
G Lisas, planas.	0.5
Nota: i) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y a escala intermedia, en ese orden.	
c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla.	
H Zona conteniendo minerales arcillosos en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.	1
J Zona arenosa, de gravas o triturada en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes.	1

Nota: i) Adicionar 1.0 cuando el espaciado entre discontinuidades es superior a 3 m.
ii) Se puede usar J_r = 0.5 para discontinuidades lisas planas que presenten lineaciones, siempre que éstas estén orientadas según la dirección de mínima resistencia.

4. Factor de descomposición de discontinuidades.	Φ _i (aprox.)	J _s
a) Contacto entre las paredes (sin minerales de relleno, sólo patinas):		
A Discontinuidad cerrada, dura, relleno impermeable, p. e., cuarzo o opólita.	—	0.75
B Paredes inalteradas, superficies con ligeros manchales de oxidación.	25° - 35°	1
C Paredes ligeramente alteradas, patinas de mineral no blanco, arenas y partículas libres de arcilla, por desintegración de roca.	25° - 30°	2
D Capas de arcillas finas o arenosas, pequeña fracción de arcillas (no blandas).	20° - 25°	3
E Capas de arcillas blandas o de baja fricción, p. e., caolinita, mica, diatomeas, talco, yeso, grafito, et c. Pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	0° - 10°	4
b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (delgados rellenos de mineral):		
F Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	10° - 24°	6
H Media a baja sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 16°	8
J Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de J _s depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	0° - 12°	8 - 12
c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla (delgados rellenos de mineral):		
K, L Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	0° - 24°	5, 6 ó 8 - 12

N Zonas o bandas de arcillas finas o arenosas, pequeñas fracciones de arcillas (no blandas).	—	5
O, P, R Densas zonas o bandas confinadas de arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	0° - 24°	10, 13 ó 13 - 20

5. Factor de reducción por contenido de agua.	Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A Excavaciones secas o flujos menores, p. e., < 5 l/min, localmente.	< 1	1
B Flujos o presiones medias, lavado ocasional de rellenos de las discontinuidades.	1 - 2.5	0.66
C Flujos grandes o altas presiones en roca competente con discontinuidades sin relleno.	2.5 - 10	0.5
D Flujos grandes o altas presiones, considerable lavado de discontinuidades rellenadas.	2.5 - 10	0.33
E Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos durante la votadura, deprimiendo con el tiempo.	> 10	0.2 - 0.1
F Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos, continuando sin depresión notable.	> 10	0.1 - 0.05

Nota:

6. Factor de reducción por tensiones.	SRF		
a) Zonas débiles intersección o la excavación, en las cuales pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el túnel es excavado.			
A Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).			10
B Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).			5
C Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).			2.5
D Múltiples zonas de cizalla en roca competente (fibra de arcilla). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).			7.5
E Zonas de cizalla aisladas (fibra de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).			5
F Zonas de cizalla aisladas (fibra de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).			2.5
G Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terreros, et c. (cualquier profundidad).			5
Nota: i.) Reducir esos valores de SRF entre 25 - 50% si las zonas de cizalla relevantes solamente influyen pero no interseccionan a la excavación.			
b) Roca competente. Problemas tensionales.			
	σ ₁ / σ ₃	σ ₁ / σ ₂	SRF
H Tensiones bajas, cerca de la superficie, fracturas abiertas.	> 200	< 0.01	2.5
J Tensiones medias, condición de tensiones favorable.	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K Tensiones altas, estructura muy compacta. Usualmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para los hastiales.	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L Lijamiento moderado después de 1 hora en roca masiva.	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M Lijamiento y estallido de roca después de unos pocos minutos en roca masiva.	3 - 2	0.65 - 0.1	50 - 200
N Estallido violento de roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inmediata en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400
Nota: i.) Para campos de tensión fuertemente anisotrópicos (si son modificados) cuando σ ₁ /σ ₃ < 10, reducir σ ₁ a 0.75σ ₁ ; cuando σ ₁ /σ ₃ < 10, reducir σ ₂ a 0.5σ ₂ , donde σ ₁ = resistencia a la compresión uniaxial, σ ₂ y σ ₃ son los esfuerzos principales mayor y menor, y σ ₂ = esfuerzo tangencial máxima (estimados de la teoría de elasticidad). ii.) Pocos casos disponibles se registran donde la profundidad de la corona es menor que el ancho. Se sugiere incrementar SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H).			
c) Deformación de la roca. Flujos plásticos de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.			
	σ ₁ / σ ₂		SRF
O Presión litostática de deformación suave.	1 - 5		5 - 10
P Presión litostática de deformación fuerte.	> 5		10 - 20
Nota: i.) Casos de deformación de roca pueden ocurrir para profundidades H < 3500 ^{0.75} (Singh, et al., 1991) La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada de q(MPa) = 0.7Y ₀ ^{0.75} , donde Y = densidad de la roca en kN/m ³ (Singh, 1993).			
d) Expansión de la roca. Actividad química expansiva dependiente de la presencia de agua.			
			SRF
R Presión litostática de deformación suave.	1 - 5		5 - 10
S Presión litostática de deformación fuerte.	> 5		10 - 20

