

Análisis de control de riesgos por efectos de subsidencia de rocas en la unidad minera Yauricocha

Risk analysis for control of subsidence impact of rocks in Yauricocha mining

Juan Landeo¹, Hugo Rivera², Christian Breña³

RECIBIDO : 01/08/2015 - APROBADO:22/12/2015

RESUMEN

Este artículo está fundamentalmente basado en las condiciones de seguridad, prevención y mitigación de los colapsos o subsidencias que pueden suceder, aplicando métodos de explotación de Sub-Level Caving, que basados en la gravedad se deja caer el material mineralizado por chimeneas hacia los niveles inferiores, donde esperan tolvas de transporte a lo camiones que llevan el material a la planta metalúrgica. Pero la situación del fenómeno de la subsidencia es uno de los problemas principales en la mina, por las excavaciones subterráneas, las labores suprayacentes y el método de explotación hundimiento por subniveles para la explotación de cuerpos mineralizados con potencia mayor de 5 metros. No realizan relleno en los tajos explotados. El método de hundimiento por subniveles no lo permite, se aplica el derrumbamiento de las paredes y techo, se forma en la parte central una zona de derrumbamiento y en sus alrededores una zona de fisuraciones, fracturamiento, fallas diaclasas o juntas desde el punto de vista geotécnico y geomecánico. El problema está determinado por la presencia de lutitas muy fisibles, además las vetas presentan diversas anchuras que están muy fracturadas. Este método de explotación se debe avanzar con un sistema contundente de instrumentación, monitoreo diario y permanente para evitar cualquier colapso eventual que pudiese suceder.

Palabras clave: Colapsos, subsidencia, hundimiento de subniveles.

ABSTRACT

This article is mainly based on security conditions, prevention and mitigation of collapse or subsidence that may occur by applying methods of exploitation of Sub-Level Caving, that based on gravity the material is dropped mineralized chimneys to lower levels where They are waiting hoppers to transport trucks carrying the material to the smelter. But the problematic situation of the phenomenon of subsidence is one of the main problems in the mine by underground excavations, the suprayacentes work and method of operation "for Sub-levels sinking" to the exploitation of ore bodies with power greater than five meters, not done filling in the exploited pits, sinking method for Sub-levels does not allow the collapse of the walls and ceiling applies, it is formed in the central area of collapse and around an area of cracking, fracturing, fault joints or joints from the point of view geotechnical and geomechanical the problem is determined by the presence of very fissile shale seams also have various widths that are highly fractured. This method of operation must move with a blunt instrument system, daily and permanent monitoring to avoid any eventual collapse that could happen.

Keywords: Collapses, subsidence, sublevel caving.

1 Estudiante de maestría en Geotecnia de la Facultad de Geología-FIGMMG- UNMSM. E-mail:juanlandeo_hotmail.com

2 Docente de la EAP de Ingeniería Geológica de la UNMSM. E-mail: hriverram@unmsm.edu.pe

3 Estudiante de maestría en Geotecnia de la Facultad de Geología FIGMMG- UNMSM. E-mail:christianbrena1964@yahoo.com

I. INTRODUCCIÓN

¿Cómo se debe controlar la subsidencia de las rocas para evitar el colapso de labores, accidentes en las personas y deterioro de las máquinas?

El riesgo y peligro que se pueda ocasionar por falta de control del problema de subsidencia en la unidad minera es el colapso y/o hundimiento de las labores mineras subterráneas, accidentes al personal y equipos de la unidad minera.

Se debe aplicar un control eximio, diario y consuetudinario de las labores mineras, recabando información del macizo rocoso para obtener índices de Q y RMR, condiciones de estabilidad, aplicando softwares de geotecnia y geomecánica, cálculos empíricos matemáticos y un vasto programa de instrumentación según monitores de sensores para evitar y mitigar colapsos que provoquen accidentes fatales al personal y deterioro a las máquinas operativas. Ver figuras 35-37 del anexo.

I.1. Área de estudio

La Unidad Minera Yauricocha está ubicada en el distrito de Alis, provincia de Yauyos, departamento de Lima, a una altitud de 4,600 m s.n.m. Tal como se aprecia en las Figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6, se observa la ubicación, acceso, medio ambiente antrópico que rodea la mina y la ubicación de las labores mineras.

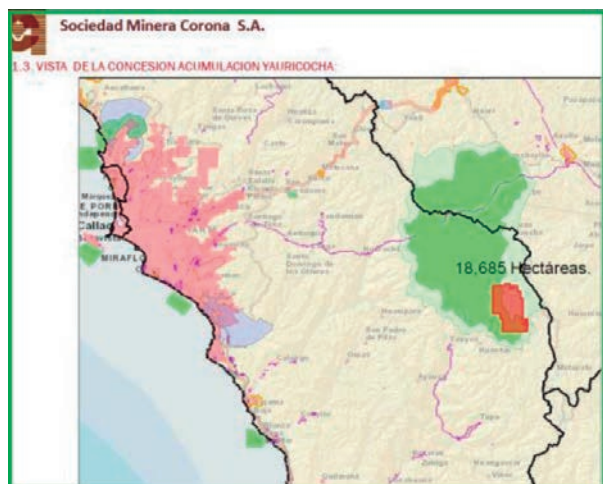


Figura N° 1. Ubicación geográfica y extensión de la mina.



Figura N° 2. Representación real de la mina en el presente.

I.2. Accesibilidad

Ruta 1
Lima-Cañete :150 km.
Cañete Yauricocha : 225 km
Tiempo promedio : 6 hora

Ruta 2
Lima-La Oroya : 174 km
La Oroya-Huancayo : 124 km
Huancayo-Yauricocha : 103 km
Tiempo promedio : 7 horas

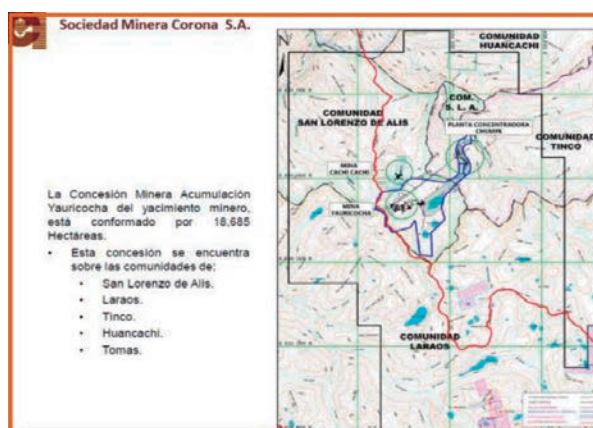


Figura N° 3. Ubicación de las comunidades relacionadas con la mina como dato ambiental antrópico: San Lorenzo de Alis, Laraos, Tinco, Huancachi y Tomas.



Figura N° 4. Ubicaciones de labores mineras

II. MATERIAL Y MÉTODO

La justificación de la investigación técnica del presente trabajo es prevenir riesgos, peligros, colapsos, conocer si la existencia de las labores anteriores y método de explotación hundimiento por subniveles son controlables o previsibles para evitar accidentes al personal y deterioro de los equipos de la empresa (ver Figura No. 25).

La mina Yauricocha es un depósito xenotermal (alta temperatura y baja presión), donde la mineralización ocurre en cuerpos y también en vetas (Gavilanez, H; Andrade, 2004).

Los cuerpos mineralizados. Para efectos del presente estudio, son de interés los cuerpos de Mascota, Catas, Antaca, Rosaura y Antaca Sur que están emplazados en la caliza de la formación Jumasha y están agrupados tanto dentro de la caliza, a lo largo del contacto con las lutitas de la formación Celendín, así como se observa en las Figuras No. 5,7,8 y 9.

La mina Yauricocha produce actualmente 70,000 toneladas métricas de mineral, con contenidos de Zn, Pb, Cu y Ag.

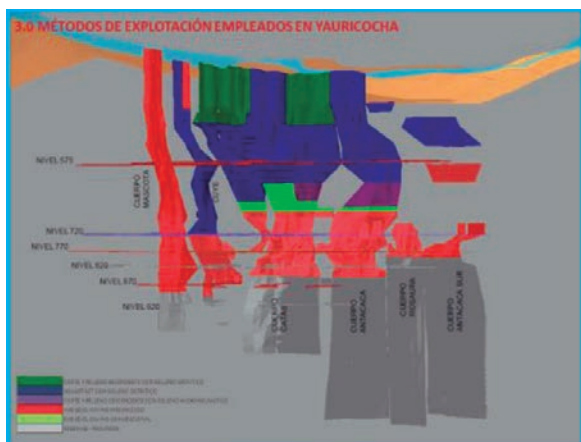


Figura N° 5. Perfil de las labores mineras (niveles) y los materiales geológicos y estructuras mineralizadas presentes en la mina.

El 75 % de esta producción procede de la extracción del mineral con el método Sub Level Caving (SLC) utilizado desde el año 2005 en los principales cuerpos mineralizados, como Catas, Mascota, Antacaca, Rosaura y Antaca sur. El 25% de la producción proviene de la extracción de vetas por el método de corte y relleno ascendente. (Figura N° 6).

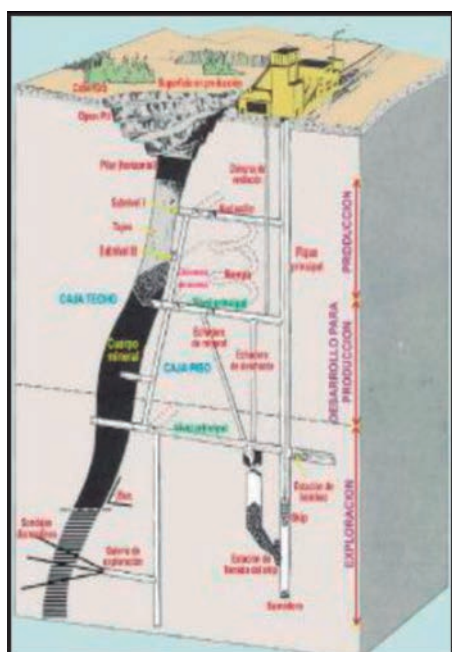


Figura N° 6. Perfil de la mina y el método de explotación Sub-Level Caving (SLC)

Desde el año 2005, se ha notado que el fenómeno de los flujo de barro ha ido en aumento y estudios anteriores (DCR, 2012) han encontrado una relación entre el método de minado SLC y la ocurrencia de “subsistencia” (término propio de la minería subterránea, definido como el movimiento de una superficie cuya componente vertical de desplazamiento es claramente predominante sobre su componente horizontal).

Método de tajo anular para investigaciones de reservas mineras, geotécnicas y geomecánicas que la mina debe hacer un programa más incisivo o más a detalle para investigar el fracturamiento y los aspectos hidrogeológicos de la mina. Sociedad Minera Corona S.A. tiene proyectado en su plan de minado profundizar la mina Yauricocha, utilizando el método Sub Level Caving hasta el nivel 1220 del sector central.

En 2010 se realizó un inventario de aguas superficiales, subterráneas y mapeo hidrogeológico, también se detalló ejecutar 8 taladros verticales e inclinados para intersectar la falla Yauricocha. En abril del 2012 se realizaron trabajos de campo para realizar el inventario de fuentes de agua en superficie e interior de la mina.

Dentro de las fuentes de agua en superficie, se inventariaron 15 fuentes de agua constituidas por una quebrada, 5 manantiales, 2 lagunas y 4 efluentes de mina. Dentro de las fuentes de agua de interior se tiene el túnel Klepetko, también se incluyeron los niveles 575, 670, 720, 770, 820, 870 y 920, el caudal promedio de bombeo fue 0.6 lt/seg.

III. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

La situación o tema de discusión es el fenómeno de la subsistencia, que es uno de los problemas principales en la mina, por las excavaciones subterráneas, las labores suprayacentes y el método de explotación hundimiento por subniveles (como se observa en las figuras No. 7, 8 y 9) para la explotación de cuerpos mineralizados con potencia mayor a 5 metros. No realizan relleno en los tajos explotados. El método de hundimiento por subniveles no lo permite, se aplica el derrumbamiento de las paredes y techo. Se forma en la parte central una zona de derrumbamiento y en sus alrededores una zona de fisuraciones, fracturamiento, fallas diaclasas o juntas desde el punto de vista geotécnico-geomecánico, además se debe acotar la presencia de vetas de diversas anchuras.

Las zonas de fracturamiento, diaclasas, fallas o juntas (juntas son fracturamientos de roca que no se pueden diferenciar entre diaclasas o fallas o fisuras). Es muy importante deslindar la diferencia que existe en la roca cuando se forma como resultado de las deformaciones por flexión del aspecto de formación, por desplazamiento de las paredes y techo que delimitan la zona de las rocas colapsadas (Ramírez, P: Alejano, L,2007).