Nivel 370 Dist. portal 29 m N° de tabla 06

Guía "B": Para determinar la calidad del macizo rocoso según el índice del Q de Barton



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON

1. Índice de calidad de roca.	RQD (%)
A Muy pobre.	0 - 25
B Pobre.	25 - 50
C Regular.	50 - 75
D Buena.	75 - 90
E Excelente.	90 - 100

Nota:

2. Número de sistemas de discontinuidades.	J _n
A Masiva, sin diaclasas o con fracturación escasa.	0.5 - 1
B Un sistema de diaclasas.	2
C Un sistema de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	3
D Dos sistemas de diaclasas.	4
E Dos sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	5
F Tres sistemas de diaclasas.	9
G Tres sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	12
H Cuatro o más sistemas de diaclasas, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J Roca triturada, terrosas.	20

Nota: i) En intersecciones de líneas se emplea la expresión 3/.
ii) En la boca de los límites se emplea la expresión 23/.

3. Factor de rugosidad de discontinuidades.	J _r
a) Contacto entre las paredes; y; b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm.	
A Diaclasas discontinuas.	4
B Rugosas o irregulares, ondulantes.	3
C Lisas, ondulantes.	2
D Lustradas, ondulantes.	1.5
E Rugosas o irregulares, planares.	1.5
F Lisas, planares.	1
G Lustradas, planares.	0.5

Nota: i) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y a escala intermedia, en ese orden.
c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla.
H Zona conteniendo minerales arcillosos en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes. 1
J Zona arenosa, de gravas o triturada en cantidad suficiente para impedir contacto entre las paredes. 1

Nota: i) Adicional: 1.0 cuando el espaciado entre discontinuidades es superior a 3 m.
ii) Se puede usar J_r = 0.5 para discontinuidades lustradas planares que presenten lineaciones, siempre que éstas estén orientadas según la dirección de mínima resistencia.

4. Factor de descomposición de discontinuidades.	Q _i (aprox.)	J _s
a) Contacto entre las paredes (sin minerales de relleno, sólo pitones).		
A Discontinuidad cerrada, dura, relleno impermeable, p. e., cuarzo o epidota.	—	0.75
B Paredes inalteradas, superficies con ligeros manchados de oxidación.	25° - 35°	1
C Paredes ligeramente alteradas, pitones de mineral no blanco, arenas y partículas libres de arcilla, por desintegración de roca.	25° - 30°	2
D Capas de arcillas limosas o arenosas, pequeña fracción de arcillas (no blandas).	20° - 25°	3
E Capas de arcillas blandas o de baja fricción, p. e., caolinita, mica, clorita, talco, yeso, grafito, et c. Pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	8° - 10°	4

b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (delgados rellenos de mineral).

F Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	10° - 24°	6
H Medía a baja sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 10°	8
J Relleno de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de J _s depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	6° - 12°	8 - 12

c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla (delgados rellenos de mineral).