Está claro que se deben aplicar y establecer modelos de softwares y programas más de los que ya se aplican para hacer investigaciones más a detalle, conjuntamente con las instrumentaciones adecuadas en las galerías, como se observan en las figuras 10, 11, 12 y 13.

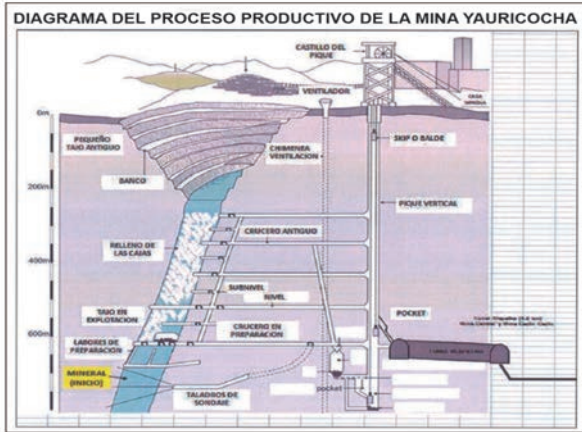


Figura N° 7. Esquema del perfil de las operaciones de la mina y el método de explotación.

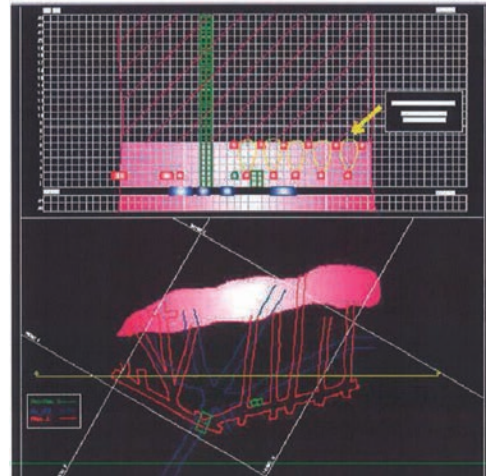


Figura N° 10. Proyección de la galería según el perfil creado proyectado para su mejor ataque de explotación.

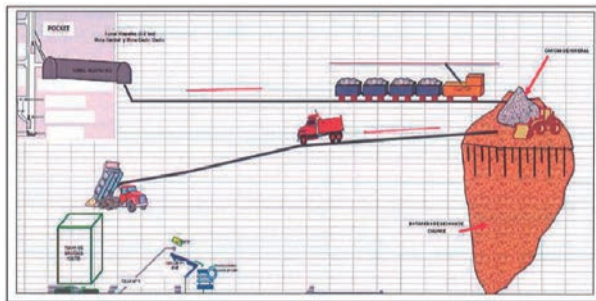


Figura N° 8. Metodología y proceso de transporte del material mineralizado para aplicar el sistema metalúrgico.

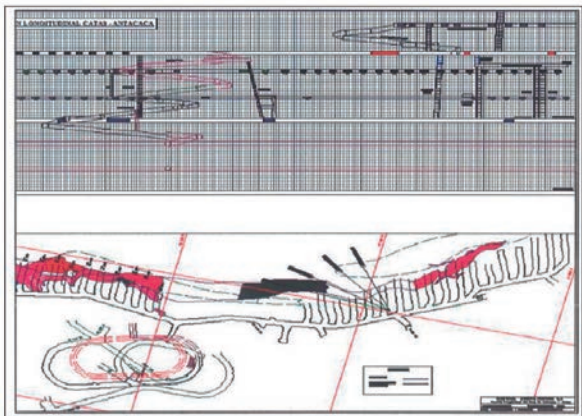


Figura N° 9. Diseño perfil y horizontal del desarrollo del laboreo minero de la galería.

En la superficie, desde el punto de vista geotécnico se refleja en esta zona las terrazas escalonadas de hundimiento, divididas por grietas y zonas de debilidad paralelas a los límites de la zona colapsada o de subsidencia.

El riesgo y peligro que se puede ocasionar por la falta de control del problema de subsidencia en la unidad minera es el colapso y/o hundimiento de las labores mineras subterráneas, accidentes al personal y equipos de la unidad minera.

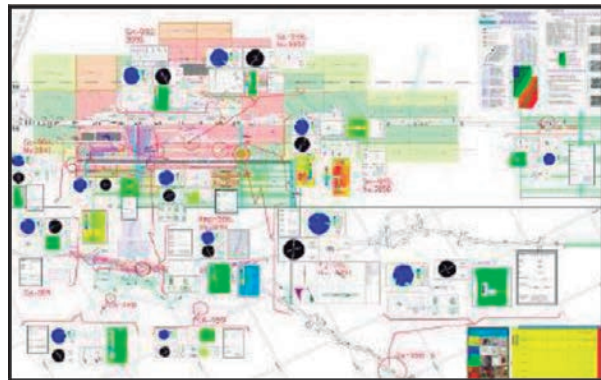


Figura N° 11. Aplicación del programa Phases y Dips.

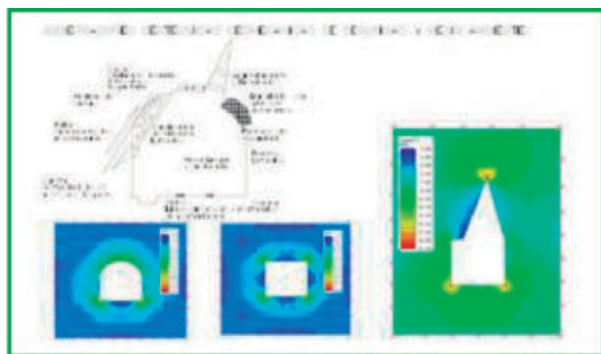


Figura N° 12. Software Phases que simula la estabilidad o desestabilidad según presiones.

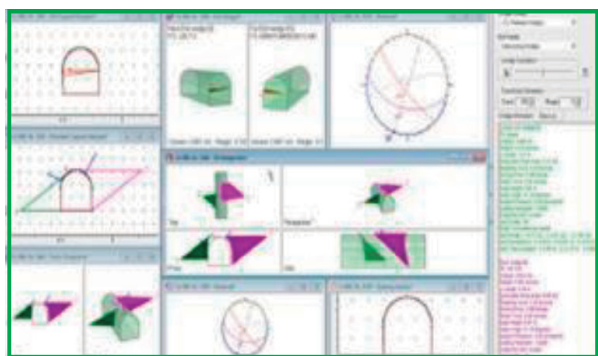


Figura N° 13. Software Unwedge que simula las cuñas en presión litostática confinada. Da la geometría y el eje del sentido de movimiento de las cuñas, condiciones de estabilidad y los factores de seguridad, como también da posibilidades de estabilizar el macizo rocoso fracturado con anclajes (Robles, N.,1994).

3.1. EN LA ACTUALIDAD

En lo que concierne a la estabilidad de las galerías, compete a una sinergia del departamento de seguridad según los estudios geotécnicos (parte externa en el relieve superficial de condiciones de estabilidad y en la parte interna:

las investigaciones geomecánicas (RMR-Q) y condiciones del macizo rocoso (roca fresca con relación al fracturamiento como también el análisis de GSI, familias de fracturamiento y la resistencia de la roca). Ver Figuras 27, 28 y 34 (GSI) del anexo.

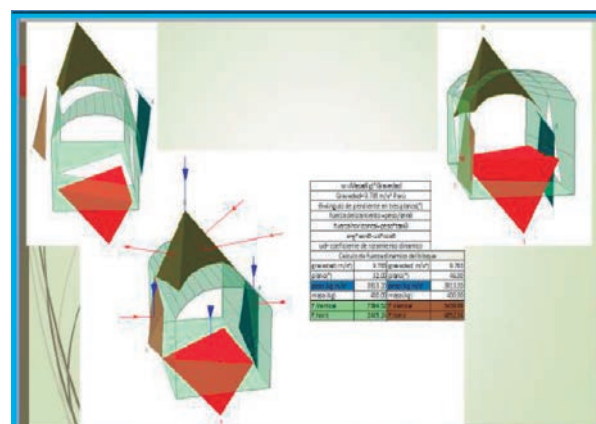


Figura N° 14. Cálculo físico-matemático para calibrar los software de Swedge y verificar el buen desempeño de softwares bien definidos.

TIPO	CALIDAD	TIPOS DE SOSTENIMIENTO	CARACTERÍSTICAS	NORMAS DE TRABAJO APLICADAS		TIPO DE	COSTO	RISGO		
				LABORES DE DESARROLLO	LABORES DE SOSTENIMIENTO					
I	MUY BUENA		Macizo rocoso duro con algunas fracturas, pero a gran escala afectado por la zona de fracturas y algunas cavidades.	De soporte a poco costoso	De soporte a poco costoso	1.1	11	30	60	30
II	BUENA		Macizo rocoso duro con pocas fracturas, pocas alteraciones y algunas cavidades.	Sostenimiento puntual compuesto de 5 pilas	Sostenimiento continuo a gran escala 2 pilas	1.1	11	14	14	14
III	BUENA		Macizo rocoso moderadamente duro con pocas fracturas, pocas alteraciones y algunas fracturas moderadamente a gran escala, con algunas cavidades moderadas.	Sostenimiento continuo con pilas de 5 pilas	Empalmado compuesto de 2 pilas	1.1	11	14	14	14
IV	BUENA		Macizo rocoso moderadamente duro con pocas fracturas, pocas alteraciones y algunas fracturas moderadamente a gran escala, con algunas cavidades moderadas.	Sostenimiento continuo con pilas de 5 pilas	Sostenimiento con Pilas separadas (1.1) 2 pilas + 1.1	1.1	11	14	14	14
V	BUENA		Macizo rocoso moderadamente duro con pocas fracturas, pocas alteraciones y algunas fracturas moderadamente a gran escala, con algunas cavidades moderadas.	Sostenimiento continuo con pilas de 5 pilas	Pilas separadas (1.1) 2 pilas + 1.1	1.1	11	14	14	14
VI	BUENA		Macizo rocoso moderadamente duro con pocas fracturas, pocas alteraciones y algunas fracturas moderadamente a gran escala, con algunas cavidades moderadas.	Sostenimiento continuo con pilas de 5 pilas	Sostenimiento con Pilas separadas (1.1) 2 pilas + 1.1	1.1	11	14	14	14
VII	BUENA		Macizo rocoso moderadamente duro con pocas fracturas, pocas alteraciones y algunas fracturas moderadamente a gran escala, con algunas cavidades moderadas.	Sostenimiento continuo con pilas de 5 pilas	Sostenimiento con Pilas separadas (1.1) 2 pilas + 1.1	1.1	11	14	14	14
VIII	BUENA		Macizo rocoso moderadamente duro con pocas fracturas, pocas alteraciones y algunas fracturas moderadamente a gran escala, con algunas cavidades moderadas.	Sostenimiento continuo con pilas de 5 pilas	Sostenimiento con Pilas separadas (1.1) 2 pilas + 1.1	1.1	11	14	14	14

Figura N° 15. Formas de sostenimiento según el RMR del macizo rocoso

3.2. Con el fin de prevenir riesgos en el túnel es necesario implementar los monitores siguientes

3.2.1. Monitoreo topográfico

El monitoreo topográfico es la aplicación de extensómetros y sensores para ver el movimiento de los techos y pisos. Según el hundimiento de las estructuras que identificarán las anomalías de movimiento, se han presentado en años anteriores debido al método de explotación de hundimiento por subniveles. Se han implementado puntos de monitoreo para poder controlar la estabilidad de la zona y alrededores. Este tipo de monitoreo permitirá detectar movimientos superficiales anticipadamente para tomar las acciones de estabilidad correspondientes (SN-MPE, 2004).

3.2.2. Monitoreo de convergencia

El objetivo de las mediciones de convergencia es para determinar y verificar el comportamiento de la roca frente a los esfuerzos variables que están constituidos por esfuerzos de la presión litoestática y sus cambios provoca-

dos por las ondas de eventos sísmicos, asimismo existen esfuerzos inducidos por el método de minado de hundimiento por subniveles.

3.2.3. Monitoreo por piezómetros

Para verificar la presión de poros; también es un método directo para ver el comportamiento de los rellenos hidráulicos o la falta adecuada de estos para ver los vacíos o colapsos internos.

3.2.4. Monitoreo de aplicación de los instrumentos de justificación legal

Artículo 88° literal a) del Decreto Supremo N°055-2010-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

Todo titular minero deberá identificar permanentemente los peligros, evaluar y controlar los riesgos a través de la información brindada por todos los trabajadores en problemas potenciales que no se previeron durante el diseño o el análisis de tareas.