K, L Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	8° - 24°	6, 8 o 8 - 12
--	----------	---------------

N Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, pequeñas fracciones de arcillas (no blandas).	—	5
O, P, R Densas zonas o bandas continuas de arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	6° - 24°	10, 13 ó 13 - 20

5. Factor de reducción por contenido de agua.	Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A Excavaciones secas o flujos menores, p. e., < 5 l/min, localmente.	< 1	1
B Flujos o presiones medias, lavado ocasional de rellenos de las discontinuidades.	1 - 2.5	0.66
C Flujos grandes o altas presiones en roca competente con discontinuidades sin relleno.	2.5 - 10	0.5
D Flujos grandes o altas presiones, considerable lavado de discontinuidades rellenas.	2.5 - 10	0.33
E Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos durante la voladura, deprimiendo con el tiempo.	> 10	0.2 - 0.1
F Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos, continuando sin depresión notable.	> 10	0.1 - 0.05

Nota:

6. Factor de reducción por tensiones.	SRF	
a) Zonas débiles intersección a la excavación, en las cuáles pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el hánel es excavado.		
A Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	—	10
B Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).	—	5
C Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).	—	2.5
D Múltiples zonas de cizalla en roca competente (libre de arcilla). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	—	7.5
E Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).	—	5
F Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).	—	2.5
G Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terrones, et c. (cualquier profundidad).	—	5

Nota: i) Reducir esos valores de SRF entre 25 - 50% las zonas de cizalla relevantes solamente influyen pero no interseccion a la excavación.
b) Rocas competentes. Problemas tensionales.

	σ_1 / σ_3	σ_2 / σ_3	SRF
H Tensiones bajas, carga de la superficie, fracturas abiertas.	> 200	< 0.01	2.5
J Tensiones medias, condición de tensiones favorable.	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K Tensiones altas, estructura muy compacta. Usualmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para los hastiales.	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L Lajamiento moderado después de 1 hora en roca masiva.	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M Lajamiento y estallido de roca después de unos pocos minutos en roca masiva.	3 - 2	0.65 - 0.1	50 - 200
N Estallido violento de roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inmediata en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400

Nota: i) Para campos de tensión fuertemente anisotrópicos (si son medidos): cuando $\sigma_1/\sigma_3 < 10$, reducir σ_2/σ_3 a 0.75; cuando $\sigma_1/\sigma_3 < 10$, reducir σ_2/σ_3 a 0.5; donde σ_1 = resistencia a la compresión uniaxial, σ_2 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor, y σ_2 = esfuerzo tangencial máxima (estimados de la teoría de elasticidad).
ii) Pocos casos disponibles se registran donde la profundidad de la corona es menor que el ancho Se sugiere incrementar SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H).
c) Deformación de la roca. Flujos plásticos de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.

	σ_1 / σ_3	SRF
O Presión litostática de deformación suave.	1 - 5	5 - 10
P Presión litostática de deformación fuerte.	> 5	10 - 20

Nota: i) Casos de deformación de roca pueden ocurrir para profundidades $H < 350Q^{0.7}$ (Singh, et al., 199 La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada de $\sigma_1(Mpa) = 0.7 \rho Q^{0.7}$, donde ρ = densidad de la roca en kN/m^3 (Singh, 1993).
d) Expansión de la roca. Actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.

	SRF
R Presión litostática de deformación suave.	1 - 5
S Presión litostática de deformación fuerte.	> 5

Nivel 370 Dist. portal 30 m N° de tabla 07

Guía "B": Para determinar la calidad del macizo rocoso según el índice del Q de Barton



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON

1. Índice de calidad de roca.		RQD (%)
A	Muy pobre.	0 - 25
B	Pobre.	25 - 50
C	Regular.	50 - 75
D	Buena.	75 - 90
E	Excelente.	90 - 100

2. Número de sistemas de discontinuidades.		J _s
A	Masiva, sin diaclasas o con fibración escasa.	0.5 - 1
B	Un sistema de diaclasas.	2
C	Un sistema de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	3
D	Dos sistemas de diaclasas.	4
E	Dos sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	6
F	Tres sistemas de diaclasas.	9
G	Tres sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	12
H	Cuatro o más sistemas de diaclasas, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J	Roca triturada, terrosa.	20

3. Factor de rugosidad de discontinuidades.		J _r
a) Contacto entre las paredes: y		
b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10cm		
A	Diaclasas discontinuas.	4
B	Rugosas o irregulares, ondulantes.	5
C	Lisas, ondulantes.	2
D	Lustrosas, ondulantes.	1.5
E	Rugosas o irregulares, planares.	1.5
F	Lisas, planares.	1
G	Lustrosas, planares.	0.5