3.2.5. Monitoreo para el sostenimiento

Se emplean diferentes tipos de sostenimiento. Dependiendo de la calidad del mineral y las cajas, va desde pernos de roca puntuales, pernos con malla de sostenimiento, shotcrete (Cemento lanzado a presión), cuadros de madera, hasta cimbras (arcos metálicos) para poder proporcionar seguridad al trabajador y no generar derrumbes en zonas inestables.

3.2.6. Monitoreo especial para lutita y caliza

La intercalación de lutita y caliza, que son los mayores componentes de la roca caja, afronta un mayor comportamiento negativo en cuanto a la inestabilidad porque la lutita es fisible y las lajas microfracturadas comprometen al yacimiento para que sucedan deslizamientos provocados de manera sucesiva. Esto quiere decir que el diseño de seguridad de estabilidad tiene que ser muy incisivo.

3.2.7. Monitoreo del sistema de seguridad y sostenimiento

Los estudios de estabilidad tienen que ser muy claros y directos, porque en un yacimiento donde hay intercalaciones de calizas y lutitas -los colapsos por cuñas internas, es decir, en confinamiento pétreo- las presiones son más activas y las tensiones son más proclives a dinámicas inesperadas que se tienen que prevenir de manera absoluta.

3.2.8. Monitoreo por software y programas

Para estos métodos de explotación efectivos y adecuados, los softwares como Dip, Swedge y programas de RMR y Q son bien aplicados por el tema de fracturamiento y colapso frecuente.

La instrumentación basada en sensores se debe aplicar de manera contundente, tal como se aprecia en las Figuras 18, 20 hasta 24.

Luego de aplicar los softwares, se deben instalar las estructuras de sostenimiento que aparecen en la Figura 11, 12 y 21, para fortificar las condiciones de sostenimiento.

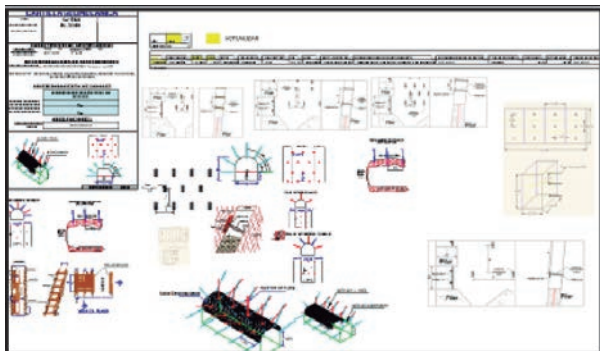


Figura N° 16. Condiciones de sostenimiento de galerías para aumentar las condiciones de sostenimiento y estabilidad.

3.3. Instrumentación

Para estos sistemas de explotación y complicada combinación e intercalación de calizas fracturadas y lutitas, la instrumentación a base de sensores remotos es muy importante para impedir los accidentes. Se debe observar las Figuras 17, 18, 19 y 20.

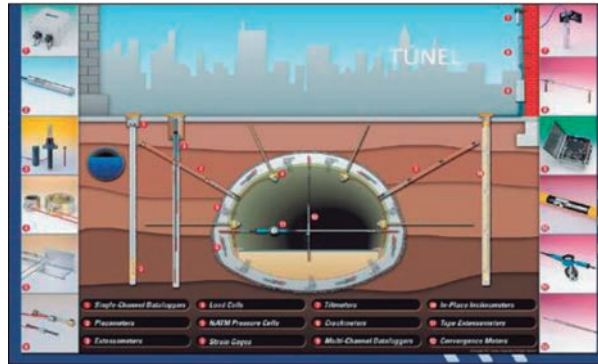


Figura N° 17. Instrumentos y sensores para verificar los movimientos de galerías y túneles.



Figura N° 18. Muestra cómo se coloca un sensor que registra movimientos verticales horizontales y antero posteriores.



Figura N° 19. Monitor donde se registran las actividades de los sensores instalados en la instrumentación que se ha instalado en la galería.

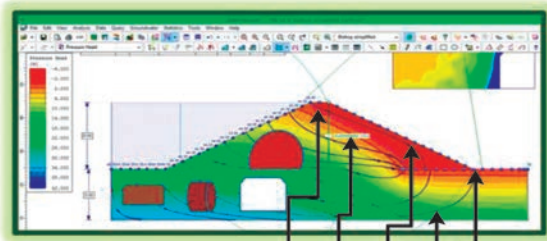


Figura N° 20. Diferentes tipos de sensores que se pueden aplicar en los piezómetros de tubo abierto para determinar la presión de poros, movimientos, etc.

3.3.1. Análisis hidrológico e hidrogeológico

Se debe hacer un estudio más a detalle de las filtraciones de agua y sus flujos de la masa rocosa, cómo se transporta el agua a través de los estratos y pseudoestratos. En las figuras 26 y 27, se observan las redes de flujo aplicando el software Slide.

Se debe fortificar o investigar con perforaciones y piezómetros las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas de la mina. Se debe tener mucho cuidado con los factores que se observan en las Figuras 23 y 26.



- a. La línea de saturación de la presa.
- b. El caudal que fluye por la línea A en m3/día
- c. Mostrar las redes flujo en la presa y en la fundación
- d. Indicar como influye el dren en la línea de saturación y en las redes de flujo.
- e. Comentar sus respuestas

Figura N° 21. Esquema holístico según el software Slide

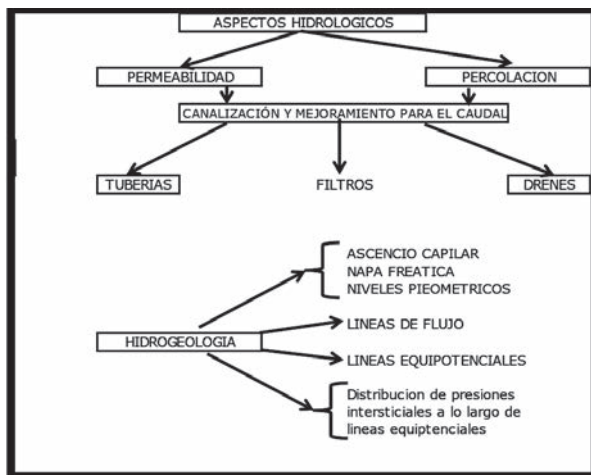


Figura N° 22. Se observa en este esquema los elementos que conforman los análisis hidrológico e hidrogeológico.