4. Factor de descomposición de discontinuidades.		Φ _i (aprox.)	J _d
a) Contacto entre las paredes (sin minerales de relleno, sólo pulvina).			
A	Discontinuidad cerrada, dura, relleno impermeable, p. e., cuarzo o epidota.	—	0.75
B	Paredes inalteradas, superficies con ligeras manchas de oxidación.	25° - 35°	1
C	Paredes ligeramente alteradas, películas de mineral no blando, arenas y partículas libres de arcilla, por desintegración de roca.	25° - 30°	2
D	Capas de arcillas limosas o arenosas, pequeña fracción de arcillas (no blandas).	20° - 25°	3
E	Capas de arcillas blandas o de baja fricción, p. e., caolinita, mica, clorita, talco, yeso, grafito, et c. Pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	8° - 15°	4

5. Factor de reducción por contenido de agua.		Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A	Excavaciones secas o flujos menores, p. e. < 5 l/ min, localmente.	< 1	1
B	Flujos o presiones medias, lavado ocasional de rellenos de las discontinuidades.	1 - 2.5	0.66
C	Flujos grandes o altas presiones en roca competente con discontinuidades sin relleno.	2.5 - 10	0.5
D	Flujos grandes o altas presiones, considerable lavado de discontinuidades rellenas.	2.5 - 10	0.33
E	Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos durante la voladura, deprimiendo con el tiempo.	> 10	0.2 - 0.1
F	Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos, continuando sin depresión notable.	> 10	0.1 - 0.05

6. Factor de reducción por tensiones.		SRF	
a) Zonas débiles intersectan a la excavación, en las cuáles pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el túnel es excavado.			
A	Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	10	1
B	Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).	5	1
C	Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).	2.5	1
D	Múltiples zonas de cizalla en roca competente (libre de arcilla). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	7.5	1
E	Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).	5	1
F	Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).	2.5	1
G	Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terrones, et c. (cualquier profundidad).	5	1

7. Factor de expansión de la roca.		SRF	
a) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (deja los rellenos de mineral).			
F	Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G	Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	15° - 24°	6
H	Medio a bajo sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 15°	8
J	Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de λ depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	8° - 12°	8 - 12

N	Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, pequeñas fracciones de arcillas (no blandas).	—	5
O, P, R	Densas zonas o bandas continuas de arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	8° - 24°	10, 13 ó 15 - 20

8. Factor de reducción por tensiones.		SRF	
a) Zonas débiles intersectan a la excavación, en las cuáles pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el túnel es excavado.			
A	Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	10	1
B	Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).	5	1
C	Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).	2.5	1
D	Múltiples zonas de cizalla en roca competente (libre de arcilla). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).	7.5	1
E	Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).	5	1
F	Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).	2.5	1
G	Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terrones, et c. (cualquier profundidad).	5	1

9. Factor de expansión de la roca.		SRF	
a) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (deja los rellenos de mineral).			
F	Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G	Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	15° - 24°	6
H	Medio a bajo sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 15°	8
J	Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de λ depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	8° - 12°	8 - 12

10. Factor de expansión de la roca.		SRF	
a) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (deja los rellenos de mineral).			
F	Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G	Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	15° - 24°	6
H	Medio a bajo sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 15°	8
J	Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de λ depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	8° - 12°	8 - 12

11. Factor de expansión de la roca.		SRF	
a) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (deja los rellenos de mineral).			
F	Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G	Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	15° - 24°	6
H	Medio a bajo sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 15°	8
J	Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de λ depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	8° - 12°	8 - 12

Nivel	370	Dist. portal	35 m	Nº de tabla	08
-------	-----	--------------	------	-------------	----

Guía "B": Para determinar la calidad del macizo rocoso según el índice del Q de Barton



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON

1. Índice de calidad de roca.	RQD (%)
A Muy buena.	0 - 25
B Buena.	25 - 50
C Regular.	50 - 75
D Buena.	75 - 90
E Excelente.	90 - 100

Nota: i) En intersecciones de túneles se emplea la expresión 3J.
ii) En la boca de los túneles se emplea la expresión 2J.

2. Número de sistemas de discontinuidades.	J _n
A Masiva, sin diaclasas o con fisuración escasa.	0.5 - 1
B Un sistema de diaclasas.	2
C Un sistema de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	3
D Dos sistemas de diaclasas.	4
E Dos sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	6
F Tres sistemas de diaclasas.	9
G Tres sistemas de diaclasas más algunas diaclasas aleatorias.	12
H Cuatro o más sistemas de diaclasas, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones, etc.	15
J Roca triturada, terrosa.	20

Nota: i) En intersecciones de túneles se emplea la expresión 3J.
ii) En la boca de los túneles se emplea la expresión 2J.

3. Factor de rugosidad de discontinuidades.	J _r
a) Contacto entre las paredes: X	
b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10cm.	
A Diaclasas discontinuas.	4
B Rugositas o irregulares, onduladas.	3
C Lisas, onduladas.	2
D Lisas, onduladas.	1.5
E Rugositas o irregulares, planas.	1.5
F Lisas, planas.	1
G Lisas, planas.	0.5

Nota: i) Las descripciones se refieren a caracterizaciones a pequeña escala y a escala intermedia, en este orden.
ii) Se puede usar J_r = 0.5 para discontinuidades lisas planas que presenten lineaciones, siempre que éstas estén orientadas según la dirección de mínima resistencia.

4. Factor de descomposición de discontinuidades.	Φ _i (aprox.)	J _s
a) Contacto entre las paredes (sin minerales de relleno, sólo platinas).		
A Discontinuidad cerrada, dura, relleno impermeable, p. e., cuarzo o sílice.	—	0.75
B Paredes inalteradas, superficies con ligeros manchados de oxidación.	25° - 35°	1
C Paredes ligeramente alteradas, platinas de mineral no blando, arenas y partículas libres de arcilla, por desintegración de roca.	25° - 30°	2
D Capas de arcillas limosas o arenosas, pequeña fracción de arcillas (no blandas).	20° - 25°	3
E Capas de arcillas blandas o de baja fricción, p. e., caolinita, mica, clorita, talco, yeso, grafito, et c. Pequeñas cantidades de arcillas expansivas.	8° - 16°	4

b) Contacto entre las paredes ante un desplazamiento de cizalla de 10 cm (delgados rellenos de mineral).

F Partículas arenosas, libres de arcillas, por desintegración de la roca, etc.	25° - 35°	4
G Fuertemente sobre consolidados, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	16° - 24°	6
H Media a baja sobre consolidación, rellenos de arcillas (continuos, pero < 5 mm de potencia).	12° - 16°	8
J Rellenos de arcillas expansivas, p. e., montmorillonita (continuos, pero < 5 mm de potencia). Valor de J _s depende del porcentaje de partículas del tamaño de las arcillas expansivas, accesibilidad del agua, et c.	8° - 12°	8 - 12

c) No existe contacto entre las paredes durante el desplazamiento de cizalla (delgados rellenos de mineral).

K, L Zonas o banda de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	8° - 24°	5, 8 o 8 - 12
---	----------	---------------

N Zonas o bandas de arcillas limosas o arenosas, pequeñas fracciones de arcillas (no blandas).	—	5
O, P, R Densas zonas o bandas continuas de arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas).	8° - 24°	10, 13 ó 13 - 20

5. Factor de reducción por contenido de agua.	Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A Excavaciones secas o flujos menores, p. e., < 5 l/min, localmente.	< 1	1
B Flujos o presiones medias, lavado ocasional de rellenos de las discontinuidades.	1 - 2.5	0.66
C Flujos grandes o altas presiones en roca competente con discontinuidades sin relleno.	2.5 - 10	0.5
D Flujos grandes o altas presiones, considerable lavado de discontinuidades rellenas.	2.5 - 10	0.33
E Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos durante la voladura, depurando con el tiempo.	> 10	0.2 - 0.1
F Flujos o presiones de agua excepcionalmente altos, continuando sin depresión notable.	> 10	0.1 - 0.05

Nota:

6. Factor de reducción por tensiones.	SRF	
a) Zonas débiles intersectan a la excavación, en las cuáles pueden producirse desprendimientos de la masa rocosa mientras el túnel es excavado.		
A Múltiples zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. Muchos desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).		10
B Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m).		5
C Zonas débiles aisladas conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación > 50 m).		2.5
D Múltiples zonas de cizalla en roca competente (libre de arcillas). Desprendimientos de roca circundante (cualquier profundidad).		7.5
E Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación < 50 m).		5
F Zonas de cizalla aisladas (libres de arcilla - profundidad de excavación > 50 m).		2.5
G Desprendimientos, fracturas abiertas, fuertemente fracturado o en terrones, et c. (cualquier profundidad).		5

Nota: i) Reducir esos valores de SRF entre 25 - 50% las zonas de cizalla relevantes solamente influyen pero no intersectan a la excavación.