IV. CONCLUSIONES

- 4.1. Para evitar, prevenir y mitigar los colapsos o subsidencias se deben aplicar buenos apuntalamientos adecuados, rellenos hidráulicos debidamente procesados, procesos de estabilidad según el RMR-Q de la roca. De esos datos dependerán los anclajes, mallas, cimbras y shotcrete, etc. Se deben observar las figuras.
- 4.2. Se debe instrumentar las galerías con sensores de movimiento e hinchamiento de las rocas propias de las galerías, sobre todo en zonas de fracturas, fallas, diaclasas o juntas, etc., tal como se observa en las Figuras 16 y 17.
- 4.3. Como medidas de control principalmente, hacer investigaciones de RMR-Q para ver las condiciones

de estabilidad de las rocas de las galerías y aplicar las medidas de corrección como anclajes (empernados pasivos o activos), pernos helicoidales para aguas acidadas, mallas con cocos según el grosor de los estratos, pseudoestratos o material angular que se desprende de la roca, cimbras para un control total del área debilitada y shotcrete con anclajes que pasen del volumen de roca alterada hasta llegar a roca fresca para estabilizar las zonas afectadas por futuros colapsos (Se debe observar las figuras N° 14, 15, 35; y 30, 31, 32, 33, 36, 37).

V. AGRADECIMIENTOS

A la compañía minera por la oportunidad de poder laborar y darme todas las condiciones materiales y económicas para realizar esta investigación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 6.1. Gavilanez, H; Andrade, B (2004): Introducción a la Ingeniería – Caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. Editorial Asociación de Ingenieros de Minas de Ecuador (EAIM).
- 6.2. Ramírez, P; Alejano, L (2007): Mecánica de rocas. Desarrollo sostenible Ingeniería Recursos Minerales. Editorial Dispublic-UPM (Universidad Politécnica de Madrid).
- 6.3. Robles, N. (1994): Excavación y sostenimiento de túneles. Editorial Concytec.
- 6.4. SNMPE (2004): Manual de geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea. Editorial Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. Perú.

VII. ANEXOS

Estado	Ensayo de Corte Directo ASTM D 3080		
Especimen N°	I	II	III
Diámetro del anillo (cm.)	0.30	0.30	0.30
Altura inicial de la muestra (cm.)	2.10	2.10	2.10
Densidad húmeda inicial (gr/cm ³)	1.779	1.779	1.779
Densidad seca inicial (gr/cm ³)	1.741	1.741	1.741
Cont. de humedad inicial (%)	2.2	2.2	2.2
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm.)	2.07	2.05	2.01
Altura final de la muestra (cm.)	2.02	1.98	1.98
Densidad húmeda final (gr/cm ³)	2.223	2.236	2.254
Densidad seca final (gr/cm ³)	1.857	1.895	1.922
Cont. de humedad final (%)	19.1	18.0	18.9
Esfuerzo normal (kg/cm ²)	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm ²)	0.288	0.555	0.803
Ángulo de fricción interna	27.4 °		
Cohesión (kg/cm ²)	0.03		

Figura N° 23. En estos ensayos se muestra la densidad seca que para efectos de aplicación de cálculos físico o software se aplicará para épocas secas del lugar y la densidad y humedad para épocas de lluvia o aumento de extremo caudal del río si fuera el caso.

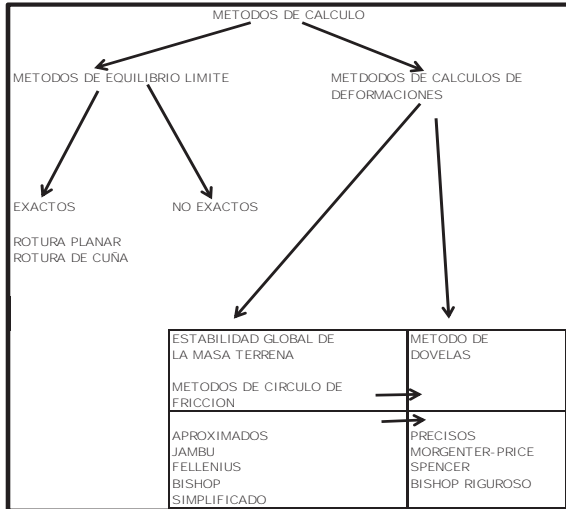


Figura N° 24. Este esquema muestra los diversos métodos numéricos que se usan para aplicar softwares para análisis de deslizamiento del macizo rocoso.

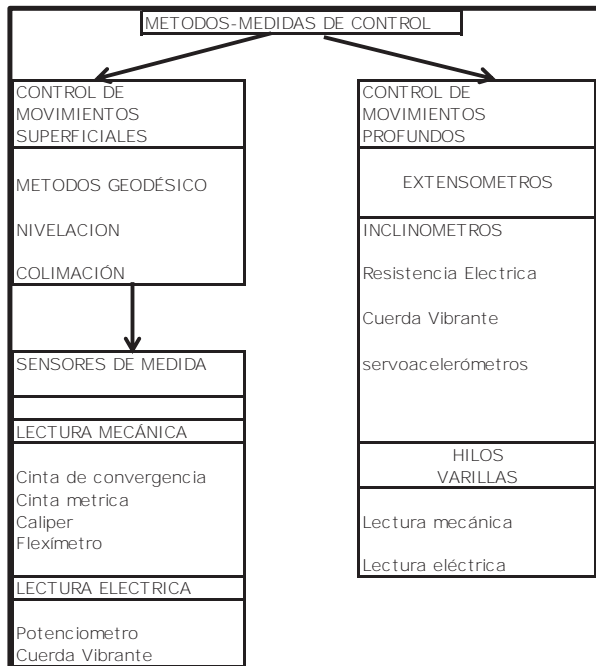


Figura N° 25. Este esquema muestra los diferentes instrumentos para aplicar valoraciones de control mediante procesos de investigación para la prevención y mitigación de colapsos que puedan provocar accidentes.

CONTROL DE POROS INTERSTICIALES	
PIEZOMETRO DE OBSERVACIÓN	TUBO RANURADO QUE SE MIDE EL NIVEL DEL AGUA POR SONDA
PIEZOMETRO ABIERTO	TUBO RANURADO EN LA PARTE INFERIOR PARA EVITAR TRANSMISIÓN DE PRESIÓN INTERSTICIAL EN EL INTERIOR DEL POZO. LA MEDIDA DEL NIVEL SE REALIZA CON UNA SONDA.
PIEZOMETRO CERRADO	SENSOR QUE DETECTA LA PRESIÓN INTERSTICIAL

Figura N° 26. Este organigrama organizativo muestra cómo, con perforaciones de tajo anular y piezómetros, podemos determinar la presión de poros, es decir, el nivel del agua con relación a la filtración del agua y sus niveles de variación.