b) Roca competente. Problemas fenomenales.	σ ₁ / σ ₃	σ ₂ / σ ₃	SRF
H Tensiones bajas, cerca de la superficie, fracturas abiertas.	> 200	< 0.01	2.5
J Tensiones medias, condición de tensiones favorable.	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K Tensiones altas, estructura muy compacta. Usualmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para los hastiales.	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L Lijamiento moderado después de 1 hora en roca masiva.	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M Lijamiento y estallido de roca después de unos pocos minutos en roca masiva.	3 - 2	0.65 - 0.1	50 - 200
N Estallido violento de roca (deformación explosiva) y deformación dinámica inmediata en roca masiva.	< 2	> 1	200 - 400

Nota: i.) Para campos de tensión fuertemente anisotrópicos (si son medidos): cuando $\sigma_2/\sigma_3 < 0.1$, reducir σ_1/σ_3 a 0.75; cuando $\sigma_1/\sigma_3 < 10$, reducir σ_2/σ_3 a 0.5; donde σ_1 = resistencia a la compresión uniaxial, σ_2 y σ_3 son los esfuerzos principales mayor y menor, y σ_2 = esfuerzo tangencial máximo (estimados de la teoría de elasticidad).
ii.) Pocos casos disponibles se registran donde la profundidad de la corona es menor que el ancho. Se sugiere incrementar SRF de 2.5 a 5 para tales casos (ver H).

c) Deformación de la roca. Flujos plásticos de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.

	σ ₁ / σ ₃	SRF
O Presión litostática de deformación suave.	1 - 5	5 - 10
P Presión litostática de deformación fuerte.	> 5	10 - 20

Nota: i.) Casos de deformación de roca pueden ocurrir para profundidades H=3500^{1/3} (Singh, et al., 199 La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada de q(Mpa)=0.7γQ^{1/2}, donde γ = densidad de la roca en kN/m³ (Singh, 1993).

d) Expansión de la roca. Actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.

	SRF
R Presión litostática de deformación suave.	1 - 5
S Presión litostática de deformación fuerte.	> 5

Nivel 370 Dist. portal 40m N° de tabla 09

Anexo 28

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
DETERMINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS EN LA EXCAVACION
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, la cual está destinada a determinar el Excavation Support Ratio – *ESR* dentro de la mina Santa Clotilde 7.

Fecha: 7/10/2017

Nombre del observador: Chuyes Benel Franco

Hora de inicio / término de la observación: 11:00 am a 3 pm

Lugar de observación: Unidad Minera Santa Clotilde 7

Categorías en la excavación - ESR									
Categoría/ Tramo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A (2 - 5)									
B (1.6 - 2.0)									
C (1.2 - 1.3)		0.9		1.2	1.2	0.9	0.9	1.2	1.2
D (0.9 - 1.1)	0.9		0.9						
E (0.5 - 0.8)									
NOTAS	Se seleccionaron los valores más bajos de cada categoría debido a los daños por voladura que sufrió la excavación.								

Anexo 29

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
DETERMINACIÓN DEL DIAMETRO EQUIVALENTE
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, la cual está destinada a determinar el diámetro equivalente (D_e) dentro de la mina Santa Clotilde 7.