Figura N° 27. Se observan las diferentes proyecciones de los estratos (rocas sedimentarias) o pseudo-estratos (rocas ígneas, mantos estratificados por su fracturamiento o zona de contacto) y su influencia en la estabilidad del macizo.

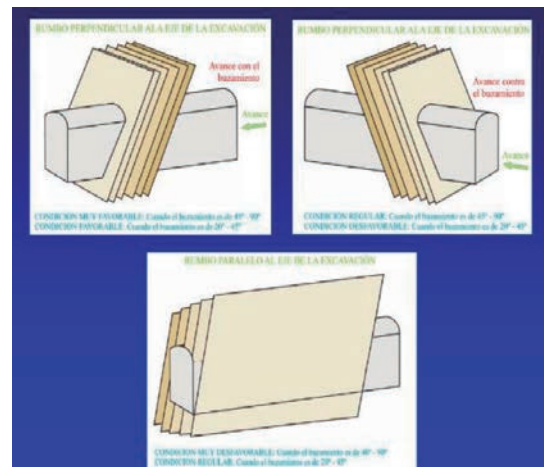


Figura N° 28. Muestra otras visualizaciones de buzamiento de los estratos o pseudo-estratos favorables o desfavorables.

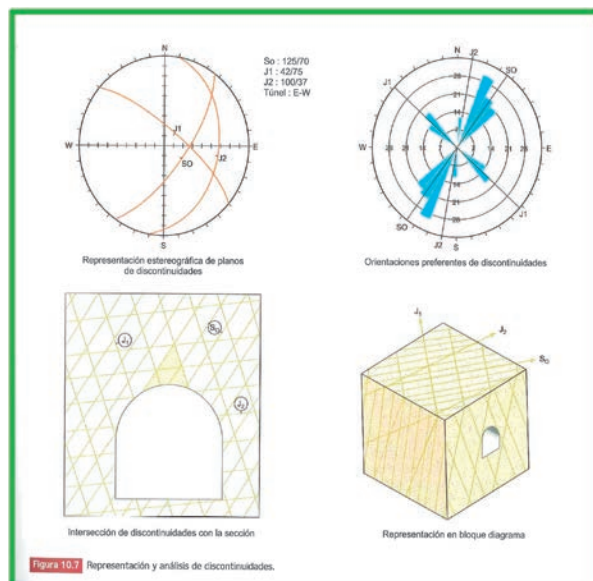


Figura N° 29. Análisis según el programa geotécnico-geomecánico Dips, donde se observan los estereogramas, los buzamientos de las fracturas y las zonas de debilidad.

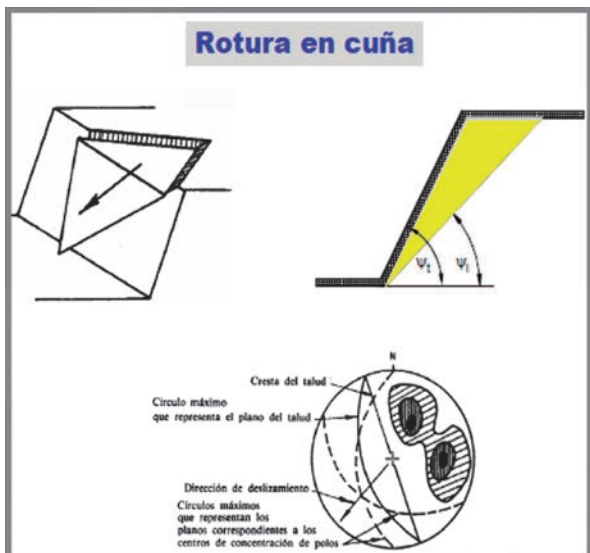


Figura N° 30. Análisis de cuña y cómo se define según el estereograma las paredes limitantes que conforman.

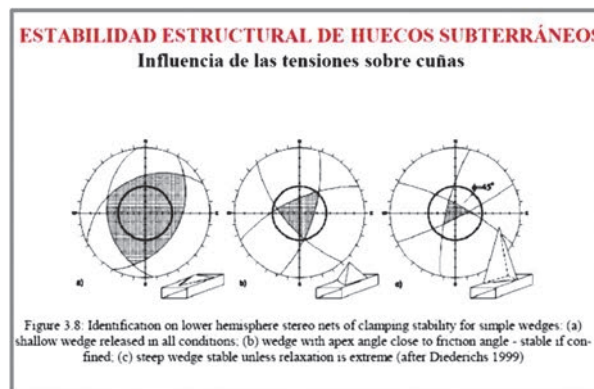


Figura N° 33. Estos estereogramas muestran cómo la cuña va evolucionando en tamaño según la geométrica estereográfica.

Pero si el área es menor en el estereograma, en la realidad o campo, la incidencia de la cuña es mayor, porque los ángulos de buzamiento van desde el exterior como 0° hasta el interior 90°; es la explicación matemática geométrica de los Dip y Direction.

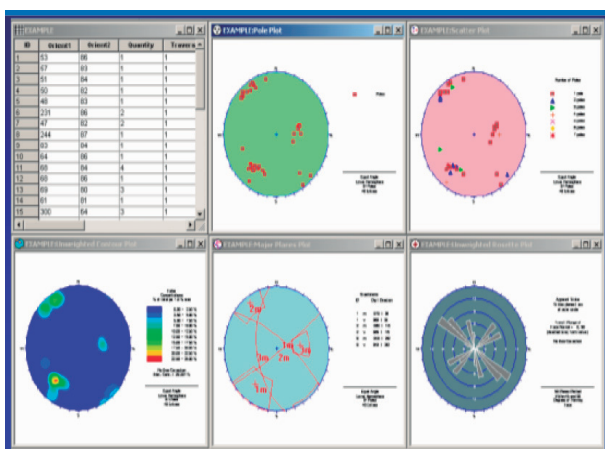


Figura N° 31. Análisis estereográfico progresivo y cómo trabaja procesalmente la investigación.

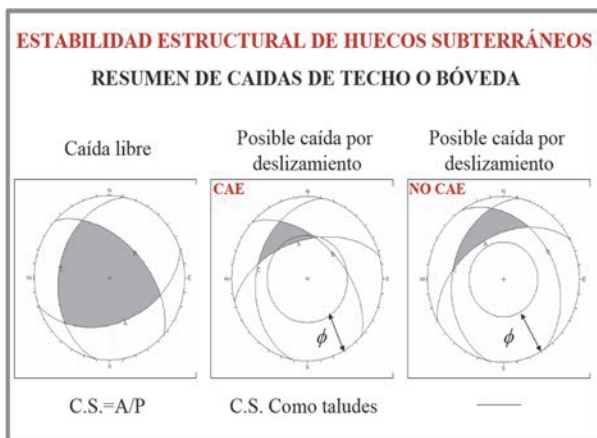


Figura N° 32. Estos estereogramas muestran la estabilidad estructural de huecos subterráneos.

LABORES MINERAS DE DESARROLLO (3.50-5.0 m) LABORES DE EXPLOTACION (4.5-7.0 m)							
A	SIN SOPORTE - RENDIO OCASIONAL	BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (RD 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA) BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERNADA) DISCONTINUIDADES ESCOSAS, LEVEMENTE ALTERNADAS DE OXIDACION, LIGERAMENTE ABIERTA (RD 50 a 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA) PORRE (MODER. RESIST., LLENA A MODER. ALTERN.) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERNADA, LIGERAMENTE ABIERTA (RD 25 A 50 MPa) (SE INCIENTA SUPERFICIALMENTE CON GOLPES DE PICOTA) MUY PORRE (BLANDA, MUY ALTERNADA) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRACIONES, MUY ALTERNADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA (RD 5 A 25 MPa) - (SE INCIENTA MAS DE 5 m.)					
B	RENIO SISTEMATICO 1.50 x 1.50 m. (Malla o cinta ocasional)						
C	RENIO SISTEMATICO 1.2 x 1.2 m. (Malla o cinta ocasional)						
D	RENIO SISTEMATICO 1.0 x 1.0 m. y MALLA o Shoretac con fibra (5 cm) + perno sistematizo 1.50 x 1.50 m						
E	RENIO SISTEMATICO 0.80 x 0.8 m. + MALLA o Shoretac con fibra (10 cm) + perno sistematizo 1.0 x 1.0 m						
F	CORREAS METALIZAS O GUARDOS DE MADERA ESPACIADOS CADA METRO TIEMPO DE COLOCACION INMEDIATO LONGITUD MINIMA DE 2.10 m						
ESTRUCTURA							
	LEVEMENTE FRACTURADO TRES O MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI (RD 75-90) (2 A 6 FRACTURAS POR METRO) (RD= 115 - 3.3 Jm.)	(A)	(A)	(A)	(B)		
	MODERADAMENTE FRACTURADO MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES (RD 50 - 75) (6 A 12 FRACTURAS POR METRO)	(A)	(A)	(C)	(C)		
	MUY FRACTURADO MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RD 25-50) (12 A 20 FRACTURAS POR METRO)	(A)	(C)	(C)	(E)		
	INTENSAMENTE FRACTURADO PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES (RD 0 - 25) (MAS DE 20 FRACTURAS POR METRO)	(B)	(D)	(E)	(F)		

Figura N° 34. Este esquema muestra el análisis GSI, que determina un índice numérico basado en dos parámetros.

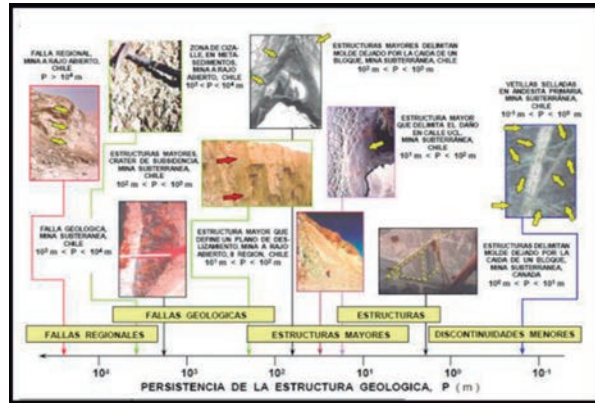


Figura N° 35. Análisis procesal estructural desde el punto de vista macrotectónica regional, local y microtectónica.

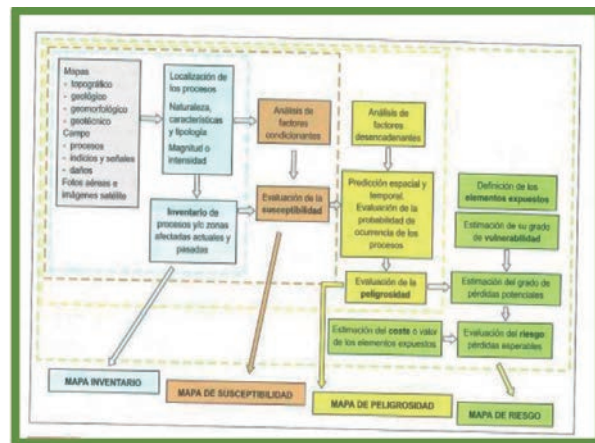


Figura N° 36. Esquema de la metodología para la realización de los mapas de susceptibilidad, peligrosidad y riesgo.

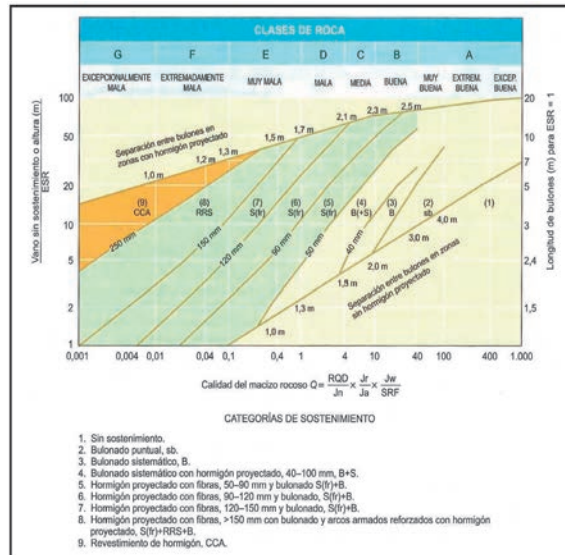


Figura N° 37. Sostenimiento según el índice de Q de Barton, muestra que según la altura del túnel (más de 3 m de altura) o galería (menos de 3 m de altura).