Fecha: 7/10/2017

Nombre del observador: Chuyes Benel Franco

Hora de inicio / término de la observación: 11:00 am a 3:00 pm

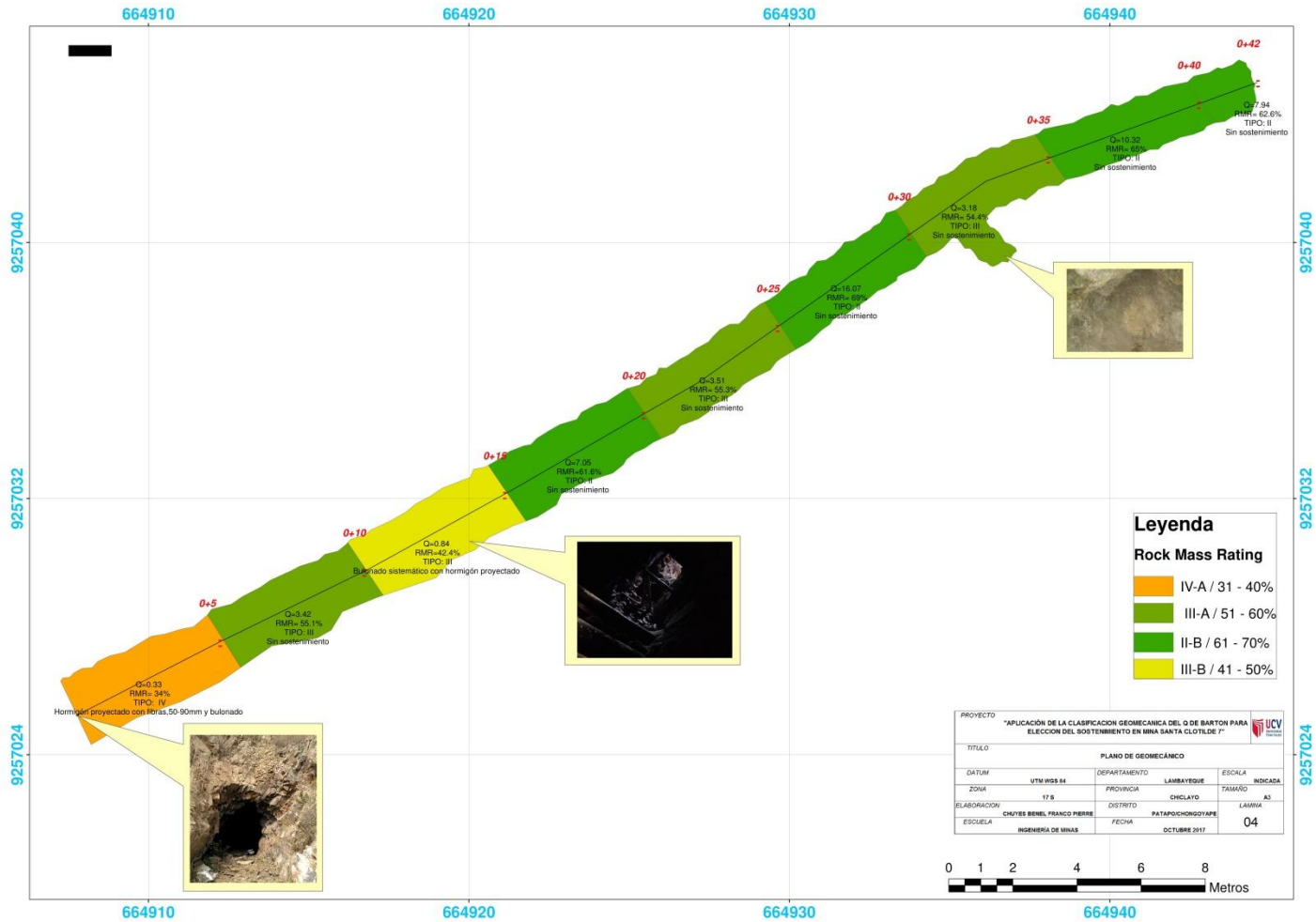
Lugar de observación: Unidad Minera Santa Clotilde 7

H / Altura del Túnel	ESR / Excavation Support Ratio	$D_e = H/ESR$
2.20 metros	0.9	2.44
2.50 metros	0.9	2.78
2.50 metros	0.9	2.78
2.90 metros	1.2	2.42
2.00 metros	1.2	1.67
1.80 metros	0.9	2.00
1.80 metros	0.9	2.00
1.80 metros	1.2	1.50
1.80 metros	1.2	1.50

Notas: Conforme se avanza en la excavación se va reduciendo la altura de la misma, se consideran medidas en tramos de 5 metros a excepción del último tramo donde solo se consideran 2 metros hasta el tope de la labor

Nivel	370	Distancia del portal	0-42 mtr	N° de tabla	01
-------	-----	----------------------	----------	-------------	----

Plano Geomecánico del nivel 370



Anexo 30

GUÍA DE OBSERVACIÓN EXPERIMENTAL

ELABORACIÓN DEL ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, está destinada a recoger información del ensayo de Carga Puntual para rocas extraídas del nivel 370 de la concesión “Santa Clotilde 7”.

Fecha: 30/10/2017

Nombre del observador: Chuyes Benel Franco

Hora de inicio / término de la observación: 8:30 am a 3:00 pm

Lugar de observación: Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Universidad Cesar Vallejo

Descripción	Forma de la Muestra	W1 W2	W promedio	Diámetro cm	(De) ²	P KN	Is MPa	F (De/50) ^{0.45}	Is50 MPa	σ_{ci} MPa
Ígnea	Irregular	4.1	3.6	2.4	108.57	35.5	4.72	14.426	1.203	108.49
		3.1								
Ígnea	Irregular	4.2	3.85	2.5	120.95	40	4.77	14.426	1.239	109.77
		3.5								
Ígnea	Irregular	4.0	3.7	2.2	102.29	37	5.22	14.426	1.280	120.02
		3.4								

Anexo 31

GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, está destinada a recoger información Índice de Resistencia Geológica para el nivel 370 en la mina Santa Clotilde 7.

Fecha: 7/10/2017

Nombre del observador: Chuyes Benel Franco

Hora de inicio / término de la observación: 11:00 am a 3:00 pm

Lugar de observación: Chuyes Benel Franco

Tramo	Estructura del Macizo Rocosos	Condición de la superficie
1	Fracturada/ Perturbada/ Sórdida	Pobre
2	Muy Fracturada	Regular
3	Muy Fracturada	Regular
4	Muy Fracturada	Regular
5	Fracturada	Regular
6	Fracturada	Regular
7	Fracturada	Buena
8	Fracturada	Buena
9	Fracturada	Buena

Anexo 32

GUÍA DE OBSERVACIÓN EXPERIMENTAL
ELABORACIÓN DEL ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO
APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA
ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA “SANTA CLOTILDE 7”- CHONGOYAPE
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
CHICLAYO 2017

El siguiente documento es una guía de observación, está destinada a recoger información del ensayo de Peso Específico para rocas extraídas del nivel 370 de la concesión “Santa Clotilde 7”.

Fecha: 27/10/2017


Nombre del observador: Chuyes Benel Franco

Hora de inicio / término de la observación: 11:00 am a 3:00 pm

Lugar de observación: Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Universidad Cesar Vallejo

Tramo	Peso de la roca-gr	Volumen del fluido-cm ³	Volumen del fluido desplazado-cm ³	Diferencia de volúmenes-cm ³	Peso específico-gr/cm ³	Peso específico-MN/m ³
1	246.975	500	592.5	92.5	2.67	0.0262
2	233.492	500	586.8	86.6	2.69	0.0264
3	303.008	500	611.4	111.4	2.72	0.0267
4	331.968	500	621.6	121.6	2.73	0.0268
5	287.974	500	605.1	105.1	2.74	0.0269
6	317.499	500	616.3	116.3	2.73	0.0268
7	335.65	500	622.5	122.5	2.74	0.0269
8	365.242	500	622.3	133.3	2.74	0.0269
9	333.025	500	621.1	121.1	2.75	0.0270

ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

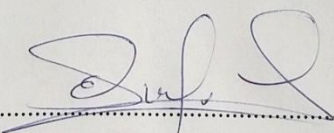
 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1
--	--	---

Yo, Mg. Rosa Eliana Salazar Cabrejos, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad César Vallejo Chiclayo, revisor (a) de la tesis titulada

"APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL Q DE BARTON PARA LA ELECCIÓN DEL SOSTENIMIENTO EN MINA SANTA CLOTILDE 7-CHONGOYAPE", del (de la) estudiante Chuyes Benel Franco Pierre, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 25% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) 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.

Chiclayo, 01 de julio de 2019



Firma

Mg. Rosa Eliana Salazar Cabrejos

DNI: 41 661370

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

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV

Código : F08-PP-PR-02.02
Versión : 07
Fecha : 31-03-2017
Página : 1 de 1

Yo Chuyes Benel Franco Pierre, identificado con DNI N° 74869225, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad César Vallejo, autorizo (X) , No autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "Aplicación de la clasificación geomecánica del Q de Barton para elección del sostenimiento en mina Santa Clotilde 7-Chongoyape"; 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

Fundamentación en caso de no autorización:

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

FIRMA

DNI: 74869225

FECHA: 17 de Mayo del 2019

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO 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. Ingenieros de Minas

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

Chuspa Baral Francisco Pizarro

INFORME TÍTULADO:

Aptitud de la clasificación geotécnica del Q de Boston para elusión del
evolucionando en minas Santa Elvinda 7- Chusaypata

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingenieros de Minas

SUSTENTADO EN FECHA: 17/05/19

NOTA O MENCIÓN: Aprobado por unanimidad



FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN