

ASCEN
NO CIRCULANTE



**Caracterización geomecánica para diseño de sostenimiento en Minería
Subterránea. Un caso de aplicación: Nivel 6, Mina Colombia, El Callao,
Estado Bolívar**

**Trabajo de Ascenso presentado
ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela
por el Prof. Omar A. Márquez Muñoz
para ascender a la categoría de
Profesor Asistente**

Caracas Nov.2005

INDICE

RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. OBJETIVO	3
3.1 Objetivo general	3
3.2 Objetivos específicos	3
3.3 Justificación	3
4. MARCO METODOLOGICO	4
4.1 Tipo de Investigación	4
4.2 Recolección y procesamiento de datos	5
5. MARCO TEORICO	6
5.1 Antecedentes.	6
5.2 TEORIA DE LA CARACTERIZACION GEOMECANICA	8
5.2.1 Clasificación de Bieniawski	8
5.2.2 Clasificación de Barton	12
5.2.3 Clasificación de Hoek Brown	18
5.3 ANALISIS DE ESTABILIDAD	24
5.3.1 Estabilidad del Techo Método del Bloque Clave	24
5.3.2 Estabilidad de las caras del pilar: análisis cinemático y mecánico	29
6. UN CASO DE APLICACIÓN: Mina Colombia.	33
6.1 Ubicación	33
6.2 GEOLOGIA	37
6.2.1 Geología Regional	37
6.2.2 Geología Local	40
6.2.3 Geología Estructural	43
6.3 Ensayos de laboratorio	45
6.3.1 Resistencia a la compresión uniaxial	45
6.4 Resultados de la clasificación geomecánica	47
6.4.1 Resultados de la clasificación de Bieniawski	47
6.4.2 Resultados de la clasificación de Barton	48
6.4.3 Resultados de la clasificación de Hoek	49
6.5 MONITOREO CON CAMARA INFRARROJO	50
6.5.1 Resultados del monitoreo con la cámara infrarrojo	51
6.6 RESULTADOS DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TECHO	63
6.7 RESULTADOS DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE PILAR	76
7. CRITERIOS PARA EL SISTEMA DE REFORZAMIENTO	101
7.1 PROPUESTA DE MECANISMO DE ESTABILIZACION	102
8. INSTRUMENTACION	106
9. CONCLUSIONES	107
10. RECOMENDACIONES	110
11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	112
12. BIBLIOGRAFIA	113
13. ANEXOS	114

RESUMEN.

Prof. Omar Aníbal Márquez Muñoz
Departamento de Minas
Escuela de Geología Minas y Geofísica
Facultad de Ingeniería UCV. Caracas.

Se establecen las características del macizo rocoso, como resultado de un levantamiento geológico y un programa de perforaciones, durante el cual se tomaron muestras que fueron descritas petrográficamente y ensayadas mecánicamente. Clasificándose el macizo rocoso por las metodologías de Barton, Bieniawski y Hoek-Brown. Como resultado de la determinación de las características geomecánicas del macizo, fueron establecidas las características de estabilidad del techo de las cámaras, así como de las caras de los pilares, determinándose las necesidades de sostenimiento según Barton y según Bieniawski. Se evidencia el control estructural sobre las condiciones de estabilidad del techo de las cámaras, y de las caras de los pilares. Se diseña un patrón de fortificación basado en pernos del tipo split set y pernos helicoidales, de tres (3) m de longitud, distribuidos en una malla de 1,5 metros por lado. Considerando todo este análisis, se enfatiza en la necesidad de equilibrar las expectativas de producción, con relación, a la seguridad en las operaciones de desarrollo minero y de extracción del mineral.

Palabras clave: macizo rocoso, sostenimiento, geomecánica, estabilidad.

1. INTRODUCCION

El continuo desarrollo de las excavaciones tanto en superficie como a nivel subterráneo ha generado, cada vez con más énfasis, la necesidad de entender el comportamiento geomecánico del macizo rocoso. Las propiedades físico-mecánicas de la roca, más la aplicación de variadas técnicas de medición y de análisis de esfuerzos y deformaciones alrededor de las excavaciones, se han constituido en herramientas indispensables para el control de la estabilidad tanto para excavaciones superficiales, como en cavidades subterráneas a cualquier profundidad. La aplicación de técnicas basadas en esta disciplina determina apropiadamente no sólo el correcto dimensionamiento de excavaciones y el apropiado diseño de sistemas de sostenimiento, sino que también logra, además del control de la estabilidad, por medio de sistemas de monitoreo e instrumentación geomecánica, un adecuado planeamiento de minado en base a modelos computacionales de simulación geomecánica, adicionalmente se una disminución de costos y un diseño óptimo.

En la industria minera la geomecánica aplicada está en estrecha relación con la seguridad. La correcta aplicación de esta disciplina contribuye a la prevención de fenómenos cada vez mas frecuentes como es el caso del desprendimiento de rocas, estallidos de rocas, colapso repentino de galerías o unidades de explotación, minimizando el riesgo y evitando así daños al personal o equipos. La integración de los aspectos geomecánicos a la operación minera y al proceso de toma de decisiones, materializará mejoras, no sólo en los índices de accidentabilidad, sino también en el aumento de la productividad y eficiencia del sector minero.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Las excavaciones subterráneas con fines de explotación minera constituyen uno de los retos más importantes en la ingeniería de minas. La minería subterránea representa un sector pujante a nivel mundial, particularmente en Venezuela donde minas antiguas están siendo reactivadas y ampliadas, mientras que otras nuevas serán desarrolladas.

Uno de los métodos de explotación en minas subterráneas, más frecuentemente usado es el de cámaras y pilares, este método consiste en la remoción de material rocoso contentivo del mineral generando de esta forma cavidades de distintas formas y dimensiones, denominadas cámaras. Por otra parte, los pilares son elementos de sostenimiento natural de primera importancia, que soportan la sobrecarga generada por el espesor de roca y suelos que los recubre, éstos están constituidos por el material rocoso no removido, que con frecuencia contiene mineral. La implementación de este método de explotación viene acompañada de un incremento en el nivel de riesgo en las actividades mineras de extracción y arranque de mineral.

Por esto, se hace evidente la necesidad de contar con una herramienta de diseño cuyo procedimiento o rutina incorpore las teorías y formulaciones disponibles en la literatura geomecánica, así como la experiencia en ese campo, de manera de garantizar un diseño que asegure la estabilidad de la excavación y la seguridad de las operaciones mineras subterráneas.

3. OBJETIVOS.

3.1 Objetivo general:

Diseñar el sostenimiento y fortificación del techo de las cámaras y de las caras de los pilares, en función de las características geomecánicas del macizo rocoso, en el Nivel 6 de la Mina Colombia, CVG-Minerven, El callao, Estado Bolívar, Venezuela.

3.2 Objetivos específicos:

Caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso.

Analizar las variables que intervienen en el diseño de sostenimiento.

Analizar la estabilidad del techo de las cámaras

Analizar la estabilidad de las caras de los pilares.

Proponer una solución de estabilización del techo de las cámaras.

Proponer una solución de estabilización las caras de los pilares.

3.3. Justificación

Las excavaciones mineras subterráneas con fines de explotación, son operaciones de mucho riesgo, el cual depende de un grupo de factores, entre los que destaca el comportamiento geomecánico del material rocoso sometido a excavaciones.

En estas excavaciones, a menudo se debe profundizar en búsqueda de nuevas zonas de acumulación de mineral, aumentando de esta manera el riesgo. La seguridad del personal así como de los equipos y de la vida misma de la mina se ve amenazada por la posibilidad de que ocurran derrumbes y colapsos en el interior de la mina.

Por otro lado, dado que el nivel de inversión aumenta con la profundidad, resulta en consecuencia de gran importancia, asegurar la estabilidad de todas las áreas la excavación.

4. MARCO METODOLOGICO.

4.1 Tipo de investigación.

De manera primaria se puede clasificar este estudio como de campo ya que las variables se pueden observar en su ambiente natural y los fenómenos de interés se estudian en la misma realidad donde se producen (Ramírez, 1989). Los estudios de campo permiten indagar en sitio los efectos de la interacción entre las distintas variables. (Kerlinger, 1975).

En este tipo de estudios el investigador no se plantea la manipulación de variables, lo cual haría perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta el fenómeno que se desea estudiar.

Tomando en cuenta los objetivos planteados, la investigación es de tipo explicativo causal ya que se pretende no sólo describir, sino determinar el por qué sucede, el eventual colapso de minas subterráneas y la incidencia en ello de las características geomecánicas, se estudiará el “factor de riesgo” asociado a esta situación y se propone una metodología de diseño orientada a minimizar ese factor de riesgo” y se define un factor de seguridad como criterio de aceptación.

El estudio explicativo es un nivel más avanzado de tipo de investigación respecto al descriptivo, en él se plantean hipótesis tendentes a la verificación de relaciones explicativas y causales y estudia los problemas partiendo de la causa al efecto y viceversa.

En cuanto al tipo de investigación, es del tipo No experimental debido a que no se manipularán variables, atendiendo a su dimensión temporal la investigación es de tipo transeccional ya que los datos se recogerán en un momento único. (Hernández, 2003).

También es de tipo correlacional causal, ya que describirá las variables, así como también la

relación entre ellas en un momento determinado, siempre en función de la caracterización geomecánica del macizo rocoso objeto del estudio.

4.2 Recolección y procesamiento de datos.

El Procesamiento de recolección de datos se realizó en dos etapas consecutivas: Trabajo de Campo y Trabajo de Laboratorio.

Trabajo de Campo. Durante esta etapa del trabajo se realizó un Levantamiento Geológico, detallado, con descripción de afloramientos, se inventariaron las familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso. Se hicieron mediciones de rumbo y buzamiento con brújula del tipo Brunton, para establecer la orientación espacial de las estructuras geológicas detectadas.

La exploración del macizo a nivel local, se hizo por medio de tres (3) perforaciones de diez (10) metros de longitud, las mismas fueron verticales, descendentes; se hicieron a máquina por rotación con broca de diamante de diámetro BX (35,6 mm) y tubo doble, con recorridos de 1 m y 1,50 metros. Así mismo, se auscultó el macizo con una cámara introsópica de infrarrojo.

Trabajo de laboratorio. Las muestras obtenidas fueron llevadas al laboratorio para ser reconocidas, descritas y clasificadas. Se realizaron ensayos para determinar la Resistencia a la Compresión Uniaxial de forma directa.

Trabajo de oficina.

Durante esta etapa se procesó y analizó toda la información obtenida tanto en campo como en laboratorio, se clasificó el macizo usando tres clasificaciones disponibles en la literatura geomecánica, el análisis de estabilidad de los pilares se hizo por medio de las técnicas de las proyecciones estereográficas. Se realizaron los análisis de estabilidad en el techo de las cámaras por el Método del Bloque Clave, para lo cual se usó el Software UNWEDGE, el que se basa en el mencionado método, así mismo, en la estabilidad de las caras de los

pilares se utilizaron los programas ROCPLANE y SWEDGE, los cuales se basan en el uso de las proyecciones hemisféricas y analizan la posibilidad de falla planar y de cuña respectivamente..

5. MARCO TEORICO.

5.1 Antecedentes.

José Sierra (1999), realizó la Tesis de Grado titulada **“Alternativas de sostenimiento de la excavación del túnel Tazón Norte del ferrocarril Caracas-Cúa”**, en la cual se pretende intervenir el macizo rocoso de manera tal que aumente la cohesión interna disminuyendo la deformabilidad del terreno. Esto se obtiene introduciendo elementos estructurales rígidos o con propiedades específicas, que una vez introducidos en el terreno aumenta la fricción interna, gracias al incremento sustancial de la rigidez del terreno armado con respecto al terreno natural preexistente.

Luis Ríos (1999), elaboró la Tesis de Grado titulada **“Evaluación y seguimiento geotécnico-estructural en el proceso constructivo del túnel Altomonte, tramo IV, del ferrocarril Caracas-Cúa”**, cuya finalidad es la de garantizar por medio de un estudio geotécnico-estructural la estabilidad de la excavación durante la etapa de construcción de la misma.

Teodoro Tippe (1994), realizó una Tesis de Grado titulada **“Proyecto de expansión Mina Colombia”**, en la cual se realizaron estudios de mecánica de rocas, con la finalidad de diseñar los pilares para el nivel 4, cuyos resultados llevaron a la conclusión de que estos deben ser cuadrados de 8 metros por 8 metros de lado, con cámaras de 10 metros de ancho.

Luis Herrera (1986) realizó la Tesis de Grado titulada **“Plan de explotación subterránea para un filón aurífero aflorante”**, cuya conclusión dice textualmente “La distribución de los esfuerzos sobre pilares depende del esfuerzo vertical aplicado (antes de la excavación) y de la relación de extracción”.

Ana Capriles (1985), elaboró la Tesis de Grado titulada **“Diseño geotécnico del túnel Mochima, Sector Santa Fe, Estado Sucre”**, en la cual se concluye que en base a la representación de las diferentes discontinuidades presentes en el macizo rocoso, se puede determinar mediante las proyecciones estereográficas, cuales rectas de intersección forman un bloque crítico deslizable.

León Macias y Oswaldo Montes (1975), realizaron la Tesis de Grado titulada **“Método de explotación subterránea para la Mina aurífera Colombia, El Callao, Estado Bolívar”**, cuyo objetivo es el de seleccionar el método de la explotación minera de esta mina y cuya conclusión fue la de escoger el método de cámaras y pilares.

Bases Teóricas.

Se clasifica el macizo rocoso usando las teorías de Deere, Barton, Bieniawski y Hoek-Brown. Se analiza la estabilidad de la cara de los pilares por medio de la teoría de las Proyecciones Estereográficas y la estabilidad del techo de las cámaras se analizó por medio del Método del Bloque Clave.

Litología: Tipo de roca presente en la zona de estudio, depende de la naturaleza de la roca y de la mineralogía.

Características estructurales: Presencia en la roca de estructuras geológicas tales como estratificación, foliación, diaclasa y fallas.

Estratificación: Estructura planar típica de las rocas sedimentarias, originada por la acumulación de partículas durante la sedimentación.

Foliación: estructura planar típica de las rocas metamórficas, originada por la orientación de los granos durante la acción del metamorfismo..

Diaclasa: Fractura en la roca sin desplazamiento relativo entre los bloques resultantes.

Frecuencia: Número de diaclasas por metro.

Falla: Fractura en la roca con desplazamiento relativo entre los bloques resultantes.

Densidad: Relación entre el peso y el volumen de un núcleo de roca

Resistencia a la compresión uniaxial: Parámetro geomecánico que indica la resistencia a ser roto de un material rocoso, por la acción de una fuerza actuante en la dirección axial, sin confinamiento lateral.

G.S.I (Índice de Resistencia Geológica) parámetro definido por Hoek(1980) para clasificar las rocas de acuerdo al grado de fracturamiento y a la calidad de las superficies de las discontinuidades.

Q: Índice de calidad de la roca definido por Barton en 1970.

RQD. Índice de calidad de la roca definido por Deere en 1966

RMR: Índice de calidad de la roca definido por Bieniawski en 1974.

Discontinuidades: Interrupción de tipo estructural en las características de una roca.

5.2 TEORIA DE CARACTERIZACION GEOMECANICA.

5.2.1 Clasificación de Bieniawski.

Esta clasificación fue introducida por Bieniawski originalmente en 1973, sufriendo modificaciones y ampliada, hasta obtenerse la definitiva en 1989. Esta clasificación constituye el primer intento importante de introducir en la definición del macizo rocoso una

cuantificación bastante mas avanzada con respecto a todas las propuestas con anterioridad. El autor en su "Clasificación Geomecánica" define un nuevo índice de calidad: "Rock Mass Rating" (RMR) para la cuantificación numérica de la calidad mecánica del macizo rocoso.

Se trata, de establecer una serie de características fisico-mecánicas para el macizo rocoso, que sean suficientemente representativas de su comportamiento geomecánico, con referencia específica no sólo a problemas de excavación y sostenimiento de túneles, sino también a taludes en superficie, fundaciones, etc.

Se definen seis (6) parámetros físicos que controlan el comportamiento geomecánico del macizo, para cada uno de estos parámetros se asigna una puntuación numérica y el RMR es la suma de estas puntuaciones cuyo valor, es variable entre 0 y 100, define la clase de macizo rocoso en cinco rangos posibles, como se muestra en la tabla 1.

El sexto parámetro es un factor correctivo, debido a la orientación de las discontinuidades (ver figura 1).

Los parámetros para la clasificación son los siguientes:

- Compresión uniaxial de la roca intacta.
- RQD.
- Espaciamiento entre las discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades.
- Condiciones hidrológicas.
- Orientación de las discontinuidades.

1	Resistencia de la roca sana	Esayo de 1 punto	> 100 kp/cm ²	40-80 kp/cm ²	20-40 kp/cm ²	10-20 kp/cm ²	Compresión simple (kp/cm ²)		
		C. simple	> 2.500 kp/cm ²	1.000-2.500 kp/cm ²	500-1.000 kp/cm ²	250-500 kp/cm ²	50-250	10-50	< 10
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de las diaclasas		Muy rugosas Discontinuas Sin separaciones Bordes sanos y duros	Ligeramente rugosas Abertura < 1 mm Bordes duros	Ligeramente rugosas Abertura < 1 mm Bordes blandos	Espejos de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1-5 mm Diacl. continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diacl. continuas		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación Presión de agua / Tensión principal mayor	0	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Lig. húmedo	Húmedo	Gotando	Fluyendo		
		Valoración		15	10	7	4	0	

B. CORRECCION POR LA ORIENTACION DE LAS DIACLASAS

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Valoración para	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

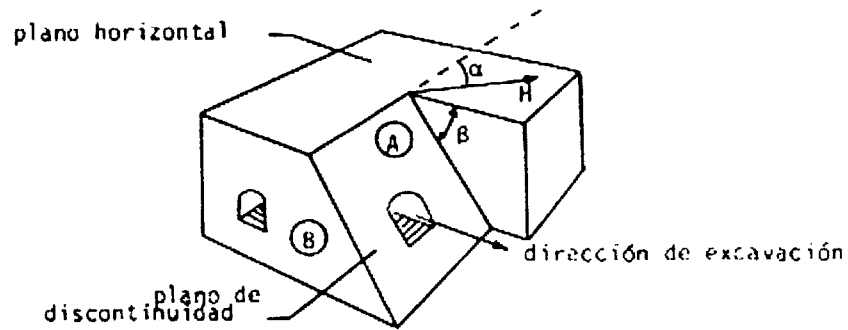
C. CLASIFICACION

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Aceptable	Mediocre	Muy mala
Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

D. CARACTERISTICAS

Clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento	10 años con 5 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 min con 1 m de vano
Cohesión	> 4 kp/cm ²	3-4 kp/cm ²	2-3 kp/cm ²	1-2 kp/cm ²	< 1 kp/cm ²
Angulo de rozamiento	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

Tabla 1 Clasificación de Bieniawski



-Rumbo y buzamiento de las superficies de discontinuidades-

Evaluación de los efectos de la orientación de las discontinuidades			
TUNEL EN POSICION A			
(BUZAMIENTO)			
CONSECUENTE CON LA DIRECCION DE LA EXCAVACION		EN CONTRA DE LA DIRECCION DE LA EXCAVACION	
45° - 90°	20° - 45°	20° - 45°	45° - 90°
Muy favorable	favorable	desfavorable	medio
TUNEL EN POSICION B			
(BUZAMIENTO)			
20° - 45°		45° - 90°	
medio		Muy desfavorable	
N.B. : Para un buzamiento = 0° - 20°, se tendrá un efecto desfavorable independientemente de la dirección.			

Figura 1 Evaluación de los efectos de la orientación de las discontinuidades.

5.2.2 Clasificación de Barton.

Este autor desde (1.974) ha ido desarrollando y perfeccionando un concepto de clasificación sobre bases estadísticas. Se trata de una clasificación muy compleja y detallada, basada en el análisis de los datos obtenidos durante la excavación de mas de 200 túneles.

Este análisis ha permitido definir un índice de calidad del macizo rocoso "Q" (Rock Mass Quality) relacionado con la estabilidad de la excavación y el tipo de sostenimiento.

El rango de valores de Q va de 0.001 hasta 1000, lo que hace intuir la gran precisión permitida, aunque hasta ahora solo teóricamente debido a que algunos de los parámetros que se utilizan para la evaluación de Q se caracterizan por definiciones cualitativas y no suficientemente cuantitativas.

Q se define mediante la combinación algebraica de seis (6) parámetros fundamentales, cada uno con un rango de variabilidad proporcional a su influencia estimada sobre la calidad geomecánica del macizo rocoso.

Estos son:

- Rock Quality Designation (RQD)
- Índice de Diaclasado (Jn)
- Índice de Rugosidad (Jr)
- Índice de Alteración (Ja)
- Coeficiente hidrológico (Jw)
- Factor de Reducción (SRF)

En la tabla 2 se recogen las principales indicaciones sobre la forma de estimar estos parámetros, mientras que la expresión para Q es:

$$Q = (RQD/Jn) \times (Jr/Ja) * (Jw/SRF)$$

Sin embargo, surgen ciertas dificultades para la correcta interpretación de esta tabla, y el mismo autor en su trabajo original, suministra una serie de notas explicativas.

- RQD: (índice de calidad de Deere) si el RQD es menor que 10, para el cálculo de Q se toma RQD = 10.
- Jn: (índice de Diaclasado) para las zonas de intersección de dos túneles es 3Jn y para los portales es 2Jn. Cuando el macizo rocoso es estratificado, para la evaluación de Jn estas discontinuidades se tomarán como sistemas definidos cuando son muy marcados y en caso contrario como discontinuidades ocasionales.
- Jr: (índice de Rugosidad de las discontinuidades) si el espaciamiento entre las discontinuidades del sistema principal es mayor de tres metros debe aumentarse en una unidad su valor.
- Ja: (índice de Alteración de las fracturas) en el trabajo original, la tabla para este parámetro es muy detallada tomando en cuenta tres diferentes grupos de condiciones de la discontinuidad en función de la entrada en contacto o no de las dos superficies durante la ejecución de un ensayo de corte directo. (índice de alterabilidad de las discontinuidades).
- Jr/Ja: La relación entre estos dos parámetros se refleja directamente sobre la resistencia al corte de la discontinuidad.

- **Jw:** (Coeficiente Reductor por la presencia de agua) no se toma en cuenta la eventual formación de hielo y se recomienda aumentar los valores de Jw cuando sean previstas obras de drenaje y en la medición de la presión de agua. La presión de agua tiene un efecto adverso en la resistencia al corte en las discontinuidades debido a la reducción de los esfuerzos efectivos. El agua es la causante del ablandamiento y lavamiento de las diaclasas.
- **SRF:** (Coeficiente de influencia del estado tensional) para el uso de este parámetro, en el caso de rocas con discontinuidades aisladas y limpias (es decir, sin relleno de materiales finos), para el grupo de rocas competentes, en la determinación del SRF intervienen en el valor de la relación C_0/σ_1 o T_0/σ_1 y σ_1/σ_3 (siendo C_0 la resistencia a la compresión simple, T_0 la resistencia a la tracción simple, σ_1 y σ_3 los esfuerzos principales máximo y mínimo de la roca en sitio respectivamente). En resumen este parámetro mide: la pérdida de resistencia en caso de excavación de túneles a través de zonas de corte y zonas arcillosas, los esfuerzos en rocas competentes y las cargas fluyentes en rocas incompetentes plásticas. Para rocas competentes y poca cobertura, si la profundidad del terreno es menor que el ancho de la sección se toma el $SRF = 5$.

Estimación de parámetros que intervienen en el índice Q (simplificado de Barton et al. 1974)

Índice de diaclutado J_d (*)		Índice de rugosidad J_r	
Roca masiva	0,5-1,0	Diacladas rellenas	1
Una familia de diacladas	2	Diacladas limpias (*)	
Id con otras diacladas ocasionales	3	— Discontinuas	4
Dos familias de diacladas	4	— Onduladas, rugosas	3
Id con otras diacladas ocasionales	6	— Onduladas, lisas	2
Tres familias de diacladas	9	— Planas, rugosas	1,5
Id con otras diacladas ocasionales	12	— Planas, lisas	1,0
Cuatro o más familias, roca muy fracturada	15	Lisos o espejos de falla	
Roca triturada	20	— Ondulados	1,5
		— Planos	0,5

(*) En embocaduras $2 \times J_d$

(*) O cuyas caras entran en contacto bajo la sollicitación

$$Q = \frac{RQD \cdot J_r \cdot J_w}{J_d \cdot J_a \cdot SRF}$$

Índice de alteración J_a		Coefficiente reductor por la presencia de agua J_w	Presión de agua ($Kg \cdot cm^{-2}$)
Diacladas de paredes sanas	0,75-1	Excavaciones secas o con < 5 l/min localmente	1 < 1
Ligera alteración	2,0	Afluencia media con lavado de algunas diacladas	0,66 1-2,5
Alteraciones arcillosas	4,0	Afluencia importante por diacladas limpias	0,5 2,5-10
Con detritus arenosos	4,0	Id. con deslavado de diacladas	0,33 2,5-10
Con detritus arcillosos preconsolidados	6,0	Afluencia excepcional inicial, decreciente con el tiempo.	0,2-0,1 > 10
Id. poco consolidados	8,0	Id. mantenida	0,1-0,05 > 10
Id. expansivos	8-12		
Milonitos de roca y arcilla	6-12		
Milonitos de arcilla limosa	5		
Milonitos arcillosos-grosos	10-20		

Parámetro SRF

— Zonas débiles:	
Multitud de zonas débiles o milonitos	10,0
Zonas débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura ≤ 50 m)	5,0
Id. con cobertura > 50 m	2,5
Abundantes zonas débiles en roca competente	7,5
Zonas débiles aisladas en roca competente (c. ≤ 50 m)	5,0
Id. con c. > 50 m	2,5
Terreno en bloques muy fracturado	5,0
— Roca competente:	
Pequeña cobertura	2,5
Cobertura media	1,0
Gran cobertura	0,5-2,0
— Terreno fluyente:	
Con bajas presiones	5-10
Con altas presiones	10-20
— Terreno expansivo:	
Con presión de hinchamiento moderada	5-10
Con presión de hinchamiento alta	10-15

Tabla 2 Clasificación de Barton.

Es interesante observar que en esta clasificación, cada uno de los parámetros que concurren a definir Q, toman un significado práctico-teórico de notable interés:

- **Tamaño del bloque:** (RQD/Jn) tiene un rango de 0 a 400 y representa un índice proporcional a la estructura del macizo rocoso y precisamente al volumen de cada bloque de roca intacta, aislada por las discontinuidades.
- **Resistencia al corte:** (Jr/Ja), representa la rugosidad y el grado de alteración de las discontinuidades y de los eventuales materiales de relleno, el valor numérico se correlaciona muy bien con $\tan \phi$ (ϕ = ángulo de fricción, ver tabla 4).
- **Esfuerzos efectivos:** (Jw/SRF) es un factor complejo de evaluación, empírico. Este toma en cuenta la presión del agua en las discontinuidades con Jw, y el efecto negativo que el agua misma ejerce sobre la resistencia de la roca; el factor SRF es en cambio una cuantificación empírica de la resistencia a las sollicitaciones de la roca (en la practica es una especie de evaluación del intervalo de comportamiento elástico del macizo rocoso).

La clasificación del macizo se hace finalmente relacionando el valor de Q con el Diámetro equivalente, obteniéndose un total de 33 posibles comportamientos del macizo rocoso, como se puede ver en figura 2.

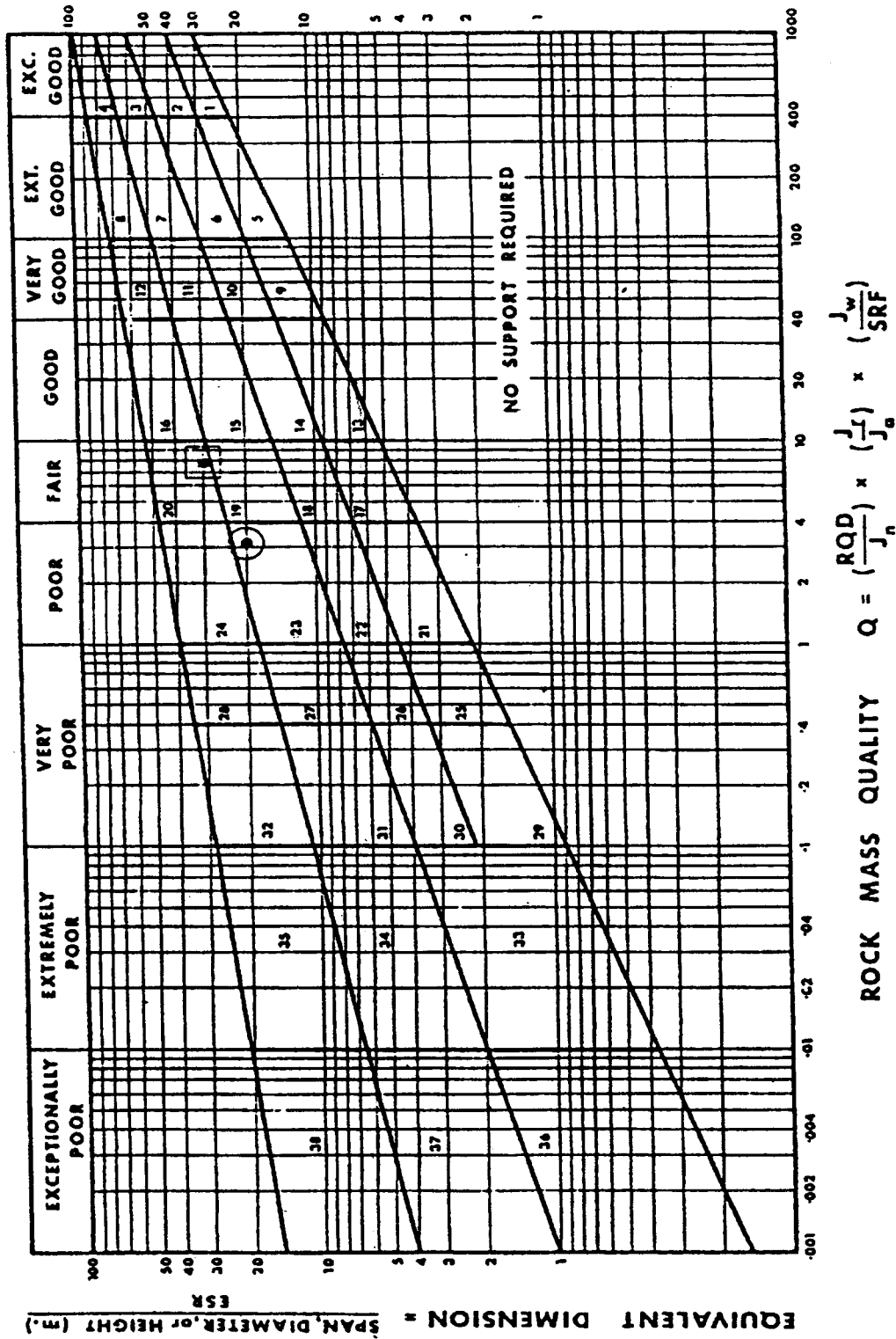


Figura 2 Clasificación de Barton.

5.2.3 Clasificación de Hoek-Brown

El criterio de falla (original) de Hoek para roca intacta viene definido por la siguiente fórmula:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} (m_i * \sigma_3' / \sigma_{ci} + 1)^{0.5}$$

donde m_i es una constante de Hoek para roca intacta, fue determinada mediante análisis estadísticos de una serie de ensayos triaxial sobre núcleos de roca cuidadosamente preparados, cuyos resultados se presentan en la tabla 3.

El criterio generalizado de falla de Hoek para masas rocosas, diaclasadas, viene dado por la siguiente expresión:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} (m_b * \sigma_3' / \sigma_{ci} + S)^a$$

Donde:

σ_1' y σ_3' , son los esfuerzos efectivos máximo y mínimo en el momento de falla.

σ_{ci} resistencia a la compresión sin confinar de la roca intacta.

m_b , S y a , son constantes, que dependen de las condiciones de la masa rocosa, para cuya determinación Hoek desarrolló el GSI o “Índice de Resistencia Geológica”.

Tabla 3 Valores de Mi.

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates •	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias •		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
Organic					Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6	Gneiss 28 ± 5	
	Foliated**			Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3	Norite 20 ± 5	Dolente (16 ± 5)	
	Hypabyssal			Porphyries (20 ± 5)	Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

Índice de Resistencia Geológica (Geological Strength Index) (GSI):

La resistencia de la masa rocosa fracturada, depende de las propiedades de los trozos de roca intacta y de la libertad que tengan estos de deslizarse y rotar bajo diferentes condiciones de esfuerzo. Esta libertad está controlada por la forma geométrica de los trozos de roca intacta y por las condiciones de las superficies que los separan. Trozos angulares de roca con superficies de discontinuidad, limpias y rugosas, imprimen a la masa rocosa una mayor resistencia que aquella que contenga partículas redondeadas con material alterado y meteorizado.

El GSI introducido por Hoek en 1.980, provee un sistema para estimar la magnitud de la resistencia de la masa rocosa para diferentes condiciones geológicas. El sistema se basa en observaciones de campo o de núcleos recuperados en perforaciones y se presenta en forma gráfica en la tabla 4.

Una vez estimado el GSI, los parámetros para la caracterización geomecánica de la masa rocosa, pueden ser calculados mediante las siguientes expresiones:

$$m_b = m_i * e^{((GSI - 100)/28)}$$

Para $GSI > 25$ (masas rocosas de calidad regular a buena), es aplicable el criterio original de Hoek con:

$$S = e^{((GSI - 100)/9)} \quad y \quad a = 0.5$$

Para $GSI < 25$ (masas rocosas de calidad muy pobre), es aplicable el criterio modificado de Hoek con:

$$S = 0 \quad y \quad a = 0.65 - (GSI / 200)$$






La escogencia de $GSI = 25$ como límite entre el criterio original y el modificado, es simplemente arbitrario. Podría argumentarse que el valor de $GSI = 30$, no introduciría una discontinuidad en el valor de "a", pero gran cantidad de ensayos triaxiales demostraron que el valor exacto a utilizar como límite tiene poca significación práctica.

Para masas rocosas de mejor calidad ($GSI > 25$), el valor de GSI puede ser estimado directamente de la versión del "Rock Mass Rating" (RMR) de Bieniawski 1.976, considerando Condiciones de Agua Subterránea *secas* (valoración = 10) y el Ajuste por Orientación de Discontinuidades *muy favorable* (valoración = 0). Para masas rocosas de muy pobre calidad, el valor de RMR es muy difícil de estimar, por lo que una ponderación de valores no muy amplios, proporcionaban bases reales para estimar la resistencia de la masa rocosa. Consecuentemente, la clasificación de Bieniawski no debería ser utilizada para estimar valores de GSI para masas rocosas de pobre calidad.

Si se usa la versión del RMR de 1.989, el $GSI = RMR_{89} - 5$, donde la puntuación por condiciones de aguas subterráneas es igual a 15 y el ajuste por orientación de discontinuidades es cero.

Uno de los problemas prácticos comunes, es evaluar el GSI en masas rocosas afectadas por voladuras. En superficies voladas recientemente, pudieran estimarse valores de GSI hasta 10 puntos por debajo del valor de una masa no perturbada. Esto implica que al utilizar la tabla deberá considerarse el valor correspondiente a una línea por encima de la seleccionada de acuerdo a la apreciación de campo. Si además, la superficie estuvo expuesta por varios años, es necesario considerar el recuadro de la tabla ubicado a la izquierda del seleccionado de acuerdo a las observaciones de campo.

Table 8: Most common GSI range for typical granite *

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
<p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		<p>VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces</p> <p>GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces</p> <p>FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces</p> <p>POOR Slacksided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments</p> <p>VERY POOR Slacksided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p>				
		DECREASING SURFACE QUALITY				
STRUCTURE		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES				
<p>INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p>		90				N/A
 <p>BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p>		80	70	60		
 <p>VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p>				50		
 <p>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p>					40	
 <p>DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p>						30
 <p>LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>						20
		N/A	N/A			10

***WARNING:**

The shaded areas are indicative and may not be appropriate for site specific design purposes

Mean values are not suggested for indicative characterisation; the use of ranges is recommended

Only fresh rock masses are shown. Weathered granite may be irregularly illustrated on the GSI chart, since it can be assigned greatly varying GSI values or even behave as an engineering soil.

Tabla 4. Clasificación de Hoek.

Recientemente en 2002, el autor hizo y publicó una modificación del criterio, para tomar en cuenta el efecto de las voladuras sobre los macizos rocosos y también el efecto del desconfinamiento debido a las excavaciones, quedando de esta manera el criterio:

Para la roca intacta:

$$s=1 \text{ y } a=0,5 \quad m = m_i$$

m_iconstante de Hoek para la roca intacta, se determina en laboratorio por medio de ensayos triaxiales

Para el macizo rocoso:

$$m_b = m_i e^{(GSI - 100) / (28-14D)} \quad s = e^{(GSI - 100) / (9-3D)}$$

$$a = 0,5 + 0,1667 (e^{-GSI / 15} - e^{-20 / 3}) \quad \text{Hoek \& Brown (2002)}$$

Estas expresiones introducen un nuevo factor D, que toma en cuenta el grado de perturbación de la masa rocosa, debido a la acción de las voladuras y la relajación de esfuerzos. El factor varia entre 0 y 1, tomando los valores mayores cuando la roca esta muy perturbada.

Las siguientes expresiones, permiten obtener los parámetros de Coulomb a partir de las constantes m_b , S y a de Hoek y del GSI. Sustituyendo estos valores en la expresión de Mohr-Coulomb, podemos determinar la resistencia al corte del macizo rocoso y su correspondiente esfuerzo cortante.

$$\phi_m = \text{sen}^{-1} \left(\frac{6am_b \cdot (S+m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a)+6am_b(s+mb\sigma_{3n})^{a-1}} \right)$$

$$C_m = \frac{\sigma_{ci}((1+2a)s+(1+a)mb\sigma_{3n})(S+m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)RAIZ(1+(6amb(S+mb\sigma_{3n})^{a-1}) / (1+a)(2+a))} \quad \text{Hoek-Brown (2002)}$$

5.3 ANALISIS DE ESTABILIDAD.

5.3.1 Estabilidad del techo. Método del Bloque Clave.

El concepto de Bloque Clave de Goodman y Shi, 1985, constituye una de las contribuciones más importantes para analizar la estabilidad de un macizo rocoso. El método aplicado en macizos con discontinuidades persistentes y planares, se basa en el hecho de que en una masa de roca formada por n discontinuidades y m superficies libres, teóricamente existen $2^{(n+m)}$ tipos de bloque, generados a partir de la intersección de las discontinuidades y las superficies libres de la excavación..

De estos bloques, sólo una pequeña parte de ellos existen como bloques finitos y un número aún menor, presenta la posibilidad real de moverse hacia el espacio vacío originado por la excavación. Estos últimos se denominan Bloques Claves y al moverse uno de ellos, otros bloques quedaran en libertad de moverse, convirtiéndose en nuevos bloques claves.

En las figuras 3 y 4, se identifican los bloques claves con el número 1, el movimiento de éstos y su posterior caída permitirá el desplazamiento de los bloques identificados con el número 2, los cuales a su vez permiten el desplazamiento de los bloques 3 y así sucesivamente, el 4 y 5.

Como puede verse, si en una excavación se identifican previamente los bloques claves existentes, se podrán diseñar las medidas de soporte necesarias, y más aún, se podrá cambiar la orientación y/o la pendiente de las superficies libres excavadas, con el fin de disminuir la generación de bloques claves, obteniéndose un mayor margen de seguridad en la excavación y una notable disminución de los costos en el sostenimiento.

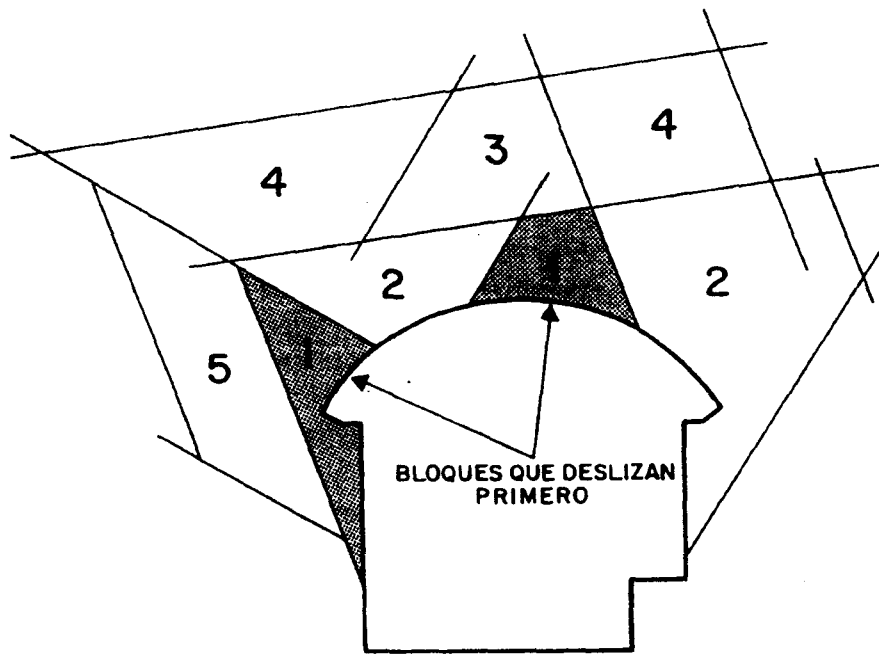


Figura 3 Bloques clave en techo

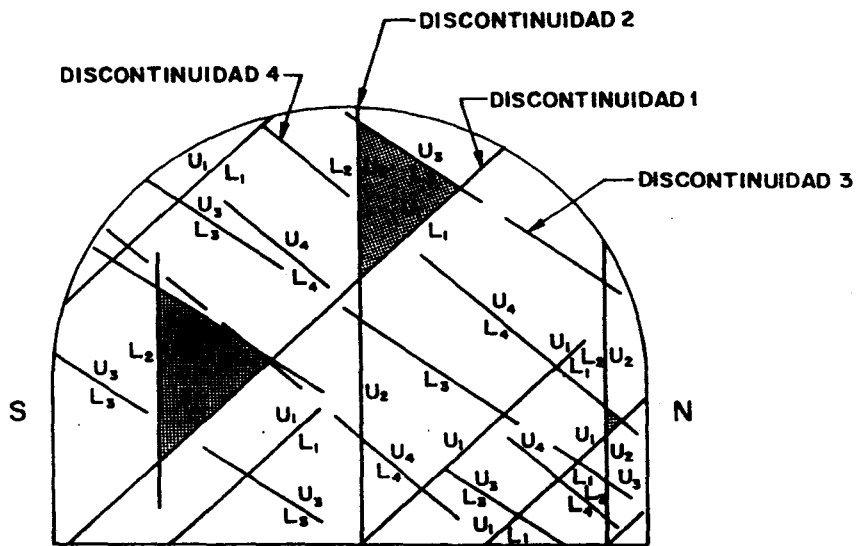


Figura 4 Bloques clave en el frente de excavación

Podemos diferenciar tres condiciones de estabilidad en el techo de una excavación subterránea.

Cuña de roca aislada en el techo de una cámara, en roca fisurada: Falla por gravedad.

Para que un bloque de roca pueda desprenderse del techo, se necesita que quede separado del macizo rocoso circundante cuando menos por tres planos estructurales que se intercepten.

En la proyección estereográfica, la línea que pasa por el vértice de la cuña se representa por el punto central de la red y las condiciones que se estipulan para la caída libre quedarán cubiertas si los círculos mayores que representan los planos de las discontinuidades forman un dibujo cerrado que rodea el centro de la red, la línea que atraviesa el vértice de la cuña tiene que caer dentro de su base para que se produzca la falla por caída libre. Ver figura 5

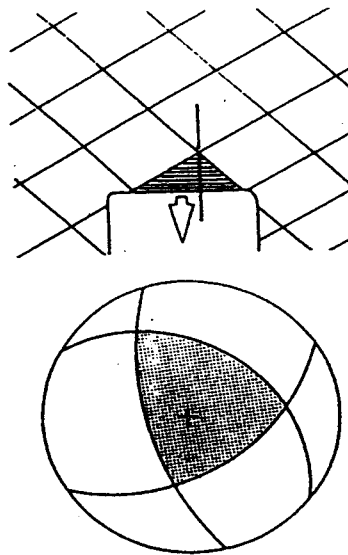


Figura 5 Bloque inestable por gravedad

Esta evaluación cinemática sencilla es muy útil para prever las caídas potenciales del techo durante los estudios preliminares, mientras que la proyección estereográfica también se

puede emplear para una evaluación mucho más detallada de la forma y del tamaño de cuñas inestables.

Vértice de cuña fuera de la base del bloque: Falla por deslizamiento a lo largo de un plano.

Cuando tres planos se interceptan para formar una cuña en el techo de una excavación subterránea, pero la línea que pasa por el vértice de la misma no cae dentro de la base de la cuña, la falla sólo puede ocurrir por deslizamiento sobre uno de los planos de discontinuidad o sobre una de las líneas de intersección entre discontinuidades. Esta condición se evidencia claramente cuando el bloque formado por las intersecciones de los tres círculos mayores, cae a un lado del centro de la red como se ilustra en la figura 6:

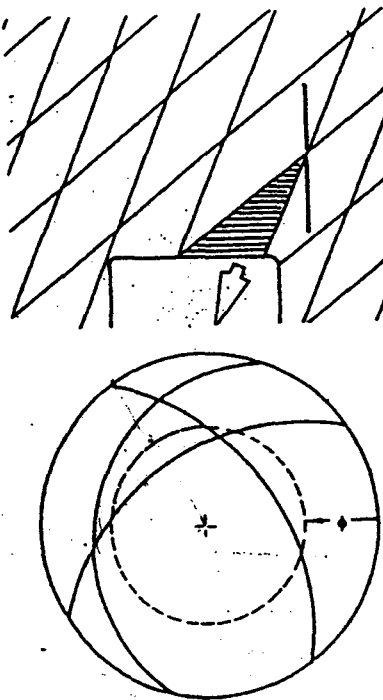


Figura 6 Bloque inestable por deslizamiento

Una condición adicional que debe ser tomada en cuenta para que la cuña pueda deslizarse, es que el plano o línea de intersección sobre la cual se deslice, tenga una inclinación mayor que la del ángulo de fricción ϕ . Esta condición se cumplirá si cuando al menos una parte de la figura de intersección cae dentro de el círculo que se logra al descontar de la circunferencia de la red la cantidad de grados que corresponden al ángulo de fricción.

Bloque auto estable.

Finalmente, cuando el bloque de intersección cae completamente fuera del círculo de fricción, el peso de la cuña no es suficiente para vencer la resistencia de la fricción en el plano o los planos sobre los cuales podría deslizarse, en estas condiciones la cuña se resistirá a deslizar y será auto estable. Ver figura 7

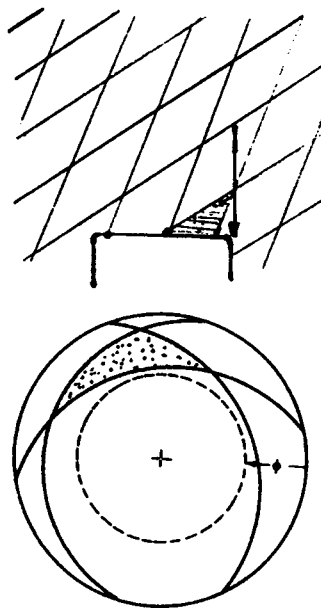


Figura 7 Bloque estable

Tiempo de sostenimiento..

El tiempo de autosostenimiento se estableció según la calidad del macizo rocoso obtenido por medio de la clasificación de Bieniawski y Barton, como se aprecia en el siguiente gráfico el tiempo de autosostenimiento para un macizo de clase III con una longitud libre de tres (3) metros, se estima en 100 horas. Figura 8

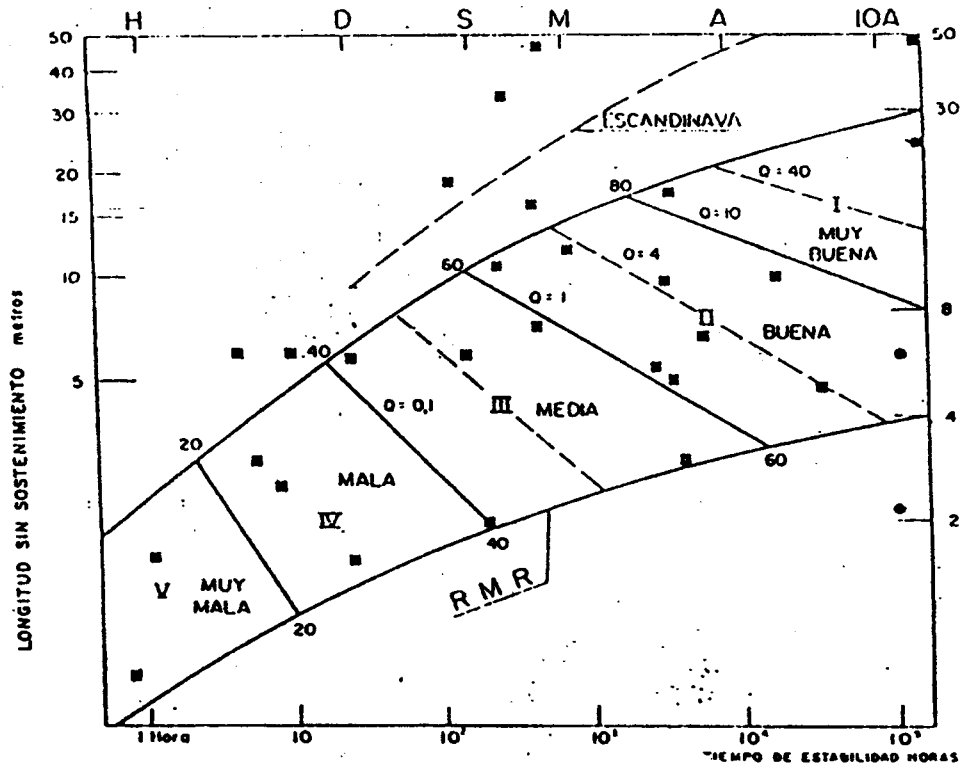


Figura 8 Tiempo de sostenimiento

5.3.2 Estabilidad de las caras de los pilares.

Las proyecciones hemisféricas se usan como técnica de evaluación de estabilidad en macizos rocosos, porque permiten visualizar los problemas gravitacionales en forma real, tal como ocurren en realidad. La ventaja en el uso de esta técnica es que puede representarse en un plano los complicados mecanismos de relación espacial entre los distintos planos involucrados, permitiendo además introducir la resistencia al corte en su componente friccional y hasta la cohesiva. La metodología consiste en representar sobre el hemisferio inferior de una esfera la proyección estereográfica de los planos de las discontinuidades obteniéndose un modelo geotécnico gráfico donde además se proyectan otros planos Ej: caras de pilares, caras de taludes. etc.

El análisis de estabilidad de pilares se basa en la búsqueda de planos de falla o discontinuidades que puedan provocar el deslizamiento o caída de bloques que debiliten el pilar. Los mecanismos principales de falla son: fallas plana y fallas de cuñas.

Fallas Planares:

Para que se produzca una falla planar en un pilar se deben cumplir las siguientes condiciones: la cara del pilar y la cara de la discontinuidad deben ser paralelas o subparalelas (con un margen de 20°), el buzamiento de la discontinuidad debe ser menor que la pendiente de la cara del pilar y a su vez el ángulo de fricción en la discontinuidad debe ser menor que el ángulo de buzamiento de esta. Si estas condiciones se cumplen se considera que el pilar es inestable cinemáticamente y mecánicamente y puede fallar a lo largo de esa discontinuidad. Véase Figura 9.

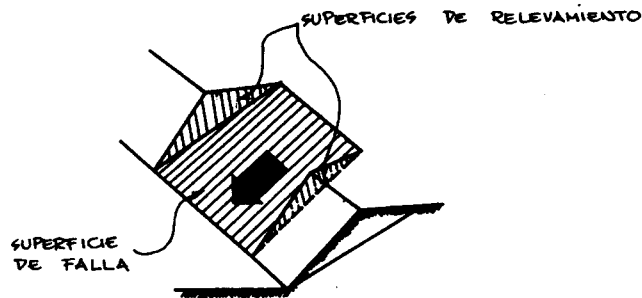
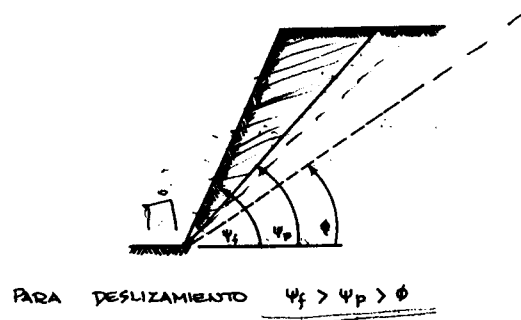
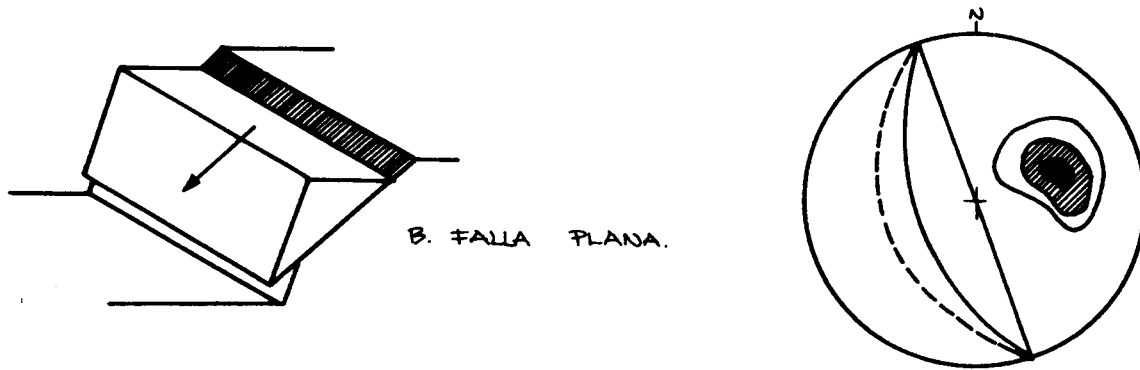


Figura 9 Falla Plana

Fallas Cuneiformes o Falla de Cuña:

Esta falla se produce cuando dos planos de debilidad se interceptan, definiendo un bloque de roca cuyo movimiento está controlado por la dirección de la recta de intercepción entre los dos planos. La evaluación y análisis de fallas cuneiformes será realizada basándonos en las proyecciones hemisféricas. Para que se produzca una falla de cuña en un pilar deben

cumplirse las siguientes condiciones: la recta de intercepción de las dos discontinuidades debe tener un ángulo menor que el ángulo de la pared del pilar, (90°) en este caso, lo que configura una situación de inestabilidad cinemática, si adicionalmente el ángulo de fricción en éstas, es menor que el ángulo de inclinación de la recta de intercepción de las discontinuidades, se concluye que la cara de pilar estudiada presenta posibilidad cinemática y mecánica de falla, tipo cuña. Figura 10.

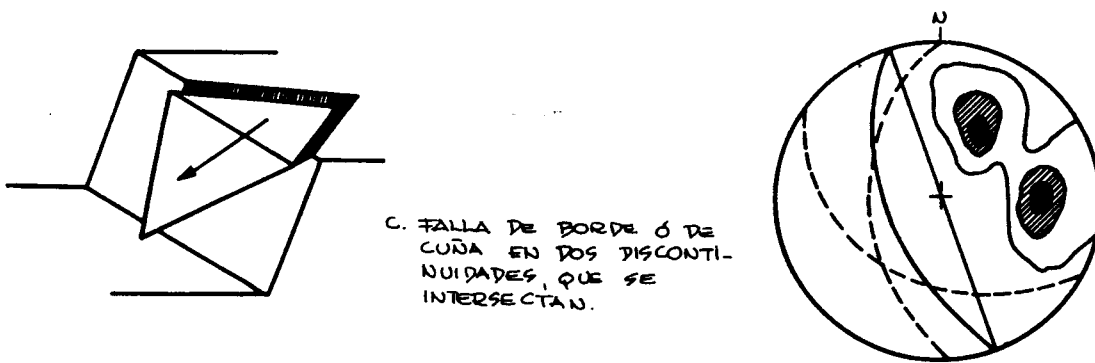


Figura 10 Falla de Cuña

6. UN CASO DE APLICACIÓN:

6.1 Nivel 6, Mina Colombia, El Callao, Estado Bolívar.

La mina Colombia es una Mina subterránea que se encuentra ubicada en el Estado Bolívar al sur del país, específicamente en la población de El Callao.

La mina se ubica en el Caserío Caratal a unos 3,2 kilómetros al Sur-Este del municipio Autónomo El Callao. Con coordenadas $61^{\circ} 61'$ de Longitud Oeste y $7^{\circ}18'$ de Latitud Norte, a una altura de 188 metros sobre el nivel del mar. Figura 11

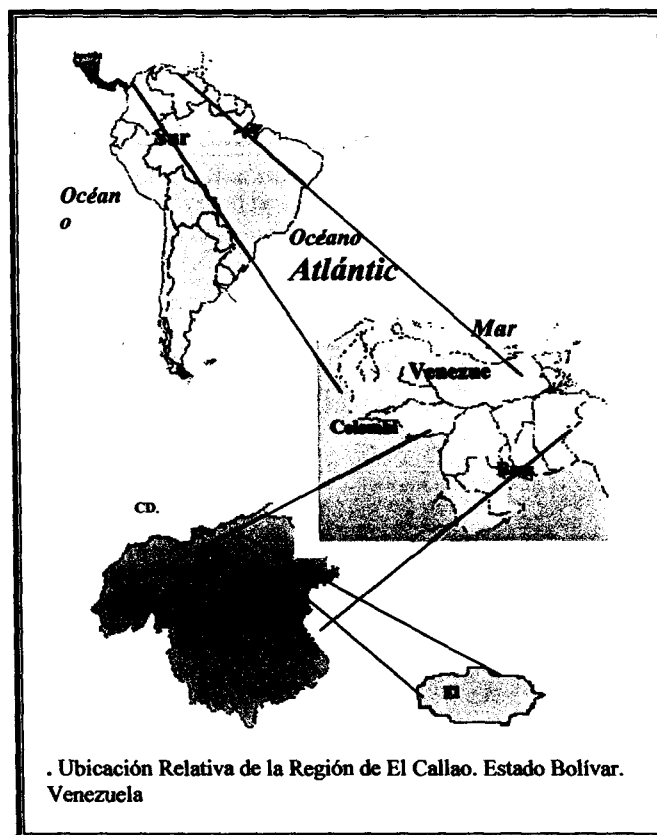


Figura 11 Ubicación relativa

Mina Colombia se ha desarrollado en 7 niveles y una estación de carga, el primer nivel esta a 134 metros de la superficie y separados cada 50 metros de profundidad se encuentran los niveles restantes y se plantea en un futuro el desarrollo de los niveles 8, 9 y 10., ver figura 12. “El Bolsón” es un sistema ramificado de vetillas entrecruzadas formando un deposito de morfología isométrica tipo “Stockwork”. Esta zona tiene unas dimensiones de 90 metros de espesor por aproximadamente 80 metros de longitud y se encuentra localizada entre los niveles 4 y 7 de la Mina Colombia, no obstante, sondeos geológicos realizados en el marco de la evaluación de reservas, indican que este cuerpo se extiende por debajo del nivel 7. Las reservas en esta área mineralizada se estiman en 402987 t., con un tenor promedio de 30,05 gr/ton.

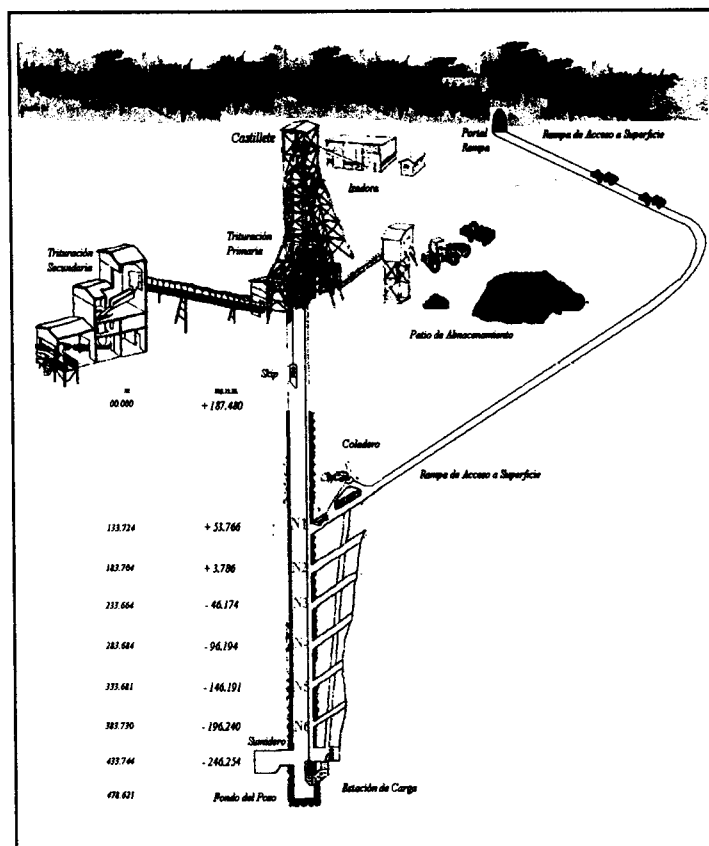


Figura 12 Esquema de la Mina Colombia

Trabajo de campo.

Se realizó un levantamiento geológico, detallado, con toma de muestras de mano, durante el levantamiento se observaron y describieron un total de diez (10) estaciones geológicas (ver anexo croquis de ubicación). Las rocas aflorantes en el área se clasificaron tomando en cuenta la textura y la mineralogía. La condición física de la roca se observó por el color fresco, color de meteorización, dureza y grado de fracturamiento. A las estructuras geológicas detectadas se les estableció su tipo y características principales tales como: frecuencia, relleno, longitud, rugosidad, separación entre planos, persistencia y rastros de flujo. La orientación espacial de las discontinuidades se determinó con mediciones en sitio de rumbo y buzamiento con brújula del tipo Brunton.

La exploración del macizo se hizo por medio de un programa de tres (3) perforaciones verticales de diez (10) metros de longitud c/u para un total de treinta (30) metros lineales de perforación.

Las perforaciones se hicieron a máquina por rotación con toma de núcleos con recorridos de 1,00 y 1,50 metros utilizando una broca de diamante de diámetro BX.

Las muestras obtenidas fueron llevadas al laboratorio para ser reconocidas, descritas y clasificadas, las más representativas fueron seleccionadas para ser ensayadas. Los ensayos realizados fueron: Determinación de la Resistencia a la Compresión Uniaxial y Determinación indirecta de la resistencia a la tracción (Ensayo Brasilerero).

Toda la información obtenida tanto en campo como en laboratorio se procesó, clasificándose el macizo rocoso usando las metodologías de Barton, Bieniawski y Hoek-Brown. Se analizó la estabilidad cinemática de los pilares y del techo de las cámaras usando las proyecciones estereográficas y el método del bloque clave. Se hizo un diagnóstico

medidos sobre núcleos de las perforaciones P-1, P-2 y P-3.

Perforación P-1	Profundidad	RQD	Calidad de la roca
R-1	1,00	0	Muy mala
R-2	2,00	53,0	Regular
R-3	3,00	91,5	Excelente
R-4	4,50	91,0	Excelente
R-5	6,00	96,33	Excelente
R-6	7,50	74,33	Regular
R-7	8,75	56,8	Regular
R-8	10,00	71,76	Regular

Perforación P-2	Profundidad	RQD	Calidad de la roca
R-1	1,00	27	Mala
R-2	2,00	23,5	Muy mala
R-3	3,00	86,5	Buena
R-4	4,00	82,0	Buena
R-5	5,00	42,0	Mala
R-6	6,00	15,0	Muy mala
R-7	7,50	53,2	Regular
R-8	8,50	50,5	Regular
R-9	9,50	76,5	Buena
R-10	10,00	46,0	Mala

Perforación P-3	Profundidad	RQD	Calidad de la roca
R-1	1,50	51,1	Regular
R-2	2,50	99,0	Excelente
R-3	3,50	100	Excelente
R-4	4,50	92,5	Excelente
R-5	5,50	85,0	Buena
R-6	6,50	94,0	Excelente
R-7	7,50	100	Excelente
R-8	8,50	100	Excelente
R-9	9,50	73,0	Regular
R-10	10,00	100	Excelente

Tabla 5

6.2 GEOLOGIA.

6.2.1 Geología Regional

El Escudo de Guayana en Venezuela está compuesto por cinco (5) provincias litotectónicas:

- 1- un terreno Arqueano con metamorfismo en la facies de la anfibolita-facies de la granulita;
- 2- un terreno granítico-cinturón de rocas verdes de edad Proterozoico Temprano;
- 3- un complejo volcánico-plutónico sin metamorfismo, de edad Proterozoico Temprano;
- 4- rocas continentales de edad Proterozoico Temprano;
- 5- granito rapakivi sinorogénico de edad Proterozoico Medio (Sidder y Mendoza, 1995).

Las rocas aflorantes en la zona de El Callao pertenecen, según esta clasificación, al cinturón de rocas verdes del Proterozoico Temprano.

Descripción del Cinturón de Rocas Verdes

El terreno Proterozoico de cinturones verdes y rocas graníticas comprende un área de 360 Km. por 250 Km. El espesor total de estas rocas es superior a los once (11) Km. Este terreno comprende al Súper grupo Pastora y al Grupo Botanamo. El Súper grupo Pastora consiste del Grupo Cuchivero, el cual está conformado por las formaciones El Callao y Cicapra, y la Formación Yuruari. Este súper grupo se encuentra en forma discordante por debajo del Grupo Botanamo, el cual a su vez consiste de las formaciones Caballape y Los Caribes (Sidder y Mendoza, 1995).

Las rocas del cinturón de rocas verdes del Escudo de Guayana fueron extrusionadas en un ambiente submarino. La parte media de la secuencia posee una alta proporción de andesitas porfíricas, dacitas y riolitas submarinas y posiblemente exista la presencia de flujos de lava subaéreos e interflujos de sedimentos silíceos y tobas volcánicas. Las grauwas turbidíticas, pelitas, tobas, rocas sedimentarias químicas dominan la parte superior de la

secuencia del cinturón de rocas verdes. La transición rocas volcánicas - rocas sedimentarias es localmente concordante. (Menéndez, 1972; Bosma *et al.*, 1983; Gibbs, *et al.*, 1984; Gibbs y Wirth, 1986; Day *et al.*, 1989).

Porcentualmente, el cinturón de rocas verdes está compuesto de la siguiente manera:

>75% de rocas ígneas basálticas y gabroides

>17% de andesitas basálticas y flujos andesíticos

>8% de flujos riolíticos y rocas piroclásticas (Sidder y Mendoza, 1995).

Las rocas ultramáficas están presentes en 1-2% dentro de las rocas halladas. Se identificaron komatitas en dos lugares aislados del Escudo (Tosiani y Sifontes, 1989). Las rocas máficas y ultramáficas en el Escudo de Guayana forman cinturones de pequeños cuerpos de serpentinitas y de rocas calcáreas, anfibólicas, talcosas, serpentínicas. Muchos de los complejos gabroides fueron aparentemente intrusionados en la parte superior de la Formación El Callao, estando paralelos a subparalelos a los flujos basálticos de esta unidad. El máximo espesor de estos cuerpos gabroides es de aproximadamente 500 m (Menéndez, 1972).

Posiblemente algunos gabros representan enfriamientos lentos de lava, en la parte interior del mismo flujo de lava (Sidder y Mendoza, 1995). Específicamente, dentro del Súper grupo Pastora, las rocas que afloran en las cercanías del área de trabajo pertenecen a la Formación El Callao. En rasgos generales, esta unidad posee un espesor aproximado de 3000 m y consiste casi exclusivamente de flujos de lava, de basaltos potásicos y flujos andesíticos metamorfizados en una facies de bajo grado. Se presentan comúnmente estructuras almohadilladas, y en el tope pueden hallarse flujos de breccias y amígdalas (Menéndez, 1968, 1972, 1974; Benaím, 1972). Pueden hallarse pocas cantidades de cuarcitas

ferruginosas y chert manganífero y esquistos con talco en forma de lentes. Las rocas de la Formación El Callao presentan metamorfismo de la facies de los esquistos verdes, hallándose localmente rocas dentro de la subfacies almandino-anfibolita de la facies de la anfibolita.

Las rocas del distrito minero Lo Increible son del Proterozoico Temprano. Son rocas volcánicas, plutónicas y sedimentarias, generalmente con un bajo grado de metamorfismo (parte media a parte superior de la facies de los esquistos verdes, aunque pueden hallarse rocas con un metamorfismo de grado medio, tal como la parte baja de la facies de la anfibolita, Day *et al.*, 1995).

Los estudios realizados por Menéndez (1968, 1972, 1974) establecen el marco estratigráfico del área. Las rocas más antiguas pertenecen al Súper grupo Pastora, del Proterozoico Temprano. El mismo Menéndez reconoce que la parte más antigua del Súper grupo Pastora se compone del Grupo Carichapo, el cual consiste de las lavas almohadilladas de la Formación El Callao y de los esquistos anfibólicos-biotíticos de la Formación Cicapra; sin embargo las rocas de la Formación Cicapra no están presentes en el área de Lo Increible. Las rocas sedimentarias de la Formación Yuruarí, del Proterozoico temprano y que es la unidad más joven del Súper grupo, estructuralmente suprayace al Grupo Carichapo. Day *et al.* (1995) confirman que el contacto entre ambas unidades es tectónico (de falla).

Las rocas sedimentarias volcanogénicas del Proterozoico Temprano de la Formación Caballape suprayacen a las rocas del Súper grupo Pastora (Menéndez, 1972). Las rocas del Súper grupo Pastora y de la Formación Caballape fueron intrusionadas, regionalmente, por mantos diabásicos y/o diques de composición gabroide (Day *et al.*, 1995).

La Formación El Callao

Esta es la unidad basal del Súper grupo Pastora, se caracteriza por flujos de lavas tholeíticas, estructuras de lavas almohadilladas y flujos de breccias volcánicas interestratificadas. La forma y la orientación de las estructuras almohadilladas indican que la unidad se hace más joven estratigráficamente al sureste del área de trabajo. La unidad meteoriza a un coluvión de color marrón pálido. Aunque regionalmente la unidad posee un bajo grado metamórfico, en algunas zonas de la Formación El Callao existen zonas recristalizadas a esquistos hornbléndicos-biotíticos de un grado metamórfico intermedio (Day *et al.*, 1995).

Dentro de la Formación El Callao yacen dos mantos de breccias basálticas. Las rocas de la Formación El Callao son: basaltos tholeíticos con elementos metálicos, normativos en cuarzo y bajos en potasio. Las características geoquímicas de estos basaltos indican que son rocas con tendencia hacia rocas de cordilleras centrooceánicas, arcos de islas, bajos en potasio y basaltos típicos de cuencas de detrás de arco.

Las tholeítas de la Formación El Callao están empobrecidas relativamente en elementos litófilos tales como K, Sr y Ce pero están enriquecidos en elementos como P, Zr, Ti, Y, e Yb, por lo que pueden compararse con las tholeítas de arcos de islas bajas en potasio. La concentración de rubidio en las tholeítas de El Callao es similar a la concentración de este elemento en las rocas tholeíticas de arcos de islas.

6.2.2 Geología local.

Descripción local

En la Mina Colombia, CVG-Minerven, afloran rocas pertenecientes a la Formación El Callao. Se observaron rocas que macroscópicamente son andesitas porfídicas, en algunos

casos se observaron rocas de granulometría tan gruesa que pudiese tratarse de dioritas. En el nivel 6, fueron realizadas tres perforaciones de diez (10) metros cada una, para un total de treinta (30) metros lineales de perforación vertical descendente, así mismo se recolectaron muestras de mano. Mesoscópicamente las muestras son de colores grises intensos, con restos de costras de oxidación, de granulometría fina con pórfidos de feldespatos y de pirita, presentan zonas que reaccionan ante la presencia del ácido clorhídrico, por lo que se deduce la presencia de carbonatos en la muestra. Esto último puede explicarse por medio de cambios mineralógicos (sustitución deutérica del ión carbonato en las plagioclasas). Estas muestras fueron cortadas para realizar secciones finas y mejorar la descripción de mano.

Muestra de mano: Es una muestra de colores grises intensos, con restos de costras de oxidación, de granulometría fina con pórfidos de feldespatos y de pirita. Presenta zonas de un color verde poco intenso, posiblemente evidencia la presencia de epidoto; algunas zonas efervescen ante la presencia del ácido clorhídrico, por lo que se interpreta la presencia de carbonatos en la muestra. Esto último puede explicarse por medio de cambios mineralógicos (sustitución deutérica del ión carbonato en las plagioclasas).

Texturas presentes: porfídica (plagioclasas, pirita), zonación en plagioclasas

Minerales presentes

- Plagioclasas (andesina) 60%
- Calcita (alteración de plagioclasas) 15%
- Pirita 10%
- Epidoto (alteración de plagioclasa) Sericita (alteración de plagioclasas) 5%
- Feldespatos potásicos (microclino) 5%

- Muscovita <1%
- Apatito <1%

El índice de color (I.C.) para la muestra corresponde a 10%.

Con estos datos, según la clasificación de Streckeisen (1967) corresponde a una diorita porfídica, ya que la cristalinidad es holocristalina; pueden observarse en prácticamente su totalidad los cristales que componen a la roca. Ver anexo : Petrografía.

6.2.3 Geología estructural.

Marco estructural regional de los depósitos de oro.

La zona de cizalla que separa las formaciones Yuruarí y El Callao es una zona de intensa deformación dúctil de orientación noreste. Aunque prácticamente todas las rocas de la Formación Yuruarí se encuentran dentro de la zona de cizalla, localmente se pueden hallar rocas de la Formación El Callao que han sido recristalizadas como esquistos anfibólicos. La orientación de la zona de cizalla se presume paralela a la foliación presente en el área. Basada en esta orientación de la foliación, se interpreta que la Formación El Callao, que se encuentra al sur de la zona de cizalla, suprayace a la Formación Yuruarí. Partiendo de esta idea, Menéndez (1972) establece que esta zona de cizalla es una zona de corrimiento que coloca en contacto las rocas antiguas de El Callao con las más jóvenes de Yuruarí.

Las rocas dentro de la zona de cizalla se encuentran muy foliadas y localmente deformadas con pliegues S y Z. Los indicadores cinemáticos hallados en la zona (ángulo de intersección entre las superficies S y C, la simetría de los pliegues Z) indican un sentido dextral para la cizalla.

Geología estructural local.

A nivel mesoscópico la estructura geológica mas frecuentemente detectada son las diaclasas, para establecer su orientación espacial, se hicieron mediciones de rumbo y buzamiento con brújula del tipo Brunton. Las mediciones se hicieron en las estaciones definidas al efecto y las cuales se identificaron consecutivamente de la E-1 hasta la E-10, como se muestra en la figura 13.

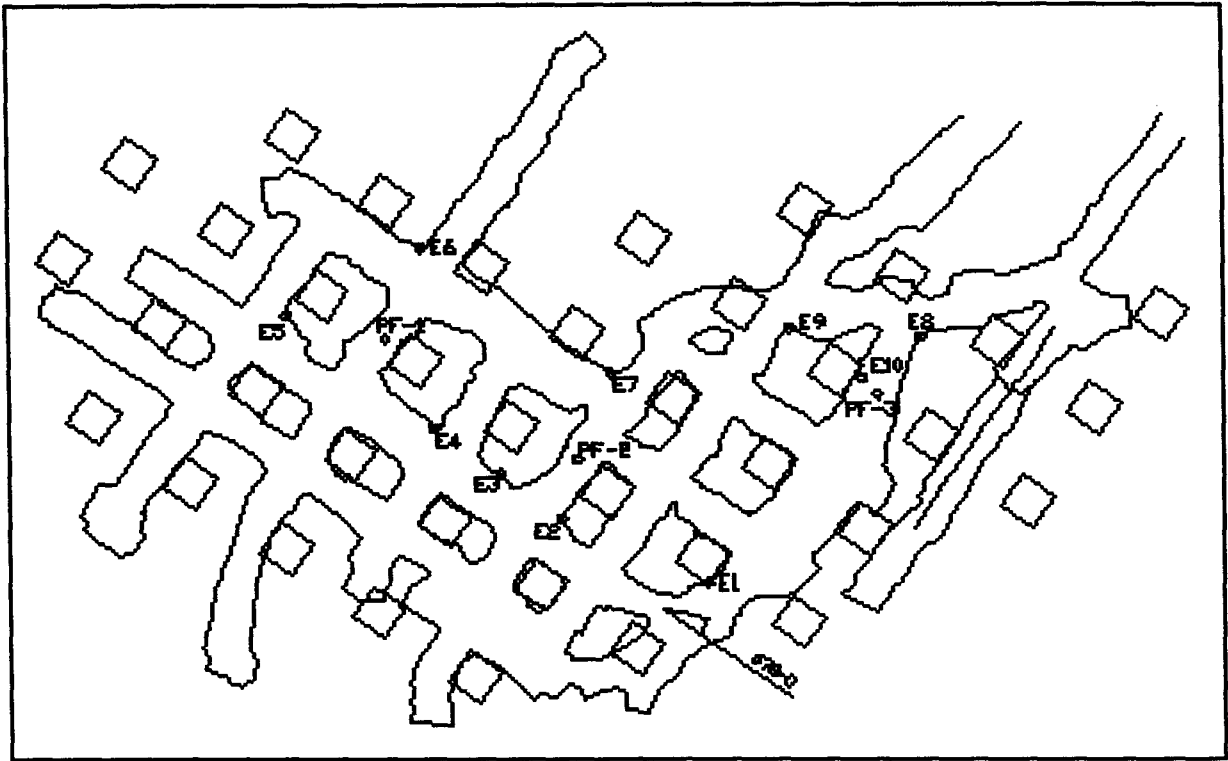


Figura 13. Ubicación de estaciones de medición en el Nivel 6

Se detectaron un total de diez (10) familias de diaclasas con frecuencias variables entre 6:1 y 10:1. En el cuadro Levantamiento Geológico, se muestra un resumen de las características de las discontinuidades. A continuación se muestra una proyección con la distribución de frecuencias de las direcciones de las diaclasas. En la figura 14, se muestra un roseta de distribución de direcciones de los planos medidos.

Perforación	Profundidad (m)	Litología	Resistencia a la comp. Uniaxial kg/cm ²	Densidad Ton/m ³
P-1	1,70	Diorita porfídica	670,71	3,06
P-1	1,8	Diorita porfídica	745,39	3,04
P-1	3,98	Diorita porfídica	721,79	3,01
P-1	4.10	Diorita porfídica	709,72	3,03
P-1	5,28	Diorita porfídica	728,18	3,04
P-2	0,23	Monzodiorita	793,97	2,94
P-2	1,77	Monzodiorita	721,79	2,95
P-2	2,51	Monzodiorita	707,35	2,95
P-3	2,55	Diorita porfídica	875,35	2,98
P-3	2,95	Diorita porfídica	866,15	2,83

Tabla 6 Ensayos de laboratorio

La densidad de los materiales varía entre 2,83 t/m³ en la muestra P-3 2,95 y 3,06 t/m³ en la muestra P-1. 1,70, siendo el promedio de 2.90 t/m³.

6.4 RESULTADOS DE LA CLASIFICACION GEOMECANICA.

6.4.1 Clasificación de Bieniawski. Por perforación.

P1	Penetración (cm)	Recuperación (cm)	RQD (%)	% de recup.	RMR	Calidad	Clase
R-1	100	60	0	60	48	Aceptable	III
R-2	100	100	53	100	58	Aceptable	III
R-3	100	100	91,5	100	65	Buena	II
R-4	150	150	91	100	65	Buena	II
R-5	150	150	96,33	100	65	Buena	II
R-6	150	150	74,33	100	58	Aceptable	III
R-7	125	125	56,8	100	58	Aceptable	III
R-8	125	125	71,76	100	58	Aceptable	III
P2	Penetración (cm)	Recuperación (cm)	RQD (%)	% de recup.	RMR	Calidad	Clase
R-1	100	65	27	65	55	Aceptable	III
R-2	100	100	23,5	100	50	Aceptable	III
R-3	100	100	86,5	100	64	Buena	II
R-4	100	100	82	100	64	Buena	II
R-5	100	100	42	100	55	Aceptable	III
R-6	100	100	15	100	50	Aceptable	III
R-7	150	150	53,2	100	60	Aceptable	III
R-8	100	100	50,5	100	60	Aceptable	III
R-9	100	100	76,5	100	64	Buena	II
R-10	50	50	46	100	55	Aceptable	III
P3	Penetración (cm)	Recuperación (cm)	RQD (%)	% de recup.	RMR	Calidad	Clase
R-1	150	100	51,06	66,66	55	Aceptable	III
R-2	100	100	99	100	62	Buena	II
R-3	100	100	100	100	62	Buena	II
R-4	100	100	92,5	100	62	Buena	II
R-5	100	100	85	100	59	Aceptable	III
R-6	100	100	94	100	62	Buena	II
R-7	100	100	100	100	62	Buena	II
R-8	100	100	100	100	62	Buena	II
R-9	100	100	73	100	55	Aceptable	III
R-10	50	50	100	100	62	Buena	II

Clasificación de Bieniawski por Estación

Estación	RMR	Clase	Calidad
E-1	56	III	Aceptable
E-2	57	III	Aceptable
E-3	54	III	Aceptable
E-4	57	III	Aceptable
E-5	58	III	Aceptable
E-6	62	II	Buena
E-7	56	III	Aceptable
E-8	62	II	buena
E-9	63	II	buena
E-10	63	II	buena

6.4.2 Resultados de la Clasificación de Barton

Clasificación de barton por perforación

P1	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Clasificación
R-1	10	15	3	0,75	1	0,7	3,81	Pobre
R-2	53	15	3	0,75	1	0,7	20,19	Buena
R-3	91,5	15	3	0,75	1	0,7	34,86	Buena
R-4	91	15	3	0,75	1	0,7	34,67	Buena
R-5	96,33	15	3	0,75	1	0,7	36,70	Buena
R-6	74,33	15	3	0,75	1	0,7	28,32	Buena
R-7	56,8	15	3	0,75	1	0,7	21,64	Buena
R-8	71,76	15	3	0,75	1	0,7	27,34	Buena

P2	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Clasificación
R-1	27	15	3	0,75	1	0,7	10,29	Buena
R-2	23,5	15	3	0,75	1	0,7	8,95	Regular
R-3	86,5	15	3	0,75	1	0,7	32,95	Buena
R-4	82	15	3	0,75	1	0,7	31,24	Buena
R-5	42	15	3	0,75	1	0,7	16,00	Buena
R-6	15	15	3	0,75	1	0,7	5,71	Regular
R-7	53,2	15	3	0,75	1	0,7	20,27	Buena
R-8	50,5	15	3	0,75	1	0,7	19,24	Buena
R-9	76,5	15	3	0,75	1	0,7	29,14	Buena
R-10	46	15	3	0,75	1	0,7	17,52	Buena

P3	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Clasificación
R-1	51,06	15	3	0,75	1	0,7	19,45	Buena
R-2	99	15	3	0,75	1	0,7	37,71	Buena
R-3	100	15	3	0,75	1	0,7	38,10	Buena
R-4	92,5	15	3	0,75	1	0,7	35,24	Buena
R-5	85	15	3	0,75	1	0,7	32,38	Buena
R-6	94	15	3	0,75	1	0,7	35,81	Buena
R-7	100	15	3	0,75	1	0,7	38,10	Buena
R-8	100	15	3	0,75	1	0,7	38,10	Buena
R-9	73	15	3	0,75	1	0,7	27,81	Buena
R-10	100	15	3	0,75	1	0,7	38,10	Buena

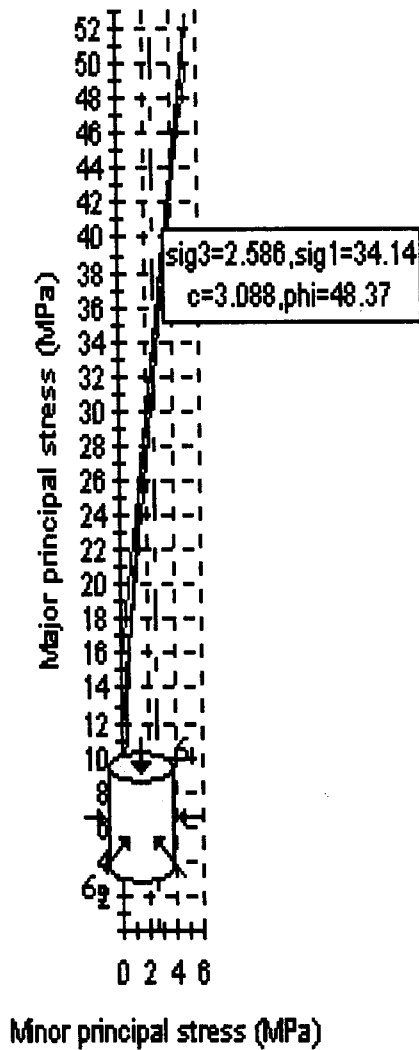
Clasificación de barton por estación

Estación	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Clasificación
E-1	50,56	15	3	0,75	1	0,7	19,26	buena
E-2	50,56	15	3	0,75	1	0,7	19,26	buena
E-3	50,56	15	3	0,75	1	0,7	19,26	buena
E-4	69,77	15	3	0,75	1	0,7	26,58	buena
E-5	69,77	15	3	0,75	1	0,7	26,58	buena
E-6	69,77	15	3	0,75	1	0,7	26,58	buena
E-7	50,56	15	3	0,75	1	0,7	19,26	buena
E-8	87,01	15	3	0,75	1	0,7	33,15	buena
E-9	87,01	15	3	0,75	1	0,7	33,15	buena
E-10	87,01	15	3	0,75	1	0,7	33,15	buena

6.4.3 Resultados de la aplicación del Criterio de Hoek.

El criterio de Hoek fue aplicado por medio de la utilización del software RocLab 1.0 , el cual permite también estimar los valores de los esfuerzos principales así como los parámetros de Coulomb, y otros parámetros geomecánicos como la resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y resistencia global de la masa rocosa.

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 75 MPa
GSI = 55 $m_i = 25$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

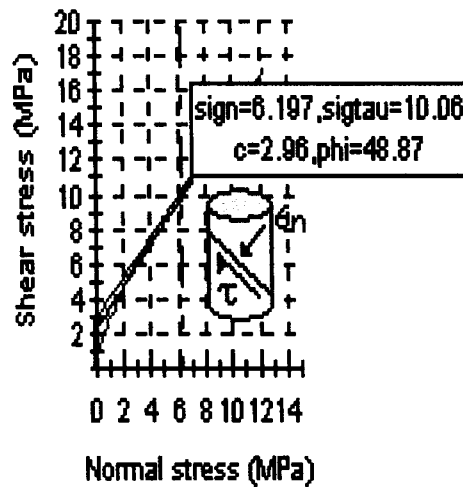
$m_b = 5.011$ $s = 0.0067$ $a = 0.504$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 2.247 MPa friction angle = 50.34 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.101 MPa
uniaxial compressive strength = 6.033 MPa
global strength = 22.552 MPa
modulus of deformation = 11548.63 MPa



6.5 MONITOREO CON CAMARA INTROSCOPICA INFRARROJO.

Con el objeto de auscultar el interior del macizo rocoso se implementó una actividad de monitoreo con cámara introsópica infrarrojo. El equipo usado es de tecnología de última generación y el mismo permite hacer estudios muy variados; entre los que se encuentran: análisis litológicos, análisis texturales, petrográficos, calidades de masas rocosas, análisis estructural, grado de fracturamiento, evaluación de daños producidos por voladuras, también se puede hacer reinterpretación de sondeos realizados con fines de evaluación de yacimientos, etc.

El equipo lo conforma una cámara introsópica de infrarrojo, varillas de extensión de fibra de vidrio graduadas, en centímetros, batería de 12 voltios para trabajar hasta seis horas continuas y cable para 200 m de profundidad, ver figura 17. En general, el procedimiento consiste en introducir la cámara en agujeros perforados previamente, se recorre todo el agujero con la cámara, la que enviará las imágenes captadas en profundidad a un monitor de superficie y las mismas pueden ser grabadas en un video para su posterior análisis, simultáneamente se pueden hacer comentarios narrados y grabarlos también sobre la cinta, a medida que la cámara va recorriendo el barreno en el interior de la masa rocosa. Por otro lado a posteriori se puede hacer una segunda lectura o reinterpretación importando las imágenes a un computador.



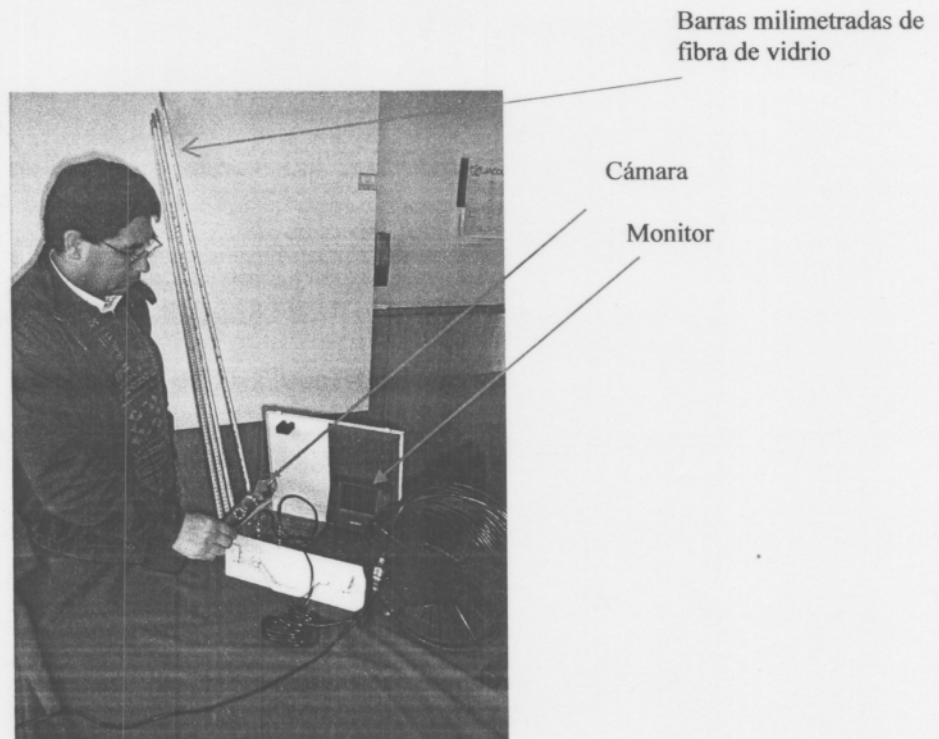


Figura 17. Cámara Introsópica de Infrarrojo.-

6.5.1 Resultados del monitoreo con la cámara introsópica de infrarrojo.

Como resultado del monitoreo de los pilares se puede destacar la ausencia de fracturas nuevas importantes inducidas por la explotación o el desarrollo de las Bateria conforman el sistema de explotación. Sin embargo, la presencia de gran cantidad de vetillas con orientación subparalelas y subverticales al eje de la perforación monitoreada forman un sistema del tipo stockwork, formando bloques de distintos tamaños con caras paralelas o subparalelas al techo de las cámaras, disposición que configura una situación de inestabilidad por la posible caída de bloques tabulares, de tamaño importante, situación que es la más desfavorable desde el punto de vista de la estabilidad del techo. Para el caso de los pilares la situación es más favorable. Ambas situaciones presentes en nivel estudiado se

pueden ser definidas a partir del análisis de estabilidad gráfico mostrado en la figura 2, donde para el

caso del techo prácticamente el factor entrega un valor de 0,3 y en el caso de los pilares un valor 1, esto quiere decir que cuando las discontinuidades son perpendiculares a la superficie de exposición es más estable, mientras que por el contrario cuando las discontinuidades son paralelas a la superficie de exposición la situación es inestable. En una revisión general del monitoreo, es importante señalar que la mayor parte de los pilares presentan microfisuras que pueden representar el comienzo del deterioro del pilar, tal situación se manifiesta en la mayoría de los pilares.

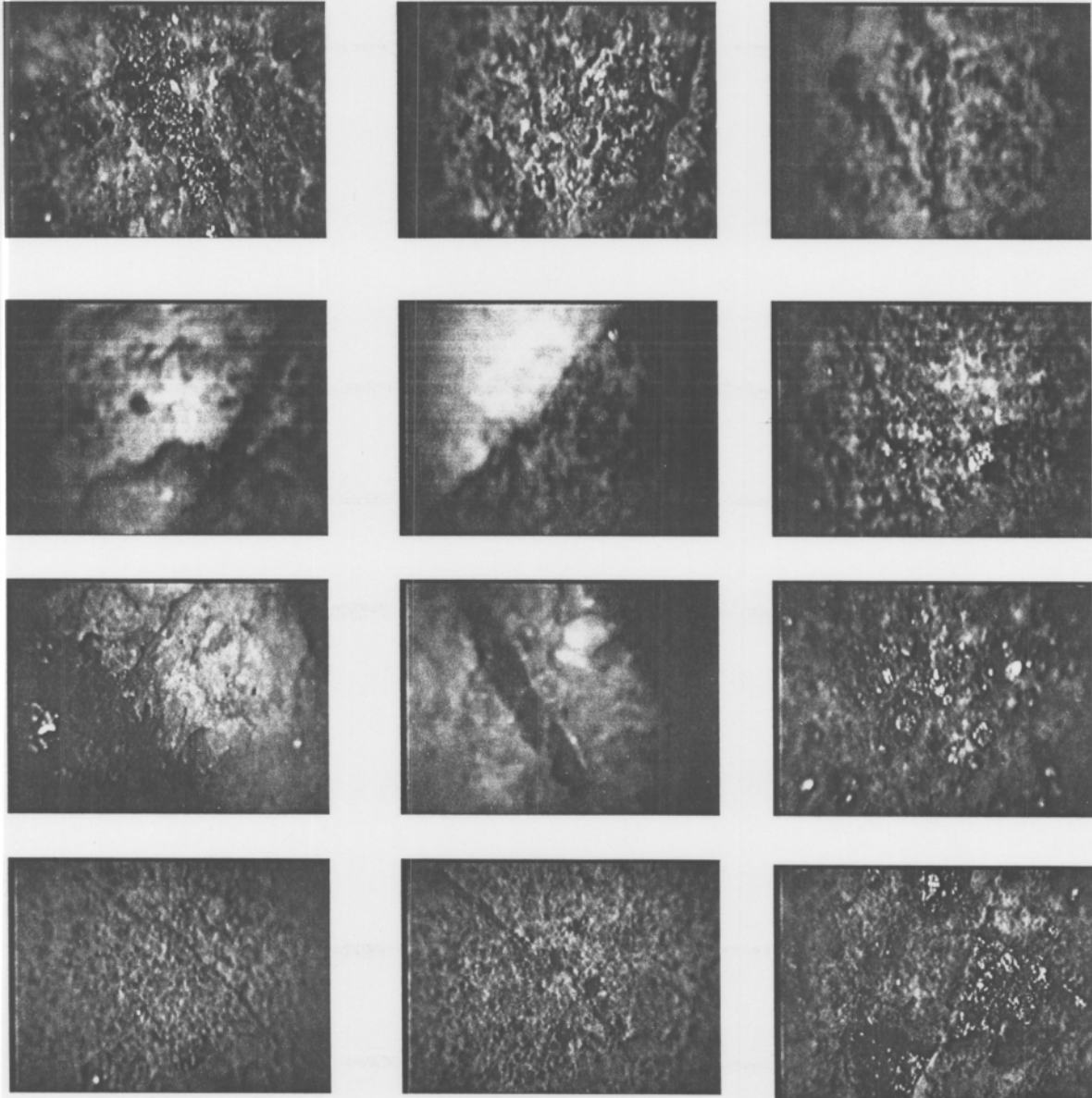
El conocimiento del grado de fractura en el interior del pilar juega un papel importante en la definición de la estabilidad local de la cámara y pilar que forman la unidad de explotación.

Se recomienda llevar un control, mediante chequeos periódicos y llevar una base de datos para evaluar la evolución de los desprendimientos menores.

A continuación se presentan fotos de los monitoreos y las observaciones realizadas con la cámara introsópica de infrarrojo.

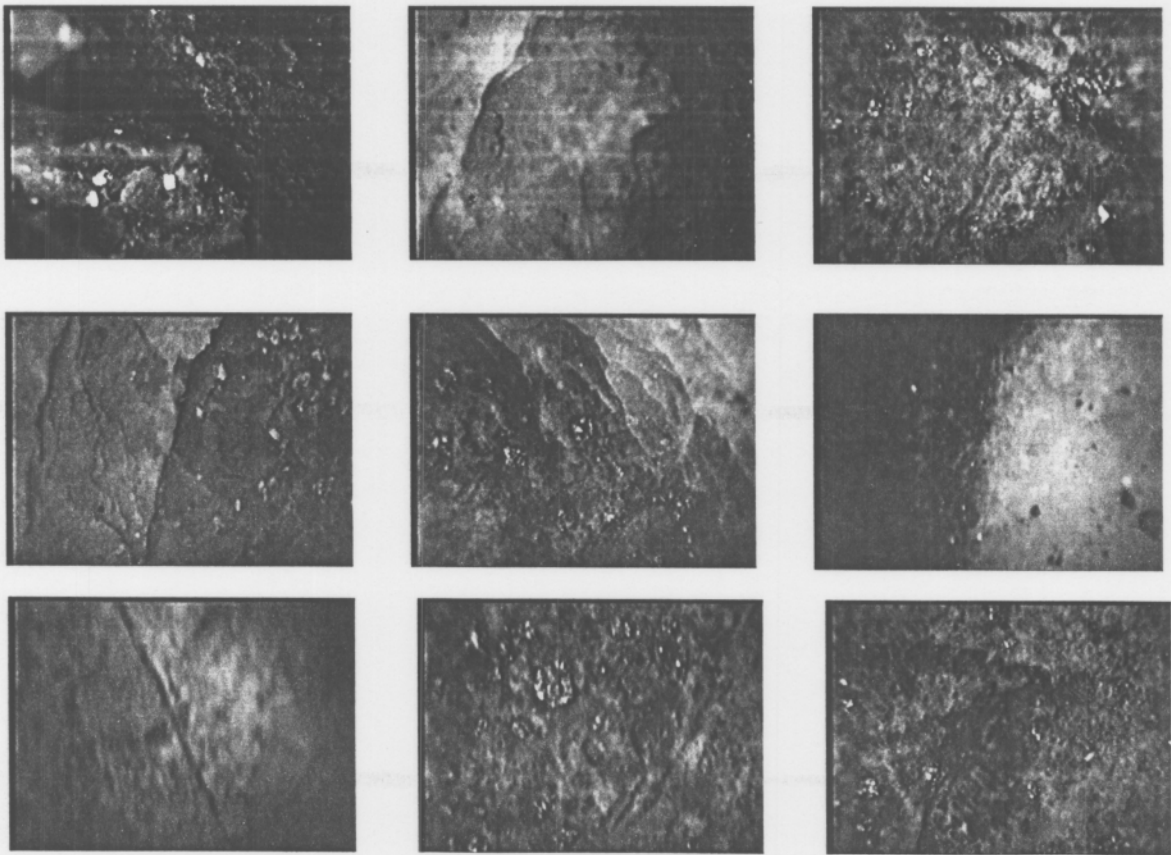
PILAR 1.-

La muestra indica presencia de vetillas de cuarzo en distintas direcciones incluyendo algunas que cruzan perpendicular al barreno. Presencia de cristales de pirritas que en algunos casos forman parte del relleno de vetillas. Se aprecia un cambio de litología. Hay presencia de micro fisuras en abundante cantidad.



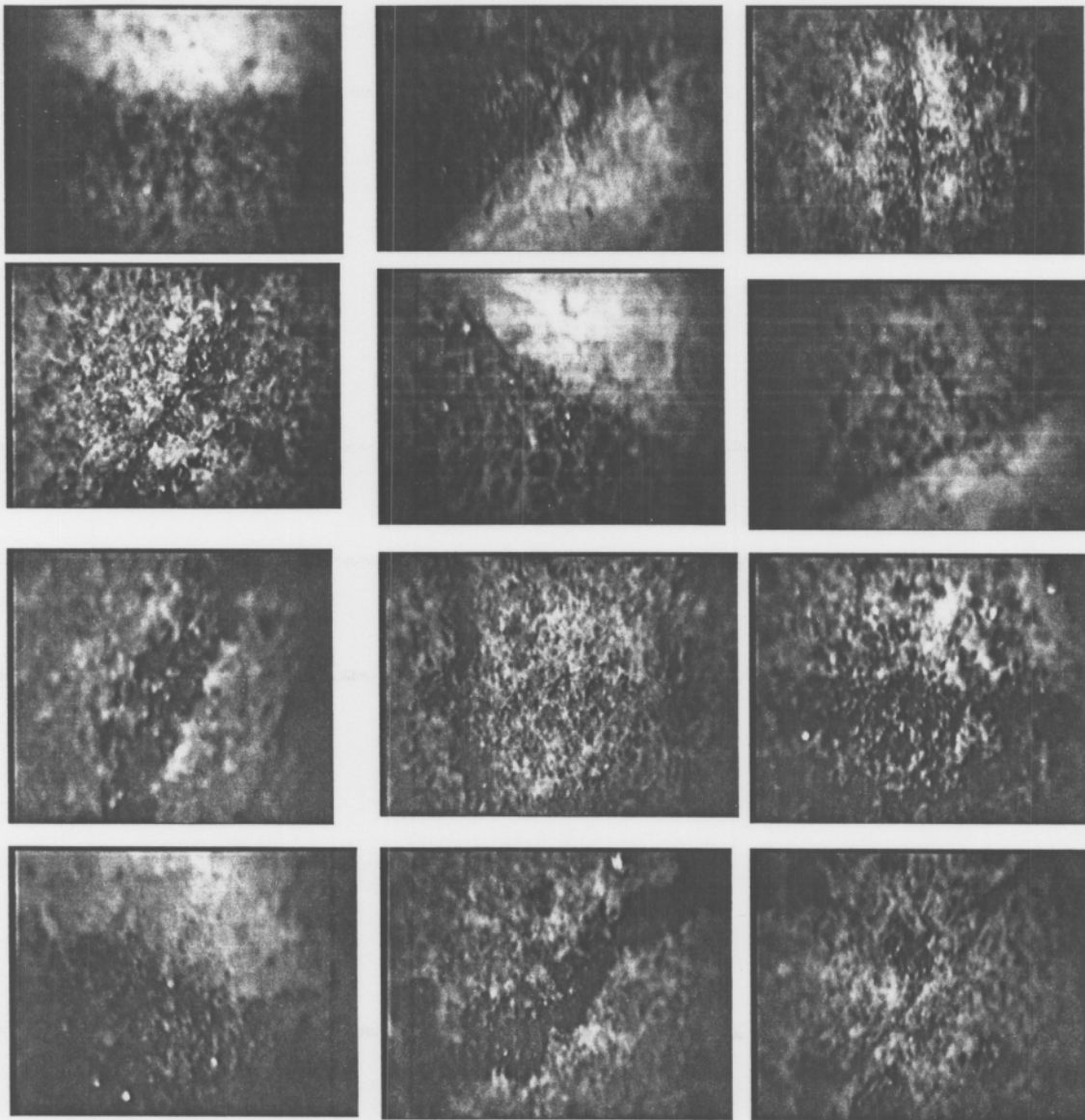
PILAR 2.-

En los primeros momentos de monitoreo se muestra un desprendimiento provocado en la iniciación de la perforación. Se muestra claramente contactos cuarzo y roca. Se aprecia familias de discontinuidades separadas por algunos milímetros y son subparalelas al eje del barreno. Estas familias se presentan mas bien en dirección subhorizontal lo que está en correspondencia con lo observado en el techo de la excavación, generando una situación de desprendimiento inminente en caso de aumentar la luz entre los pilares o aumentar la altura de estos. Se observa microfracturamiento y discontinuidades con relleno de piritas que desarrollan discontinuidades con poca cohesión.



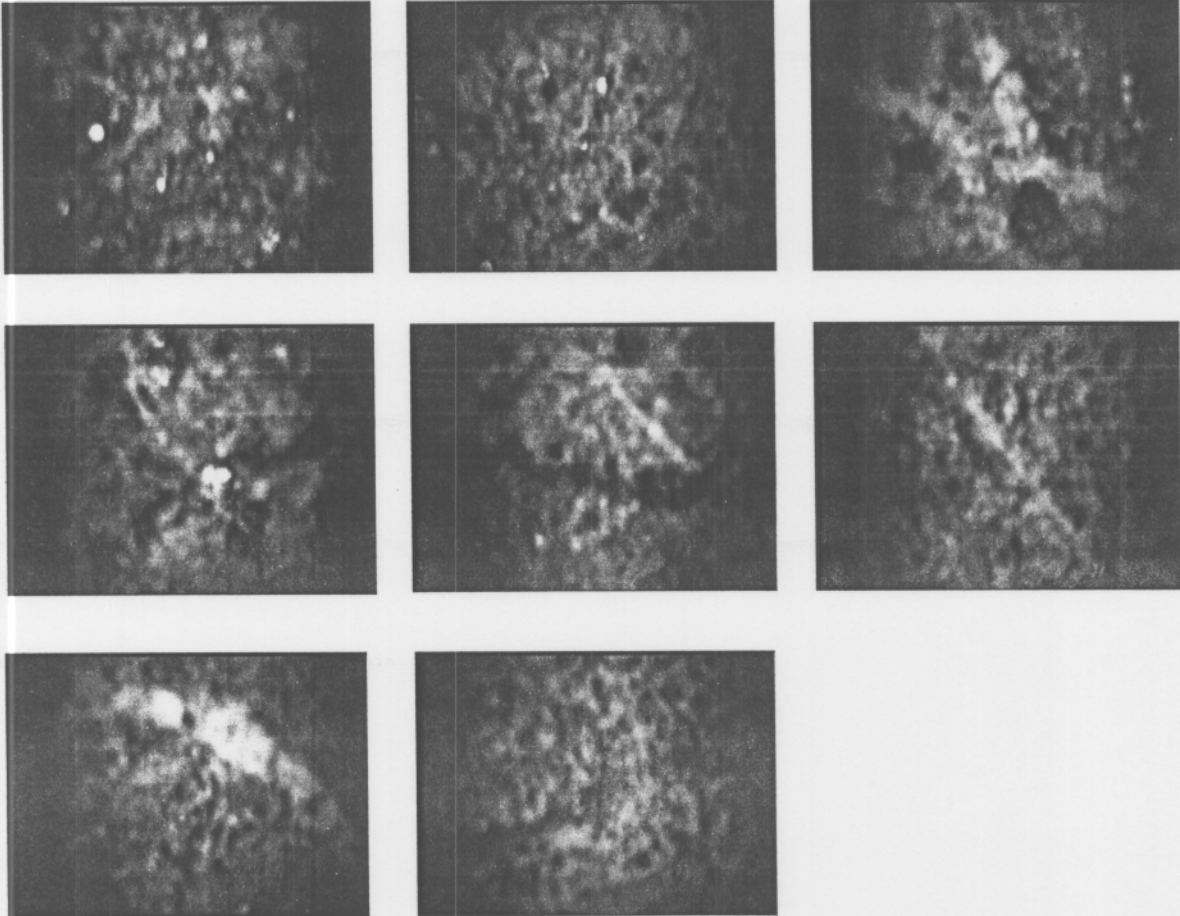
PILAR 3.-

En este pilar se observa poca mineralización. Hay presencia de algunas vetillas de cuarzo poco persistentes, pero se observa claramente algunos contacto entre cuarzo y roca. Al igual que en los otros pilares se observan micro fracturas y vetillas con relleno de poca cohesión.



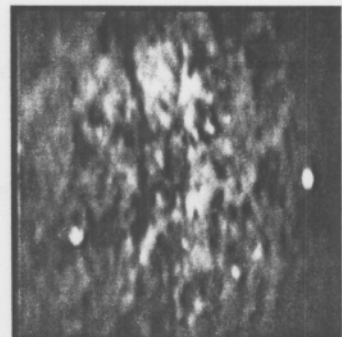
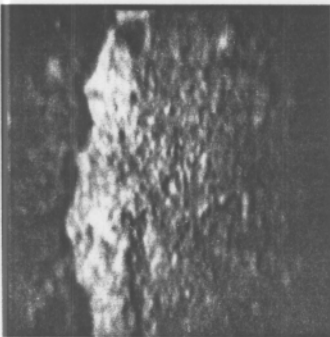
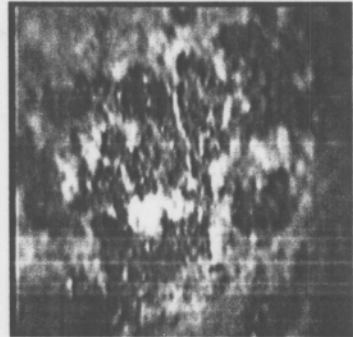
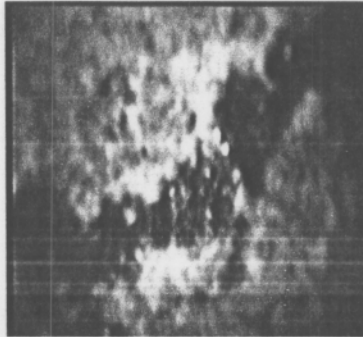
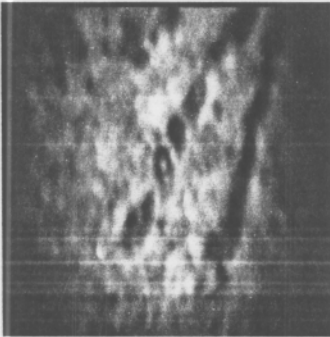
PILAR 4.-

Se aprecian vetillas con desprendimientos acusando pobre cohesión. Se percibe un cambio de litología respecto a los otros pilares. Hay intersección de vetillas y presencia de algunas discontinuidades.



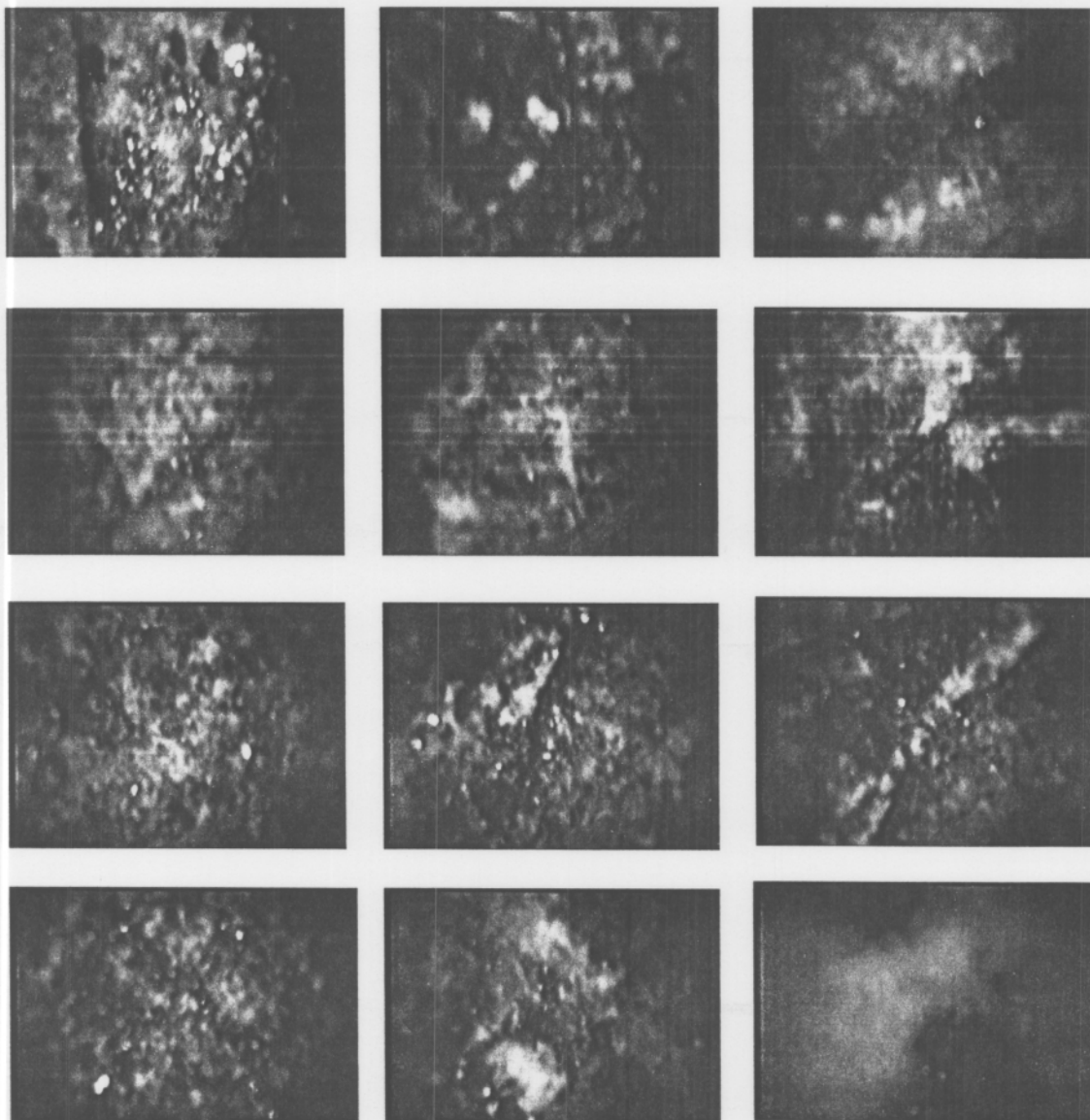
PILAR 5-

El pilar muestra una presencia de discontinuidades de pequeñas dimensiones pero con más frecuencia que los anteriores. Persiste el tipo de relleno de cristales oscuros de pobre cohesión. Las micro fracturas son evidentes y la presencia de cuarzo continua como en los otros pilares.



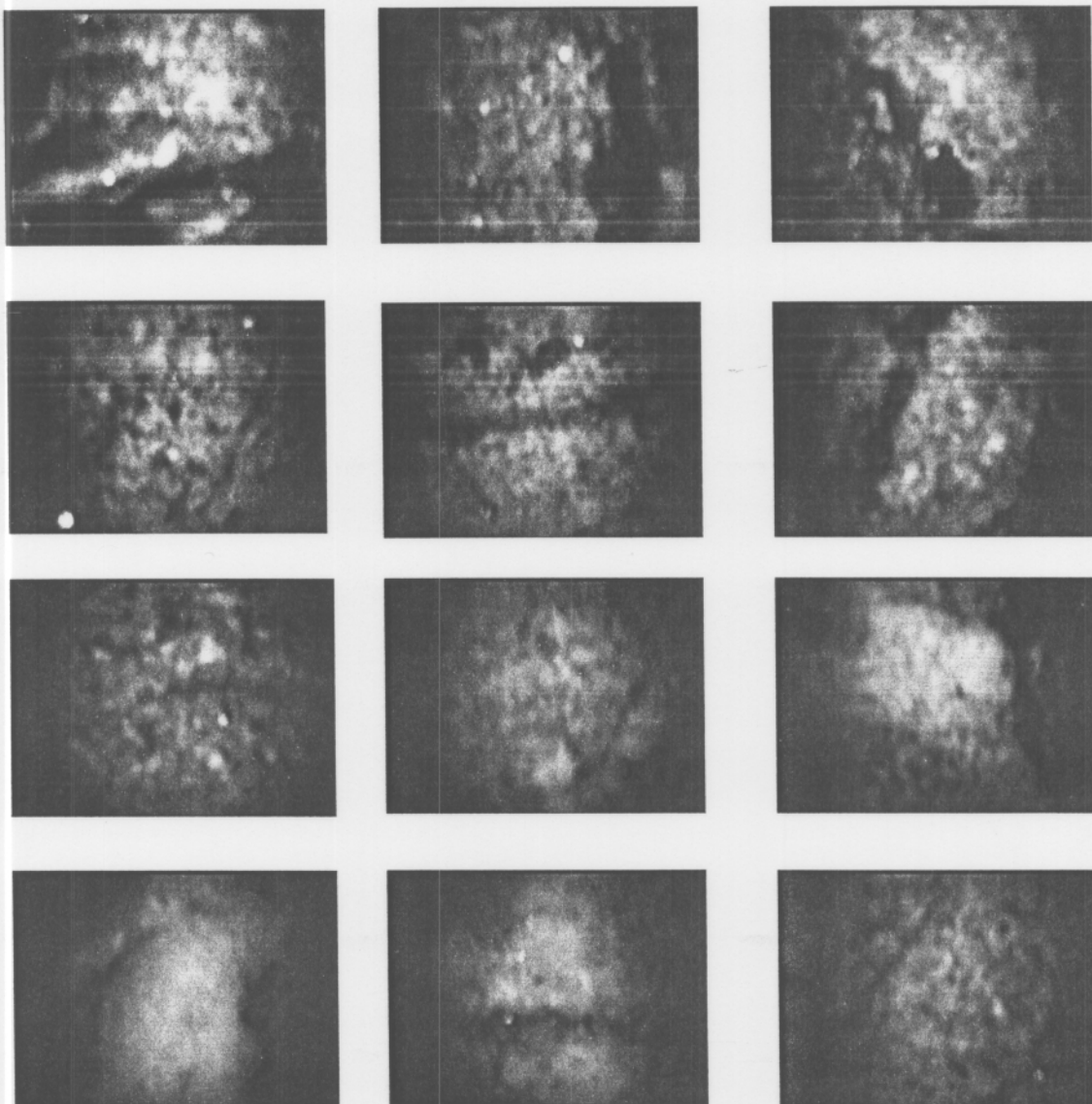
PILAR 6.-

Este pilar muestra una presencia de mineralización abundante. Es representativo de todos los pilares debido a que en él se presenta toda la gama de vetillas y microfracturamiento que han aparecido en el resto de los pilares.



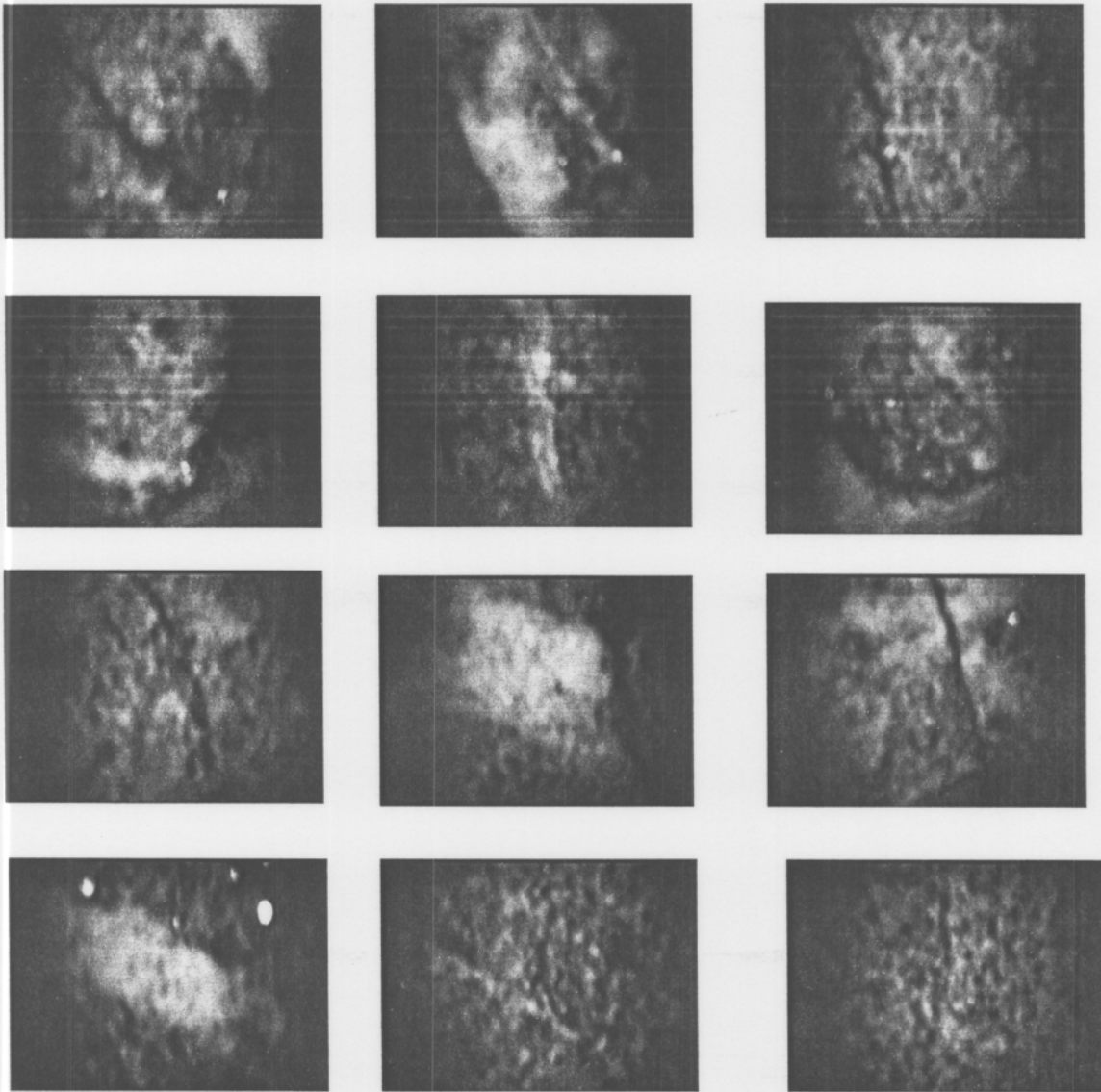
PILAR 7.-

Este pilar muestra pequeñas fracturas abiertas con una frecuencia mayor que los pilares anteriores. Las vetillas de cuarzo están presentes como en los casos anteriores. Evidentemente se verifica que los pilares están desarrollados en el cuerpo mineralizado.



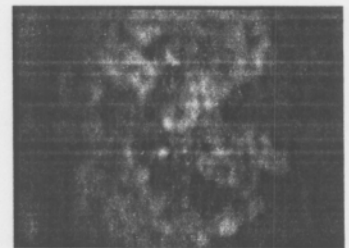
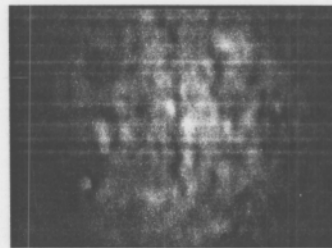
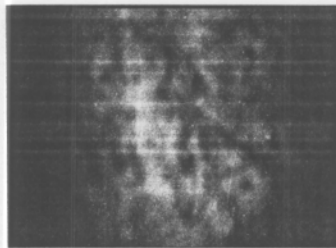
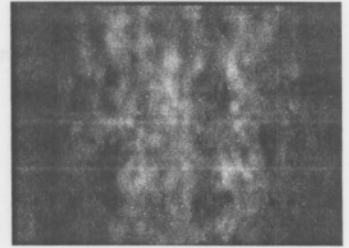
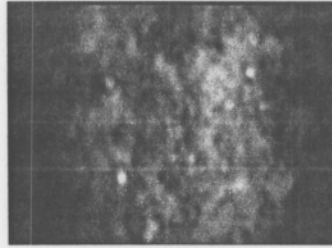
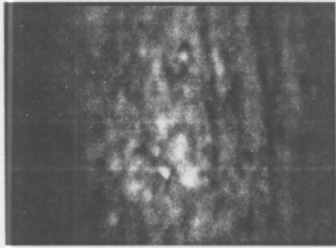
PILAR 8.

Este pilar muestra diaclasas en diferentes direcciones con micro fracturas mas bien subparalelas al eje del barreno. Hay evidencia que estas discontinuidades son mas frecuentes que el resto de los pilares.



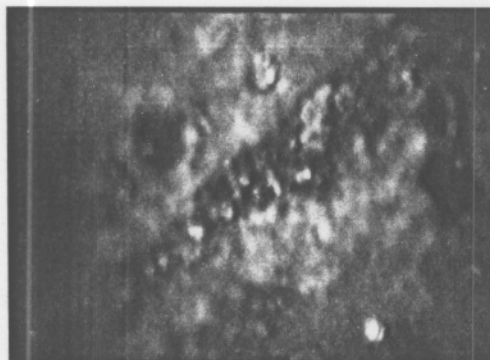
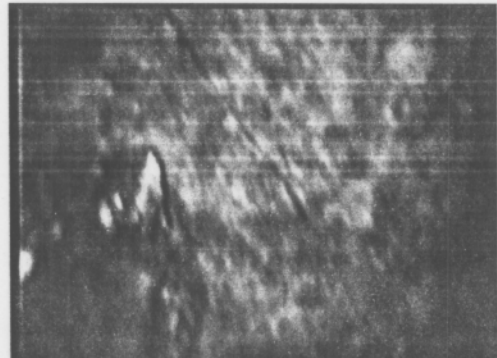
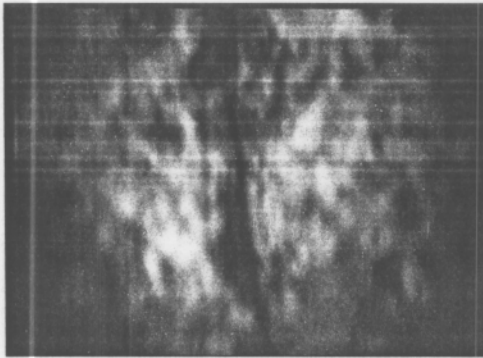
PILAR 9

Este pilar muestra una litología mas bien diferente al resto de los pilares con poca mineralización a la vista. Algunas discontinuidades son evidentes, pero de pequeñas dimensiones.



PILAR 10.-

La muestra presenta en la mayor parte de su longitud presencia de vetillas de cuarzo con distintas orientaciones respecto al eje del barreno. Acusa presencia de contenidos metálicos, probablemente cristales de pirita. Por otro lado se visualiza discontinuidades con relleno de cristales que provocan una pobre cohesión de los planos que la forman, situación que al estar en otras condiciones de exposición provocaría desprendimientos. No hay presencia de fracturas abiertas importantes, pero se detectan micro fisuras, lo que es una respuesta del pilar debido a algún tipo de esfuerzo presente en área.



6.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TECHO

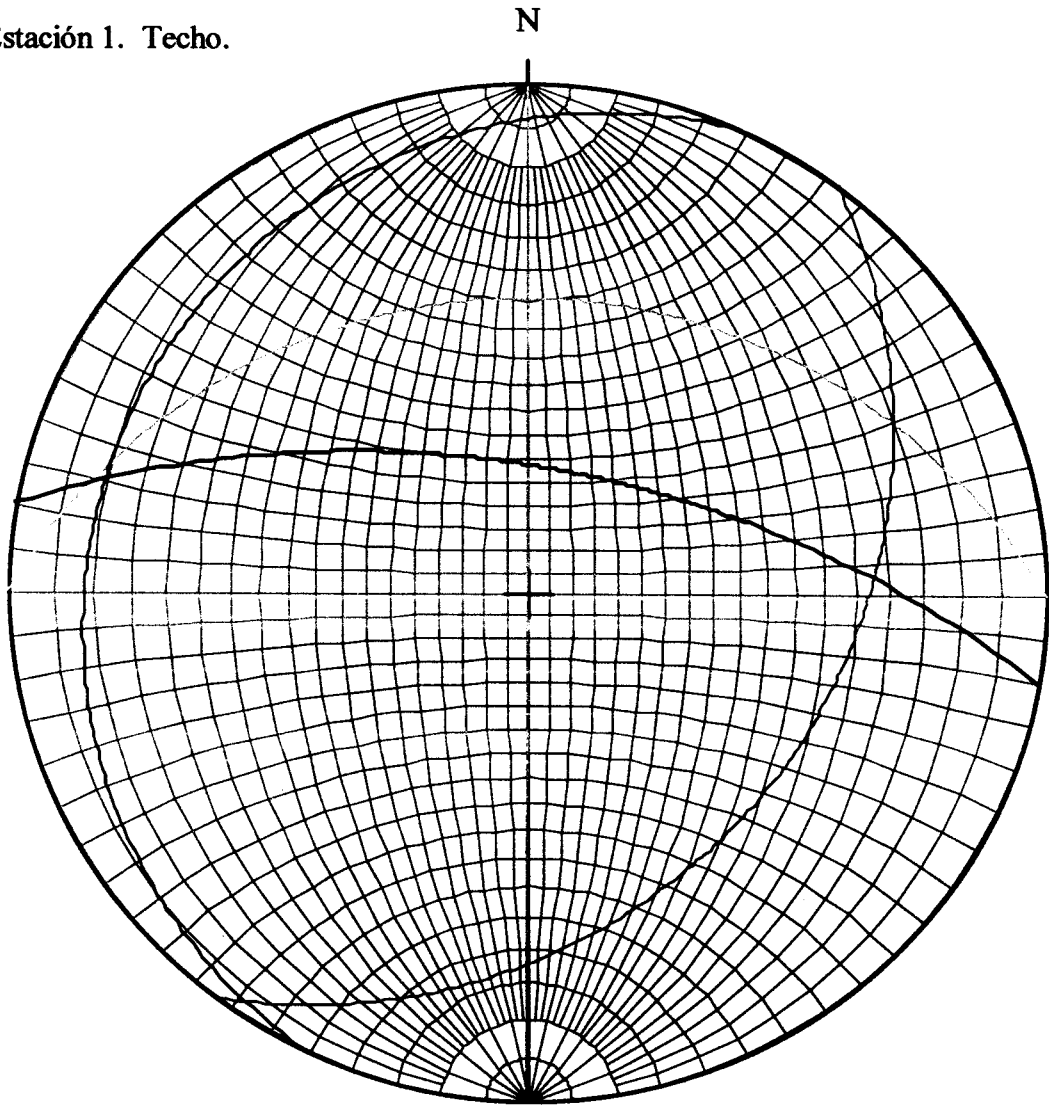
ESTACIÓN	BLOQUE DELIMITADO POR	CONDICION DE ESTABILIDAD	MECANISMO DE FALLA	OBSERVACIONES
E1	D1D3D5 D4D3D5 D4D1D3 D2D4D1 D2D3D4	Inestable	Gravedad Gravedad Gravedad Deslizamiento Deslizamiento	Desliza a través de D4 Desliza a través de D4
E2	D1 D2 D4 D1 D3 D4 D2 D3 D1 D2 D3 D4	Inestable	Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento	Bloque grande Desliza a través de D2 Desliza a través de D2 Desliza a través de D2
E3	D1 D5 D4 D1 D3 D5 D1 D2 D5 D1 D2 D3 D3 D4 D5 D1 D3 D4	Inestable	Por gravedad Por gravedad Por gravedad Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento	Bloque grande Contenido en el primer bloque Contenido en el primer bloque Desliza a través de D1 Desliza a través de D5 Desliza a través de D1
E4	D1 D4 D5 D5 D3 D4 D3 D5 D1 D1 D4 D3 D3 D5 D2 D2 D1 D3 D4 D1 D2 D4 D5 D2	Inestable	Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento	Desliza a través de D4 Desliza a través de D4 Desliza a través de D5 Desliza a través de D4 Desliza a través de D2 Desliza a través de D2 Desliza a través de D4 Desliza a través de D4
E5	D2 D4 D3 D6 D3 D2 D1 D2 D3 D5 D1 D2 D5 D3 D1 D1 D4 D6 D6 D4 D2	Inestable	Gravedad Gravedad Gravedad Gravedad Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento	Desliza a través de D1 Desliza a través de D6 Desliza a través de D6
E6	D1 D2 D3 D1 D2 D4 D3 D2 D4	Inestable	Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento	Desliza a través de D1 Desliza a través de D1 Desliza a través de D3
E7	D1 D5 D3 D2 D1 D5 D2 D5 D4 D4 D1 D5 D4 D3 D5 D4 D3 D2	Inestable	Gravedad Gravedad Gravedad Gravedad Gravedad Gravedad	

	D4 D1 D2		Gravedad	
E8	D3 D2 D1 D1 D4 D5 D1 D4 D2 D1 D3 D5 D1 D2 D5 D2 D4 D5 D1 D2 D3 D1 D4 D3	Inestable	Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento	Desliza a través de D2 Desliza a través de D1 Desliza a través de D2 Desliza a través de D1 Desliza a través de D2 Desliza a través de D2 Desliza a través de D2 Desliza a través de D2 Desliza a través de D1
E9	D2 D5 D4 D2 D5 D3 D2 D5 D1 D3 D2 D1 D3 D1 D5 D1 D4 D2 D1 D4 D5 D4 D3 D5 D3 D4 D2	Inestable	Gravedad Gravedad Gravedad Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento Deslizamiento	Desliza a través de D1 ó D2 Desliza a través de D1 Desliza a través de D1 ó D2 Desliza a través de D1 Desliza a través de D3 Desliza a través de D2
E10	D4 D2 D3 D1 D2 D3 D4 D2 D5 D4 D2 D1 D5 D1 D4 D5 D1 D2 D5 D1 D3 D4 D3 D1 D2 D5 D3	Inestable	Gravedad Gravedad Gravedad Deslizamiento Gravedad Gravedad Gravedad Deslizamiento Gravedad	Desliza a través de D1 Desliza a través de D1

A continuación se presentan las proyecciones estereográficas que sirvieron de base a los análisis realizados.

PROYECCIONES ESTEREOGRAFICAS EN TECHO

Estación 1. Techo.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

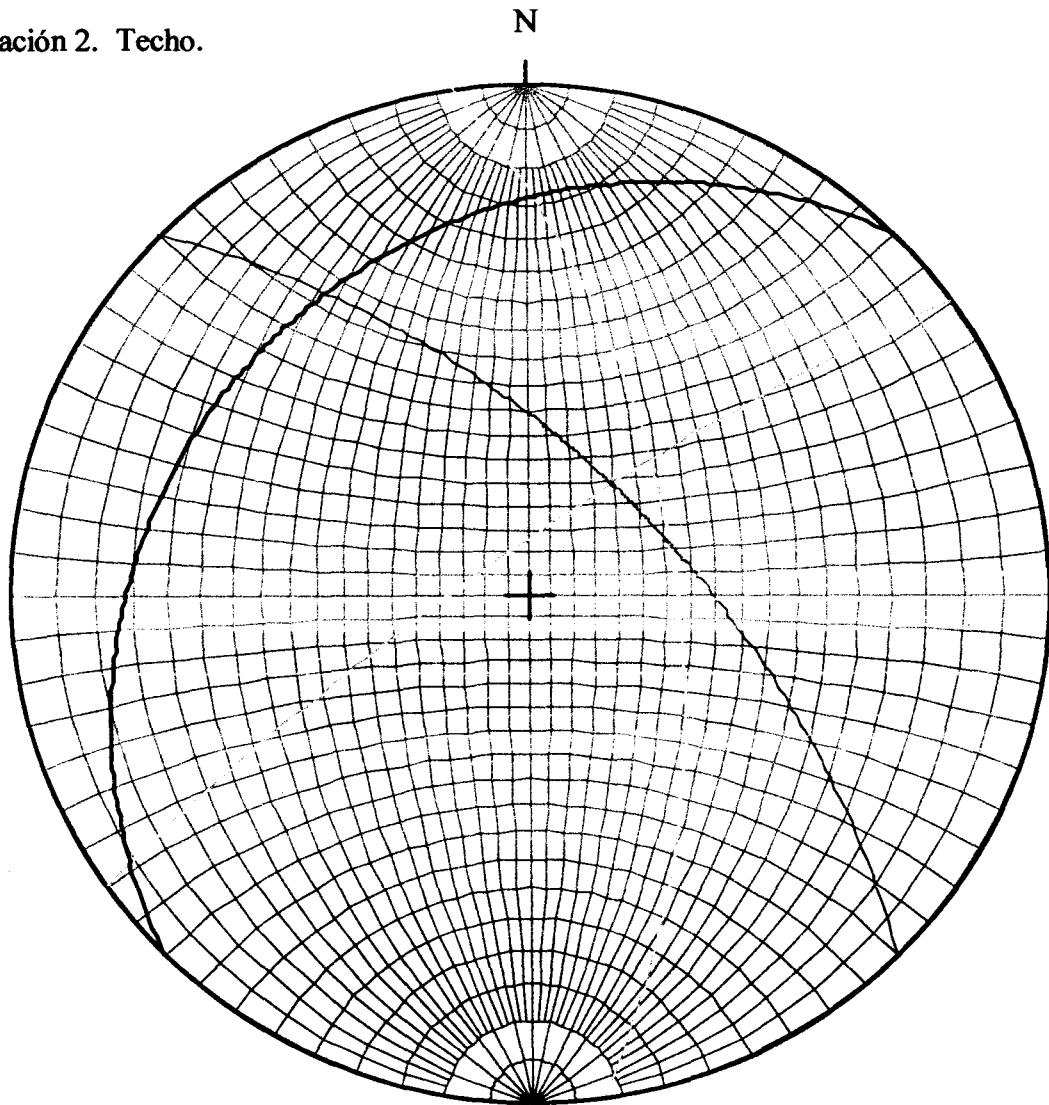
Data Plotted as Planes Total Number of Points = 5

Leyenda:

D1: E-W 30N
D2: N-S vertical
D3: N37E28S
D4: N80W62N
D5: N25E10N

Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Minas
Proyecto:
Caracterización Geomecánica del Nivel 6,
Mina Colombia, Minerven, El Callao.
Octubre, 2002

Estación 2. Techo.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

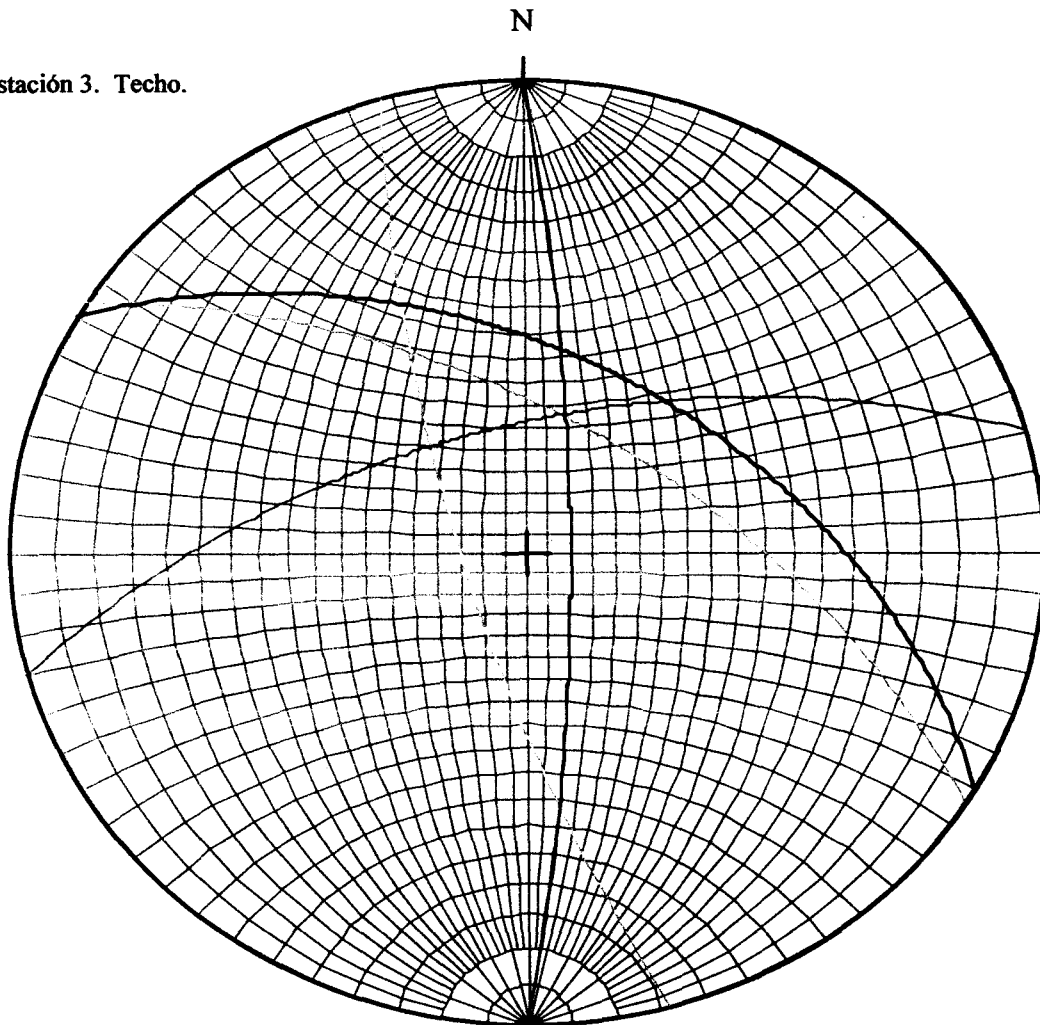
Data Plotted as Planes Total Number of Points = 4

Leyenda:

- D1: N18W56N
- D2: N55E80N
- D3: N45W60N
- D4: N45E20N

Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Minas
Proyecto:
Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina
Colombia, Minerven, El Callao.
Octubre, 2002

Estación 3. Techo.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 5

Leyenda:

D1: N16W76N

D2: N56W58N

D3: N75E60N

D4: N60W45N

D5: N-S80E

Universidad Central de Venezuela

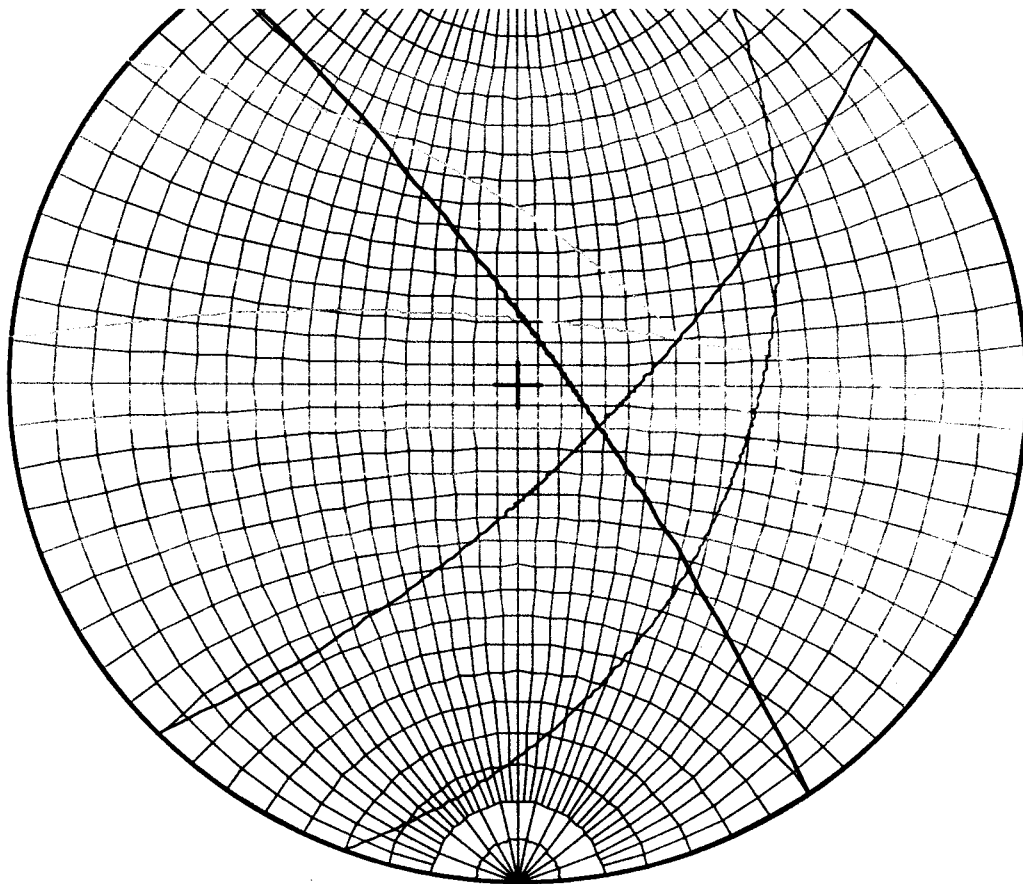
Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

**Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina
Colombia, Minerven, El Callao.**

Octubre, 2002



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 5

Leyenda:

D1: N50W58N

D2: N85W75N

D3: N20E40S

D4: N35W80N

D5: N45E70S

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

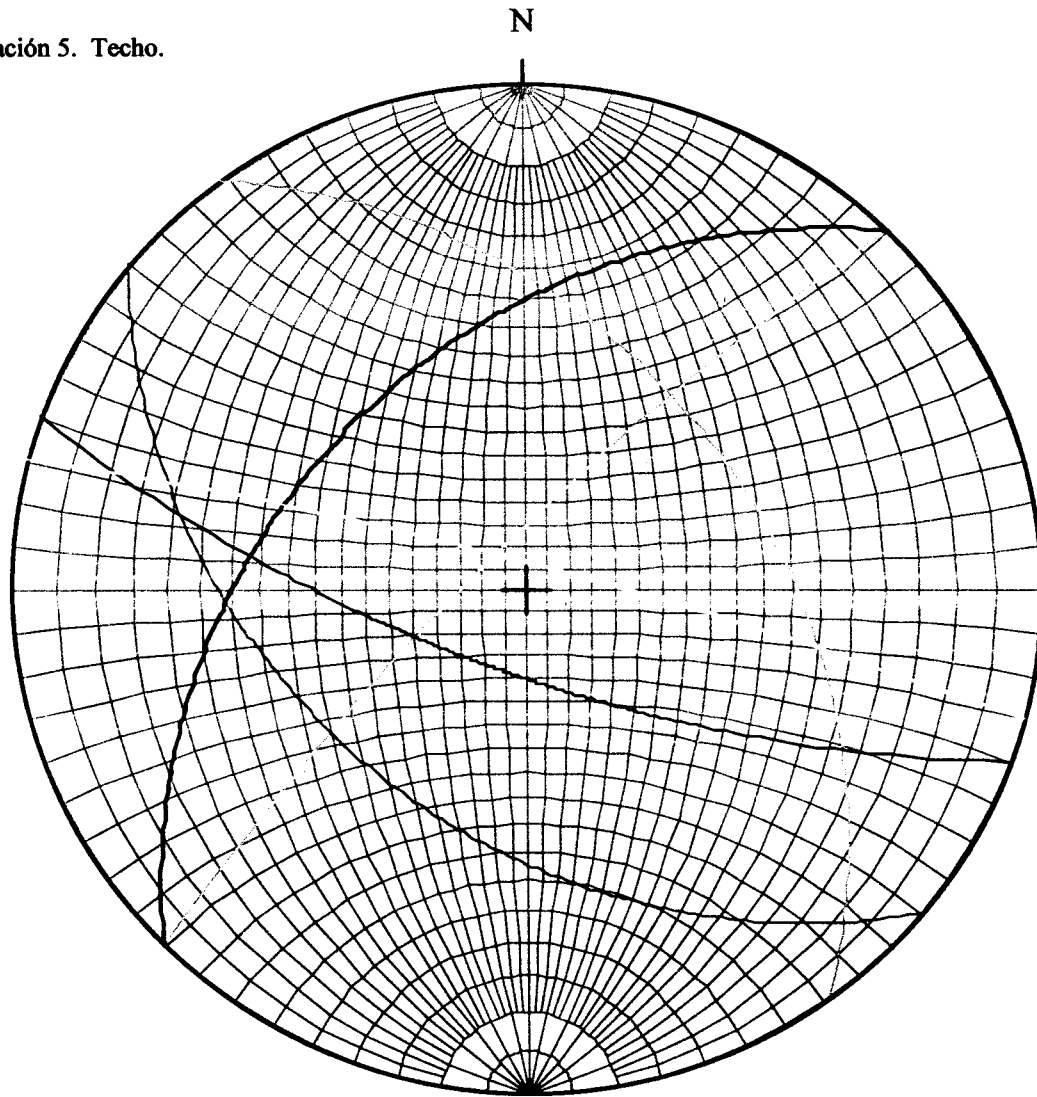
Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

**Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina
Colombia, Minerven, El Callao.**

Octubre, 2002

Estación 5. Techo.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 6

Leyenda:

D1: N45E80N
D2: N36W40N
D3: N50W59S
D4: N45E40N
D5: N70W71S

**Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería**

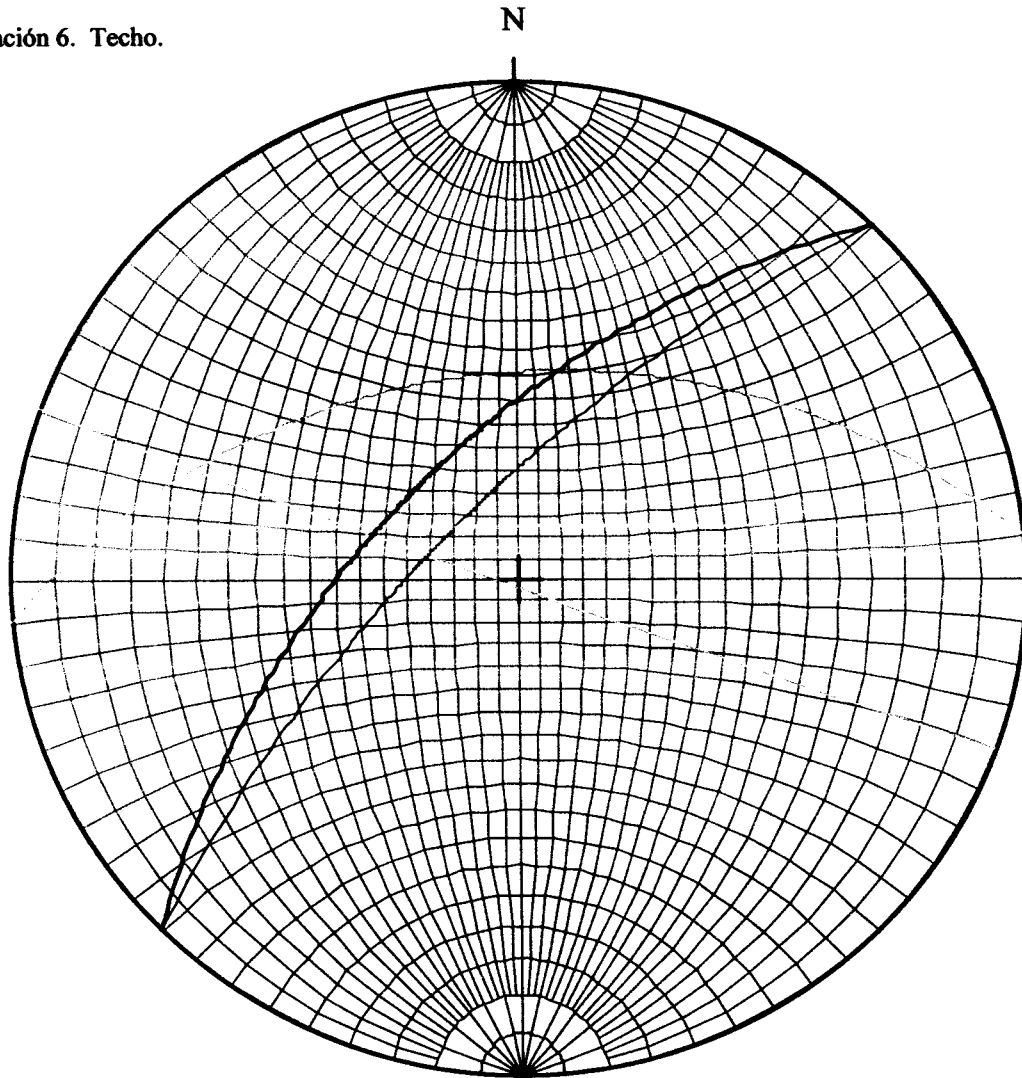
Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

**Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina
Colombia, Minerven, El Callao.**

Octubre, 2002

Estación 6. Techo.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 4

Leyenda:

D1: N75W45S

D2: N85E45N

D3: N45E72N

D4: N45E60N

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

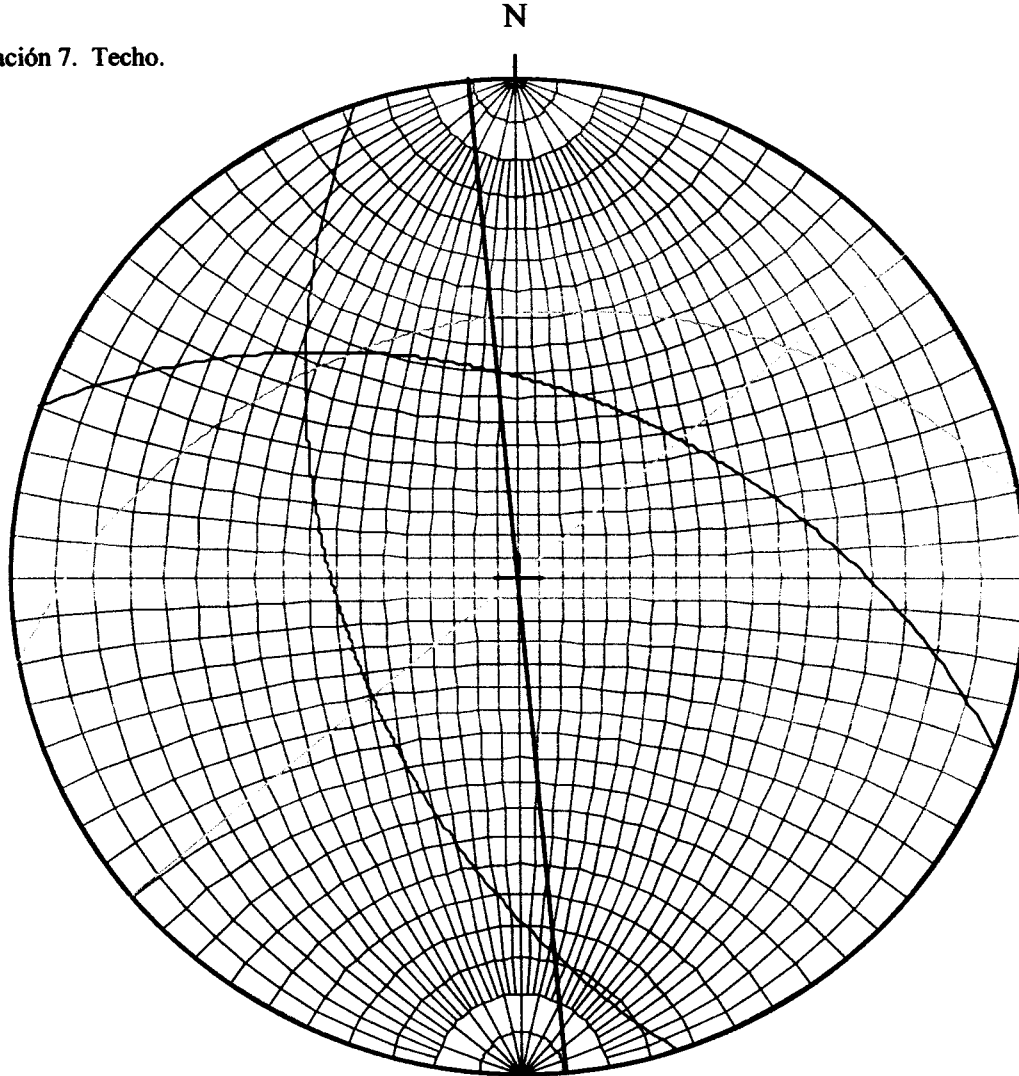
Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

**Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina
Colombia, Minerven, El Callao.**

Octubre, 2002

Estación 7. Techo.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 5

Leyenda:

- D1: N50E vertical
- D2: N80E35N
- D3: N18W51S
- D4: N05W vertical**
- D5: N70W48N

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

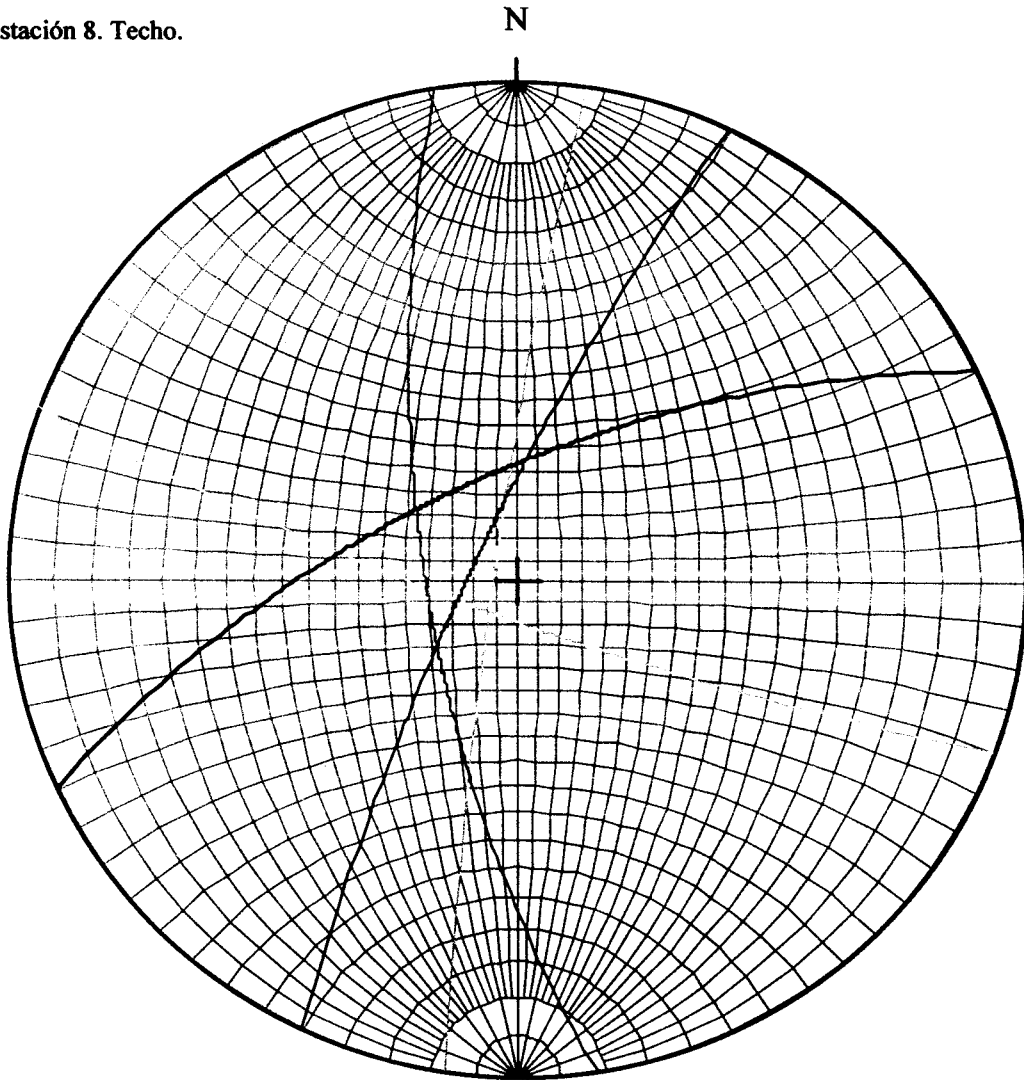
Proyecto:

Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina

Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002

Estación 8. Techo.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 5

Leyenda:

D1: N00E00N
D2: N08E85N
D3: N09W70S
D4: N65E66N
D5: N25E80N

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

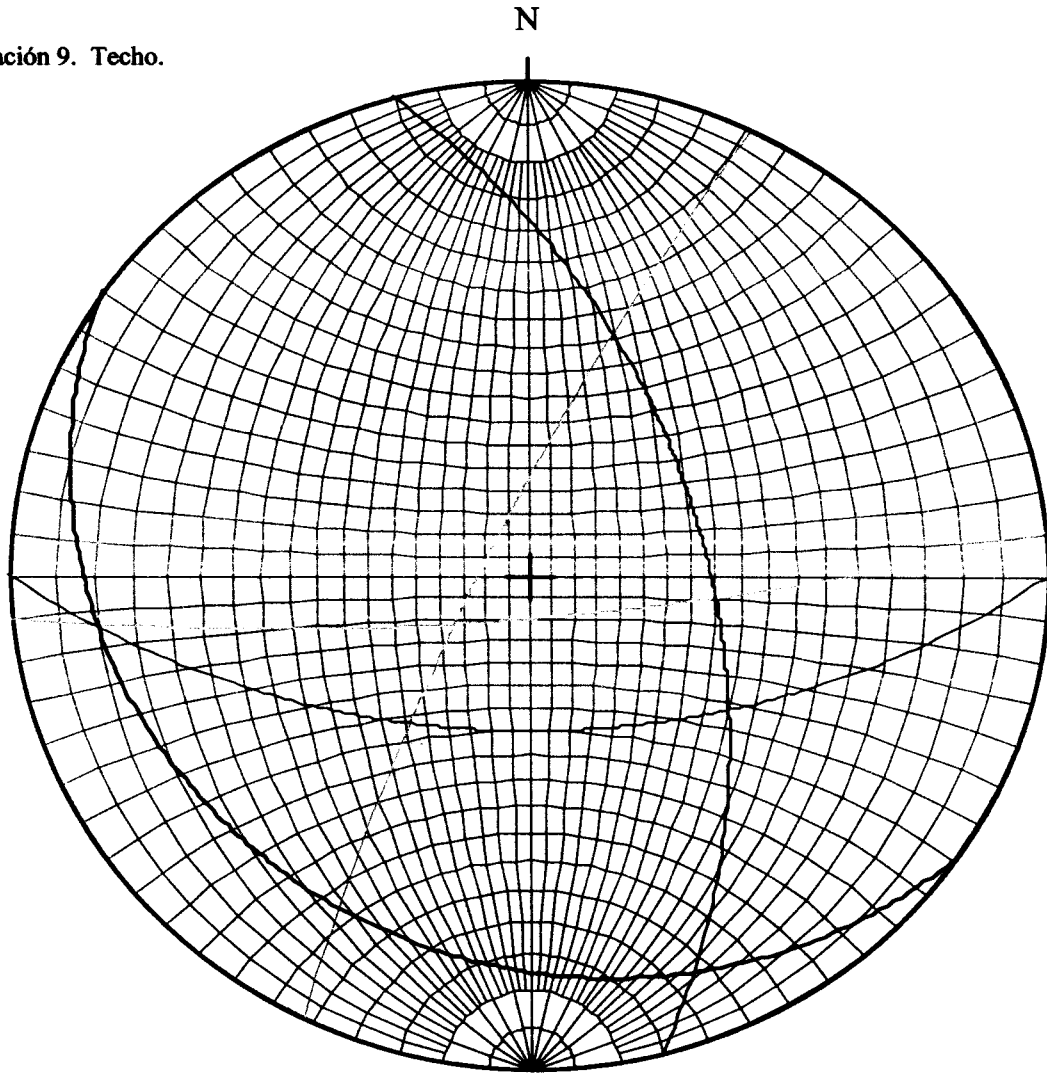
Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

**Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina
Colombia, Minerven, El Callao.**

Octubre, 2002

Estación 9. Techo.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 5

Leyenda:

D1: N85E80N

D2: N26E80N

D3: E-W55S

D4: N55W15S

D5: N15W52N

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

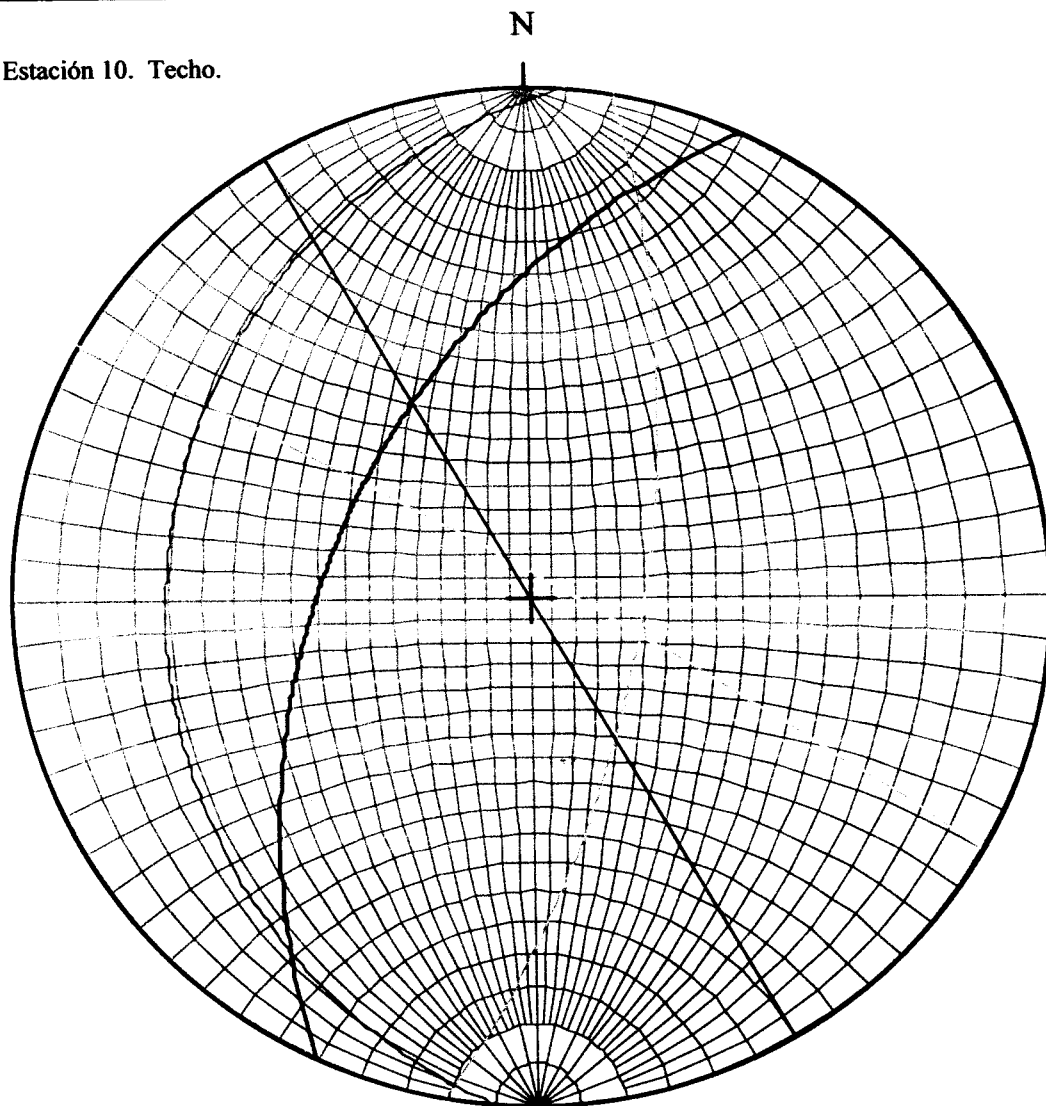
Proyecto:

Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina

Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002

Estación 10. Techo.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 5

Leyenda:

- D1: N04W87N
- D2: N10E65S
- D3: N05E20N
- D4: N25E48N
- D5: N30W vertical

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina
Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002

6.7 RESULTADOS DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LOS PILARES.

El Análisis de estabilidad se hizo en forma tridimensional por medio de las proyecciones estereográficas el procedimiento consiste en proyectar sobre el hemisferio inferior de una esfera, el plano de la cara del talud, o del pilar en este caso, obteniéndose un modelo geotécnico, donde también se proyectan los planos de las discontinuidades.

También se hizo un análisis de estabilidad de forma analítica en dos dimensiones utilizando el Software RocPlane 2.0. Figuras 18 y 19.

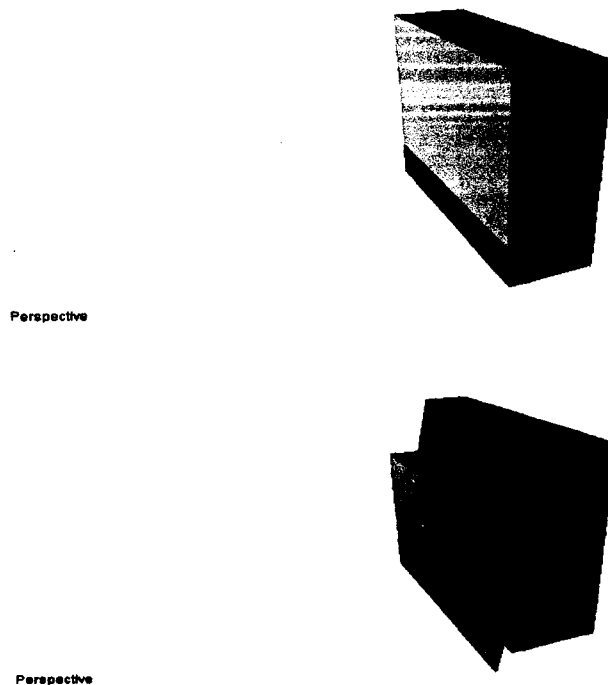


Figura 18 Falla plana en cara de pilar.en 3D

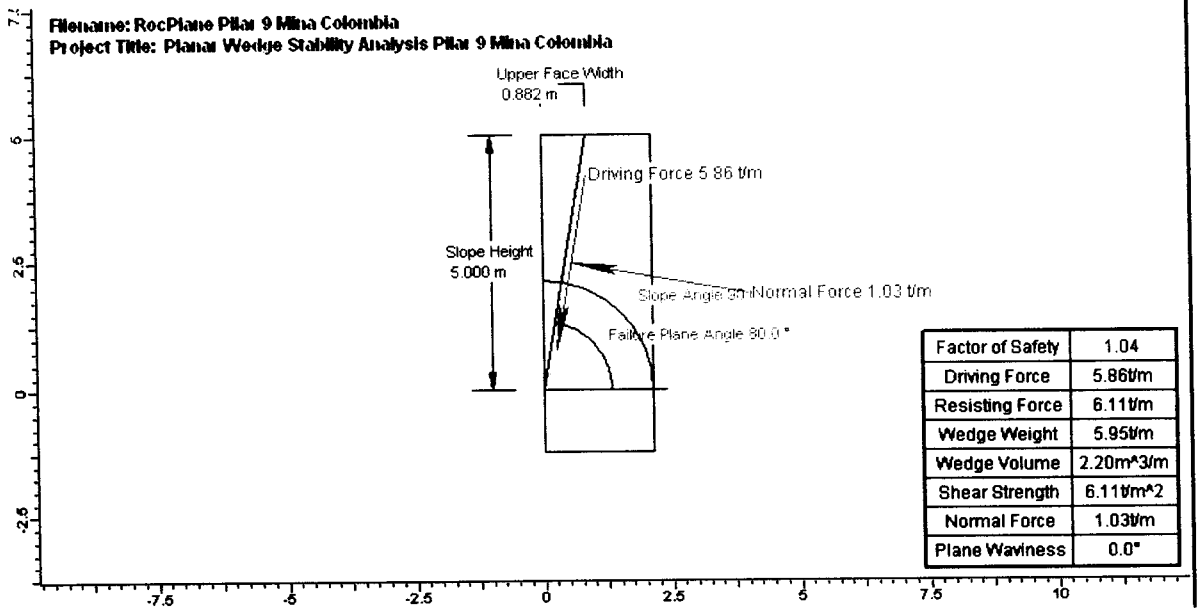


Figura 19 Falla plana de Pilar en 2D

Fallas Cuneiformes (Falla de Cuña):

Se producen cuando dos planos de debilidad se interceptan definiendo un bloque de roca, cuyo movimiento está controlado por la dirección de la recta de intercepción entre los dos planos. La evaluación y análisis de fallas cuneiformes se realizó basándonos en proyecciones hemisféricas, ver Fig. 20. Para que se produzca una falla de cuña en un pilar deben cumplirse las siguientes condiciones: la recta de intercepción de las dos discontinuidades debe tener un ángulo menor que el ángulo de la pared del pilar (90°) lo que configura una situación de inestabilidad cinemática, si adicionalmente el ángulo de fricción de estas es menor que el ángulo de la recta de intercepción de las discontinuidades se concluye que la cara de pilar estudiada presenta posibilidad cinemática y mecánica de falla tipo cuña. Se utilizó el software Swedge 4.0 para simular un pilar con falla de cuña .en 3D

Fig 21

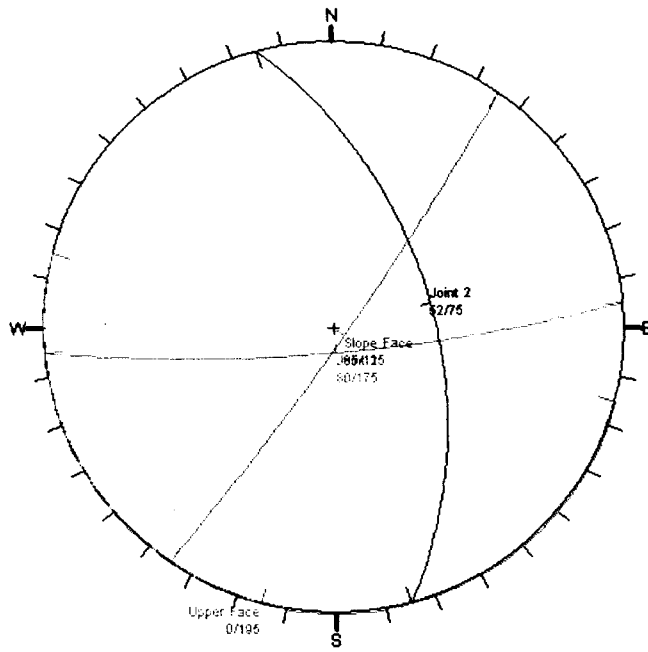


Fig 20 Proyección estereográfica de falla de cuña



Perspective

Fig 21 Falla de cuña en la cara del Pilar 9 en 3D

Estación 1.

En esta estación se observa una falla planar definida por la diaclasa número 4 (N80W62N), en la cara Norte del pilar de orientación N55W.

También se presentan dos fallas de cuña las cuales están definidas por las diaclasas 2 (N-S vertical) y 4 (N80W62N), una en la cara Norte del pilar con orientación N35E y la otra en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

Estación 2.

En la estación se encuentran 2 fallas planares definidas por la diaclasa 2 (N55E80N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E y por la diaclasa 3 (N45W60N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

También se observan seis fallas tipo cuneiforme definidas por:

- Diaclasa 1 (N08W58N) y diaclasa 2 (N55E80N) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N08W58N) y diaclasa 2 (N55E80N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 2 (N55E80N) y diaclasa 3 (N45W60N) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 2 (N55E80N) y diaclasa 3 (N45W60N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N08W58N) y diaclasa 3 (N45W60N) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.

- Diaclasa 1 (N08W58N) y diaclasa 3 (N45W60N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

Estación 3.

En la estación se encuentran 2 fallas planares definidas por la diaclasa 2 (N56W58N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W y por la diaclasa 4 (N60W45N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

También se observan doce fallas tipo cuneiforme definidas por:

- Diaclasa 5 (N-S80E) y diaclasa 4 (N60W45N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 5 (N-S80E) y diaclasa 4 (N60W45N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N16W76S) y diaclasa 3 (N75E60N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N16W76S) y diaclasa 3 (N75E60N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 3 (N75E60N) y diaclasa 5 (N-S80E) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 3 (N75E60N) y diaclasa 5 (N-S80E) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 3 (N75E60N) y diaclasa 2 (N56W58N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 3 (N75E60N) y diaclasa 2 (N56W58N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.

orientación N35E.

- Diaclasa 3 (N75E60N) y diaclasa 4 (N60W45N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 3 (N75E60N) y diaclasa 4 (N60W45N) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.

Estación 4.

En la estación se encuentran 4 fallas planares definidas por:

- Diaclasa 3 (N20E40S) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 5 (N45E70S) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N50W58N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 4 (N35W80N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

También se observan doce fallas tipo cuneiforme definidas por:

- Diaclasa 2 (N85W75N) y diaclasa 4 (N35W80N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 2 (N85W75N) y diaclasa 4 (N35W80N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 5 (N45E70S) y diaclasa 4 (N35W80N) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 5 (N45E70S) y diaclasa 4 (N35W80N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

- Diaclasa 1 (N50W58N) y diaclasa 3 (N20E40S) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N50W58N) y diaclasa 3 (N20E40S) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N50W58N) y diaclasa 5 (N45E70S) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N50W58N) y diaclasa 5 (N45E70S) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N50W58N) y diaclasa 2 (85W75N) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N50W58N) y diaclasa 2 (85W75N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 5 (N45E70S) y diaclasa 2 (85W75N) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 5 (N45E70S) y diaclasa 2 (85W75N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

Estación 5.

En la estación se encuentran 6 fallas planares definidas por:

- Diaclasa 1 (N45E80N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 4 (N45E40N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 2 (N36W40N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 3 (N50W59S) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 5 (N70W71S) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.

- Diaclasa 6 (N75W84N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

También se observan cuatro fallas tipo cuneiforme definidas por:

- Diaclasa 1 (N45E80N) y diaclasa 6 (N75W84N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N45E80N) y diaclasa 6 (N75W84N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N45E80N) y diaclasa 5 (N70W71S) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N45E80N) y diaclasa 5 (N70W71S) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.

Estación 6.

En la estación se encuentran 3 fallas planares definidas por:

- Diaclasa 3 (N45E72N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 4 (N45E60N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N70W88S) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.

También se observan ocho fallas tipo cuneiforme definidas por:

- Diaclasa 1 (N70W88S) y diaclasa 4 (N45E60N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N70W88S) y diaclasa 4 (N45E60N) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N70W88S) y diaclasa 3 (N45E72N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.

- Diaclasa 1 (N70W88S) y diaclasa 3 (N45E72N) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 2 (N85E45N) y diaclasa 3 (N45E72N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 2 (N85E45N) y diaclasa 3 (N45E72N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 2 (N85E45N) y diaclasa 4 (N45E60N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 2 (N85E45N) y diaclasa 4 (N45E60N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

Estación 7.

En la estación se observa una falla planar definida por:

- Diaclasa 5 (N70W48N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

También se observan seis fallas tipo cuneiforme definidas por:

- Diaclasa 1 (N50E vertical) y diaclasa 5 (N70W48N) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N50E vertical) y diaclasa 5 (N70W48N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N50E vertical) y diaclasa 3 (N18W51S) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N50E vertical) y diaclasa 3 (N18W51S) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.

- Diaclasa 4 (N05W vertical) y diaclasa 5 (N70W48N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 4 (N05W vertical) y diaclasa 5 (N70W48N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

Estación 8.

En la estación se observan dos fallas planares definidas por:

- Diaclasa 1 (N70W81S) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 5 (N25E80N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.

También se observan 19 fallas tipo cuneiforme definidas por:

- Diaclasa 1 (N70W81S) y diaclasa 4 (N65E66N) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N70W81S) y diaclasa 4 (N65E66N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N70W81S) y diaclasa 3 (N09W70S) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N70W81S) y diaclasa 3 (N09W70S) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N70W81S) y diaclasa 5 (N25E80N) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N70W81S) y diaclasa 5 (N25E80N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N70W81S) y diaclasa 2 (N08E85N) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.

- Diaclasa 1 (N70W81S) y diaclasa 2 (N08E85N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 2 (N08E85N) y diaclasa 4 (N65E66N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 2 (N08E85N) y diaclasa 4 (N65E66N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 2 (N08E85N) y diaclasa 5 (N25E80N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 2 (N08E85N) y diaclasa 5 (N25E80N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 2 (N08E85N) y diaclasa 3 (N09W70S) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 2 (N08E85N) y diaclasa 3 (N09W70S) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 4 (N65E66N) y diaclasa 3 (N09W70S) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 5 (N25E80N) y diaclasa 3 (N09W70S) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 5 (N25E80N) y diaclasa 3 (N09W70S) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 5 (N25E80N) y diaclasa 4 (N65E66N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.

- Diaclasa 5 (N25E80N) y diaclasa 4 (N65E66N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

Estación 9.

En la estación se observa una falla planar definida por:

- Diaclasa 2 (N26E80N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.

También se observan 7 fallas cuneiforme definidas por:

- Diaclasa 1 (N85E80S) y diaclasa 5 (N15W52N) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N85E80S) y diaclasa 5 (N15W52N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N85E80S) y diaclasa 2 (N26E80N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N85E80S) y diaclasa 2 (N26E80N) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 3 (E-W55S) y diaclasa 2 (N26E80N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 3 (E-W55S) y diaclasa 2 (N26E80N) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 3 (E-W55S) y diaclasa 5 (N15W52N) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.

Estación 10.

En la estación se observan dos fallas planares definidas por:

- Diaclasa 1 (N60W85N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

- Diaclasa 4 (N25E48N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.

También se observan 9 fallas tipo cuneiforme definidas por:

- Diaclasa 1 (N60W85N) y diaclasa 4 (N25E48N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N60W85N) y diaclasa 5 (N30W vertical) en la cara Norte del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N60W85N) y diaclasa 5 (N30W vertical) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 1 (N60W85N) y diaclasa 2 (N10E65S) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 1 (N60W85N) y diaclasa 2 (N10E65S) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 5 (N30W vertical) y diaclasa 2 (N10E65S) en la cara Sur del pilar con orientación N35E.
- Diaclasa 5 (N30W vertical) y diaclasa 2 (N10E65S) en la cara Sur del pilar con orientación N55W.
- Diaclasa 5 (N30W vertical) y diaclasa 4 (25E48N) en la cara Norte del pilar con orientación N35E
- Diaclasa 5 (N30W vertical) y diaclasa 4 (25E48N) en la cara Norte del pilar con orientación N55W.

Los pilares inestables se podrán reforzar con una solución combinada de pernos con cable tal como se muestra en el esquema de la figura 22

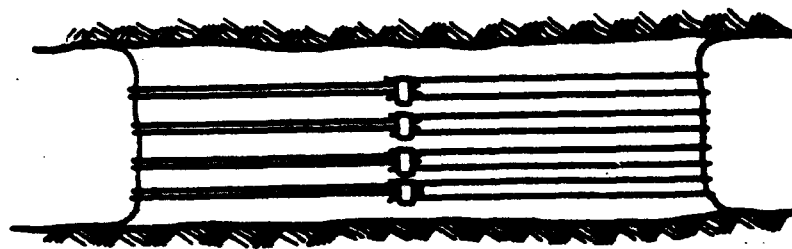
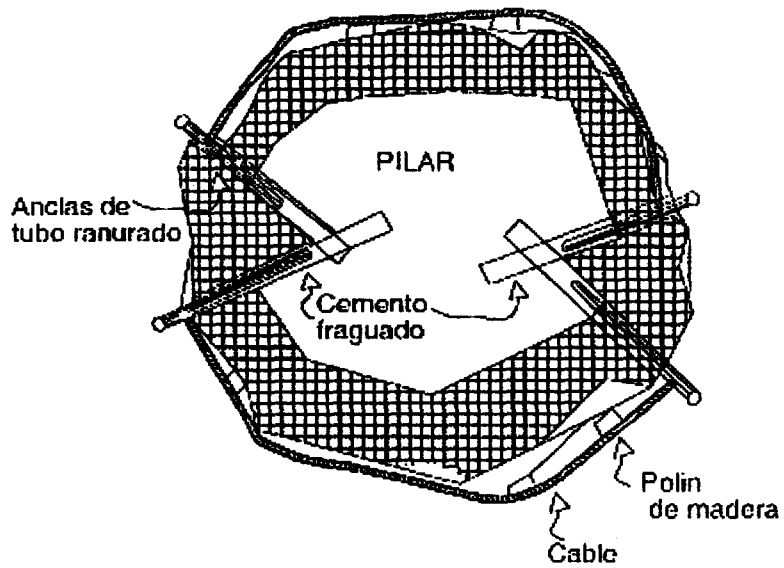
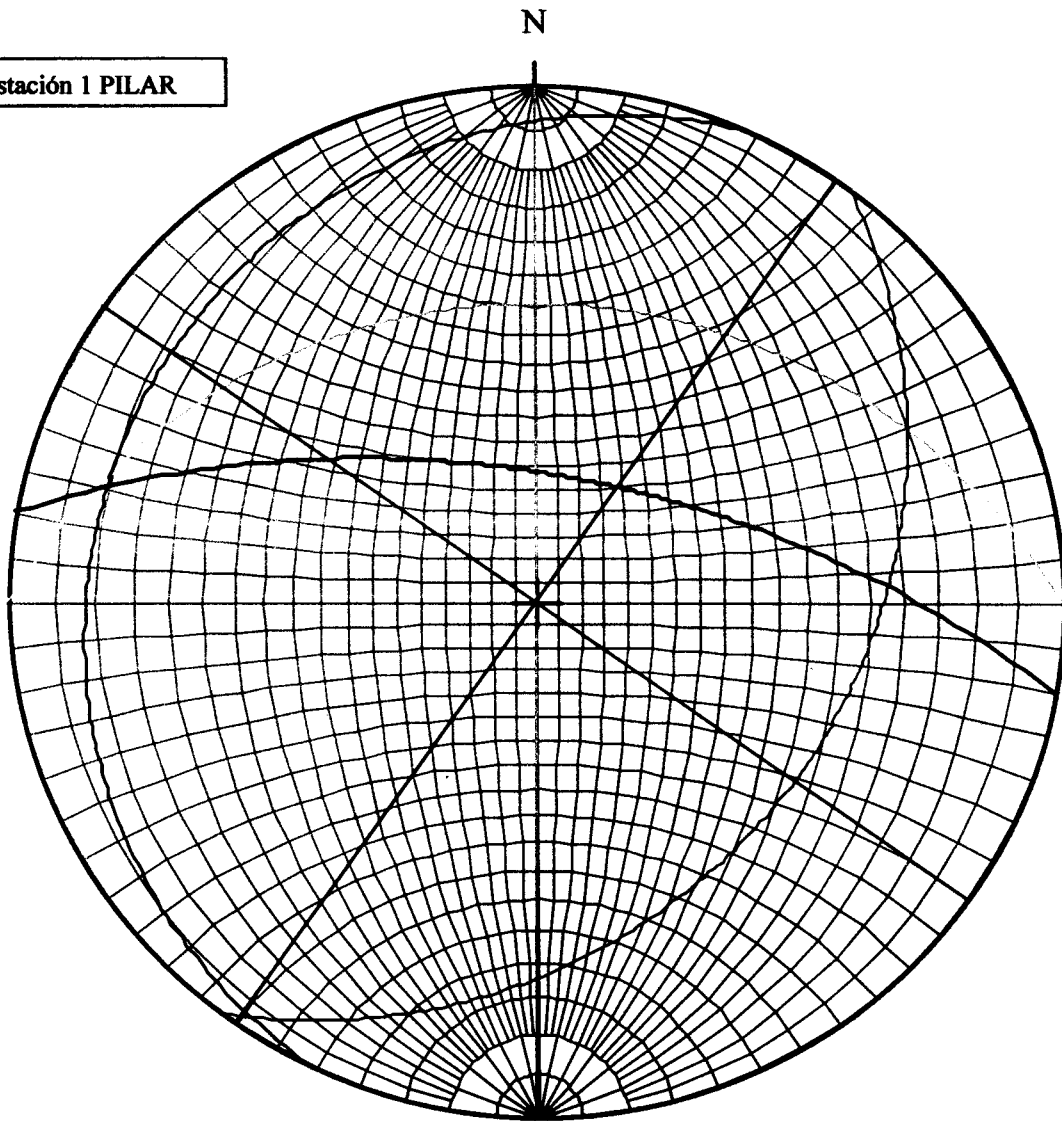


Fig. 22 Esquema de reforzamiento de pilar con perno y cable..

A continuación se presentan las proyecciones estereográficas que sirvieron de base a los análisis realizados.

PROYECCIONES ESTEREOGRÁFICAS PILARES

Estación 1 PILAR



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 7

Leyenda:

D1: N04W55N

D2: N55E80N

D3: N45W60N

D4: N45E20N

Cara de pilar con orientación N35E

Cara de pilar con orientación N55W

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

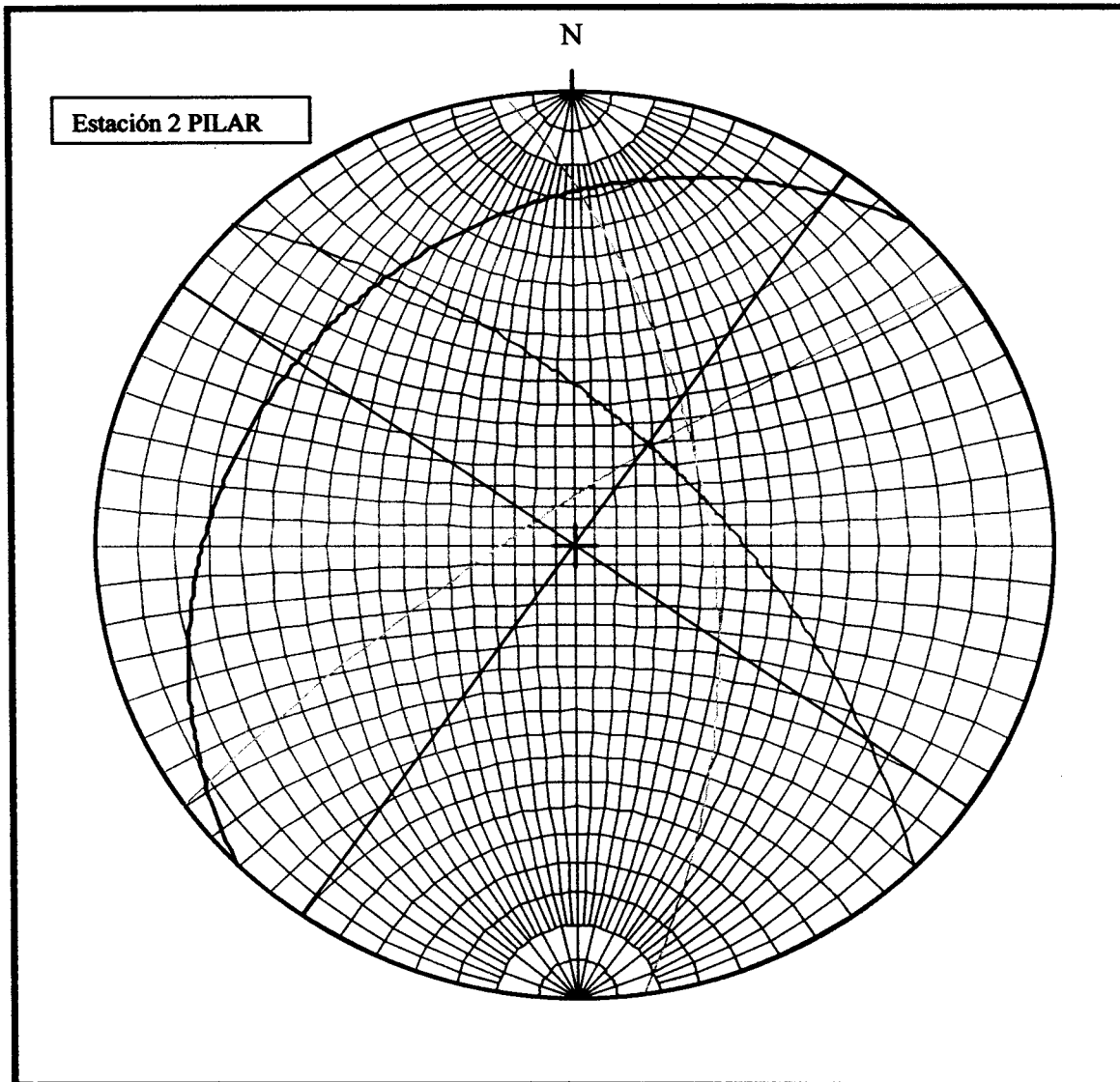
Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina

Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 6

Leyenda:

D1: N16W76S

D2: N56W58N

D3: N75E60N

D4: N60W45N

D5: N-S80E

Cara de pilar con orientación N35E

Cara de pilar con orientación N55W

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

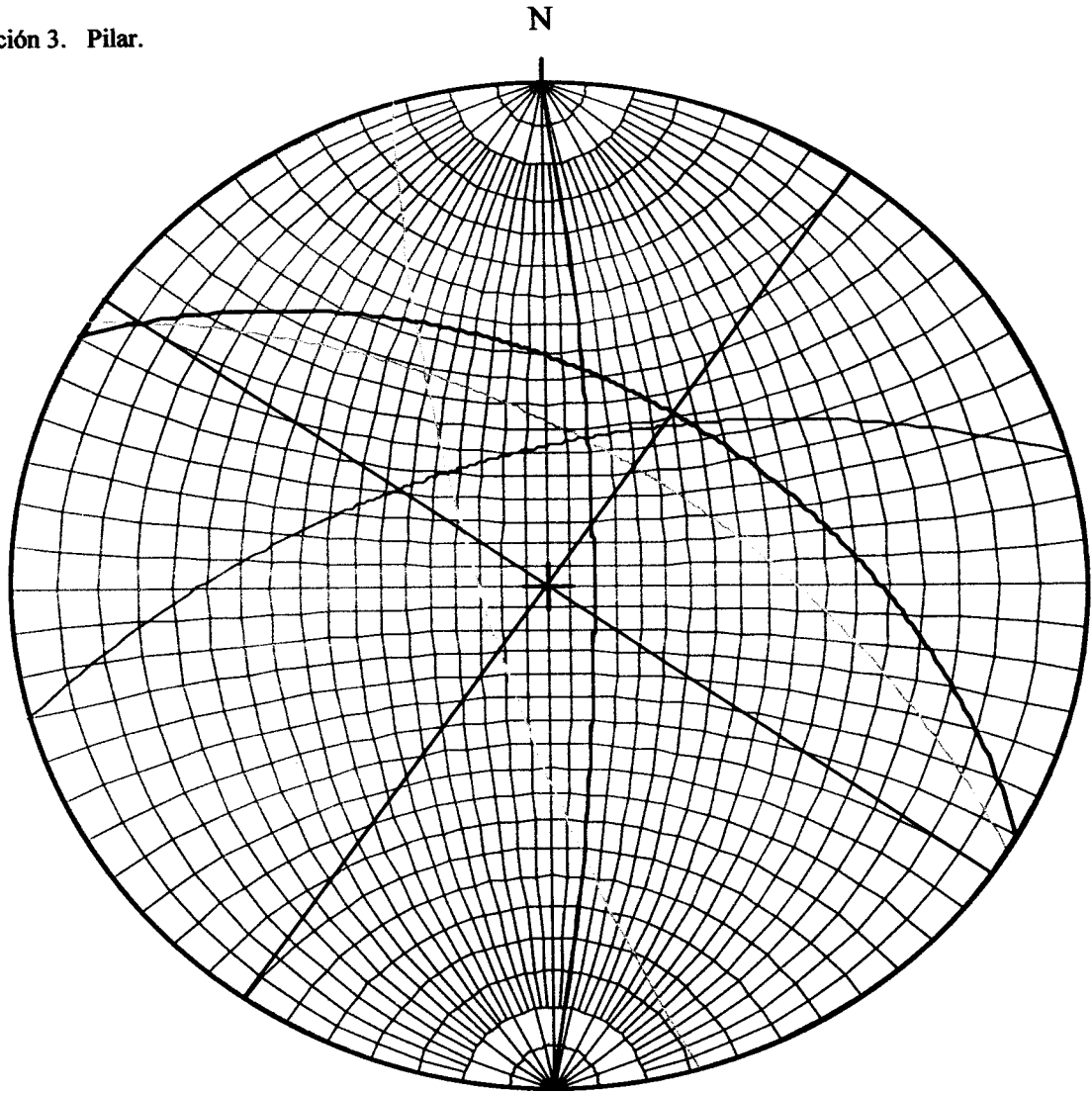
Proyecto:

Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina

Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002

Estación 3. Pilar.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 7

Leyenda:

D1: N17W65N

D2: N60W65N

D3: N75E 60N

D4: N60W 55N

D5: N - S 80E

Cara de pilar con orientación N35E

Cara de pilar con orientación N55W

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

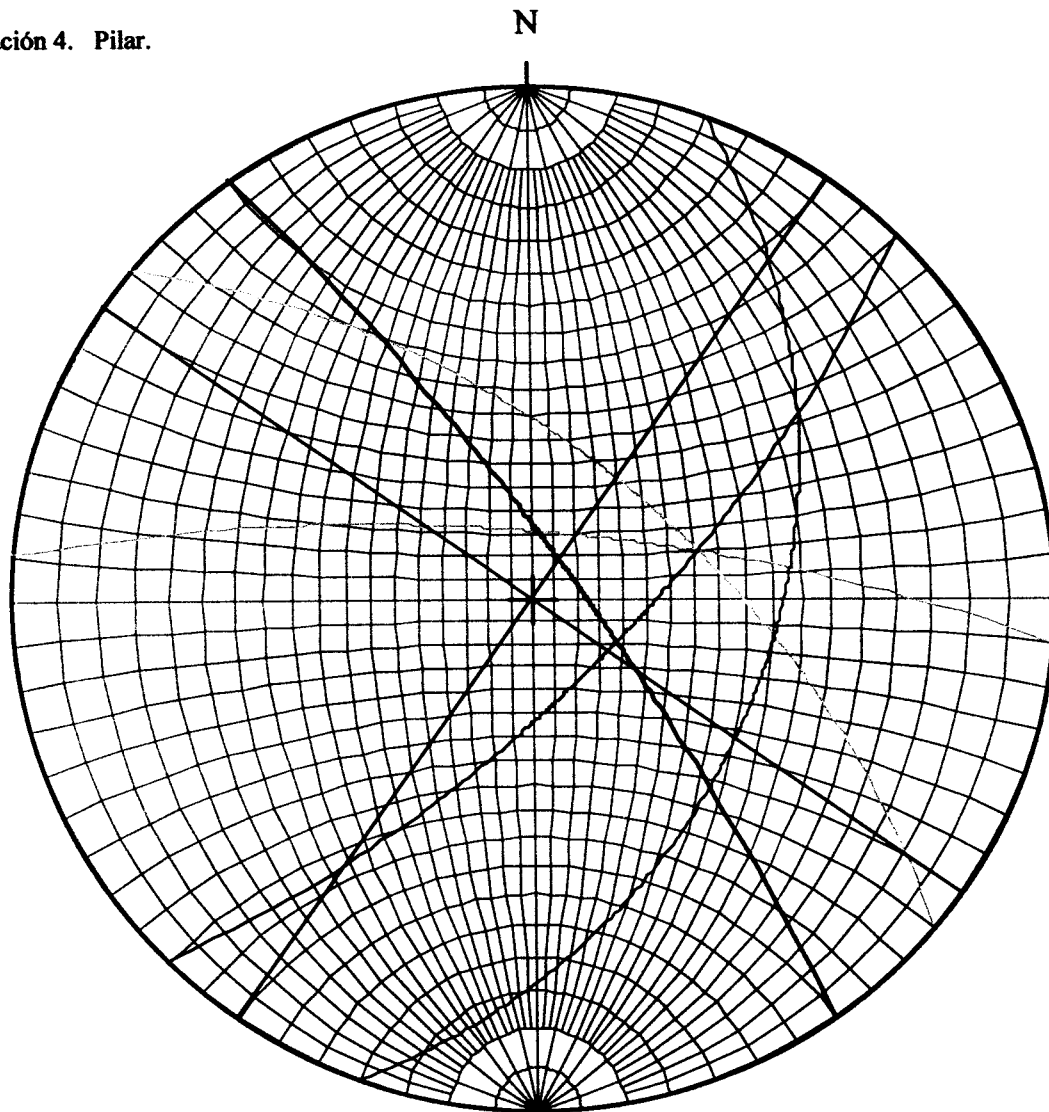
Proyecto:

Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina

Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002

Estación 4. Pilar.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 7

Leyenda:

D1: N50W85N

D2: N85W75N

D3: N20E40S

D4: N35W80N

D5: N45E70S

Cara de pilar con orientación N35E

Cara de pilar con orientación N55W

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

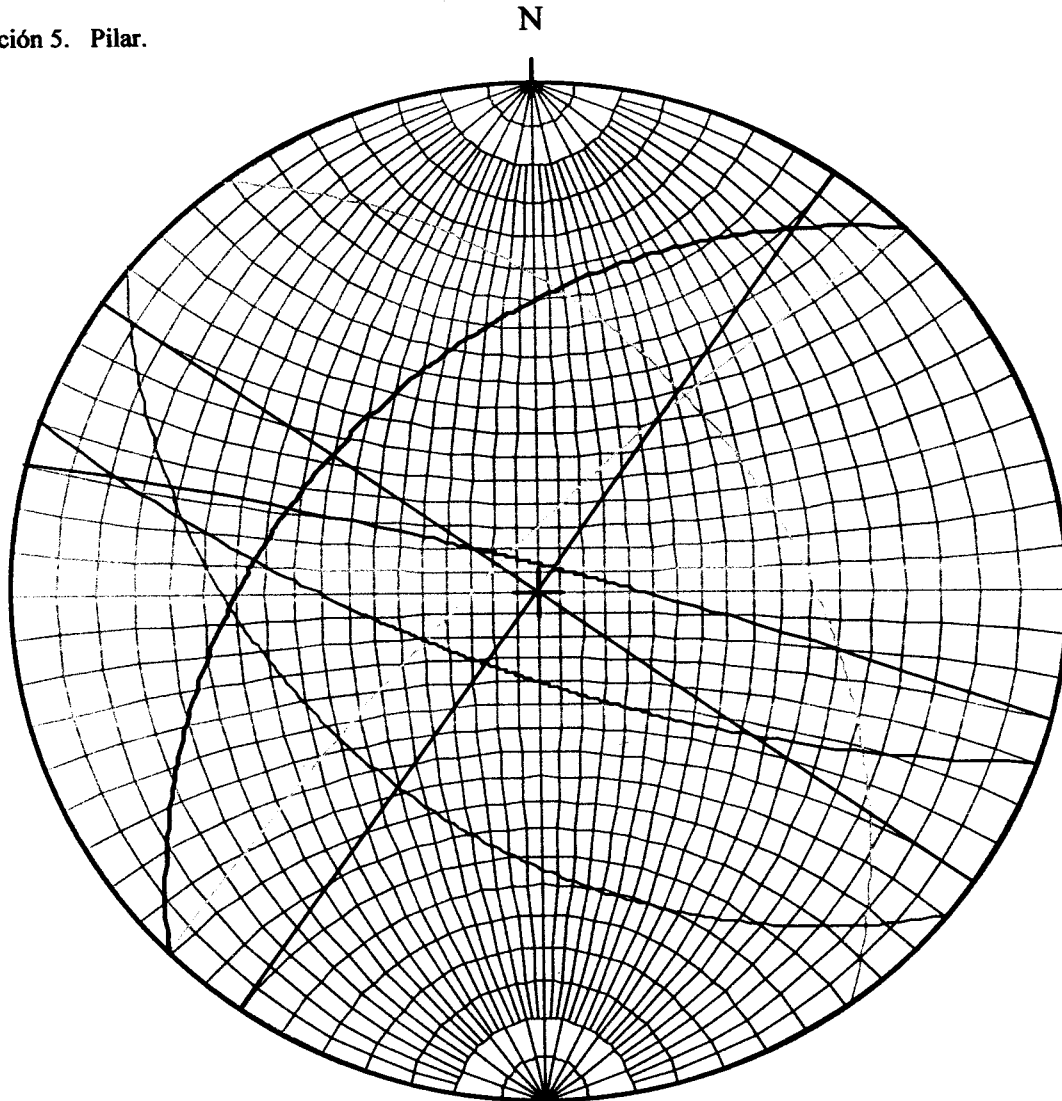
Proyecto:

Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina

Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002

Estación 5. Pilar.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 8

Leyenda:

D2: N36W40N
D3: N50W59S
D4: N45E40N
D5: N70W71S
D6: N75W84N
Cara de pilar con orientación N35E
Cara de pilar con orientación N55W

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

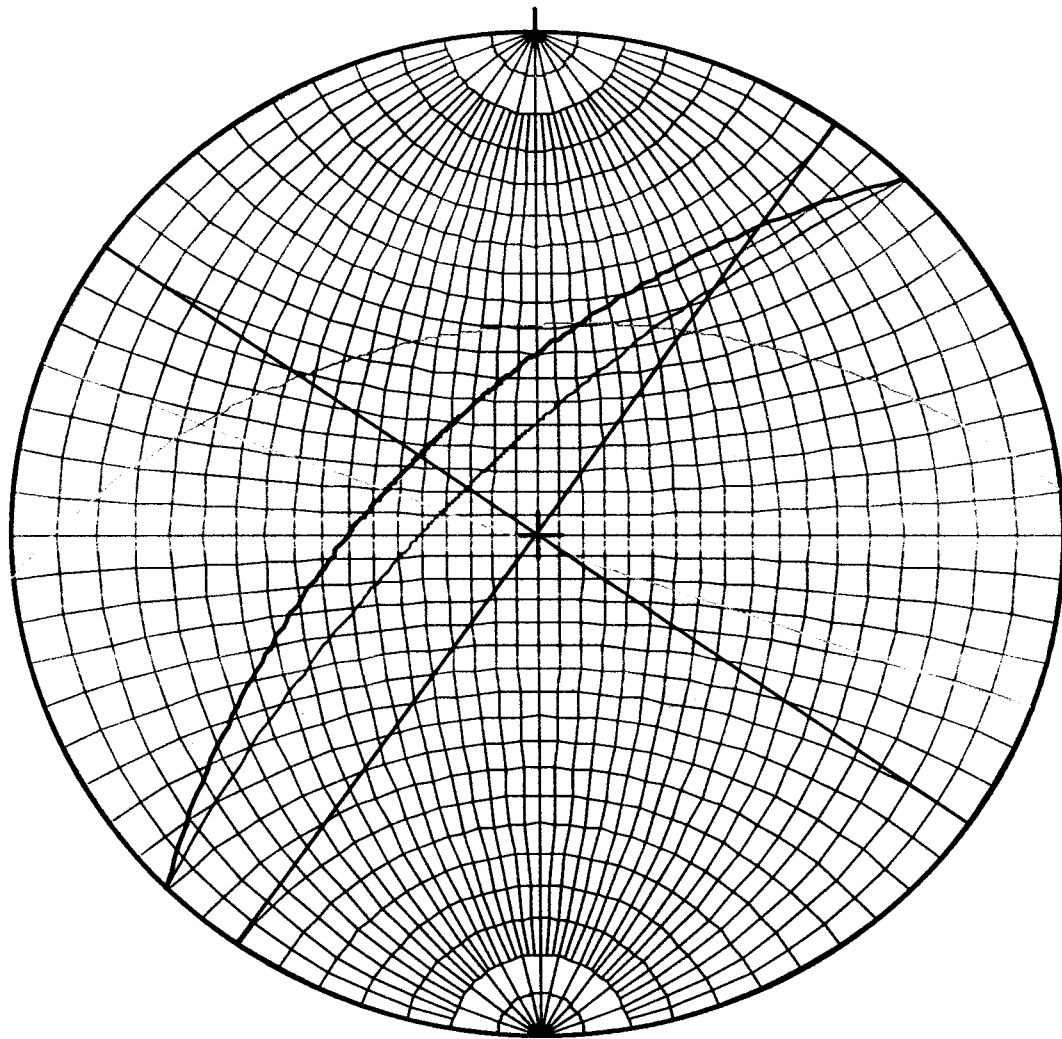
Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina

Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002

Estación 6. Pilar.

N



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 6

Leyenda

D1: N70W88S

D2: N85E45N

D3: N45E72N

D4: N45E60N

Cara de pilar con orientación N35E

Cara de pilar con orientación N55W

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

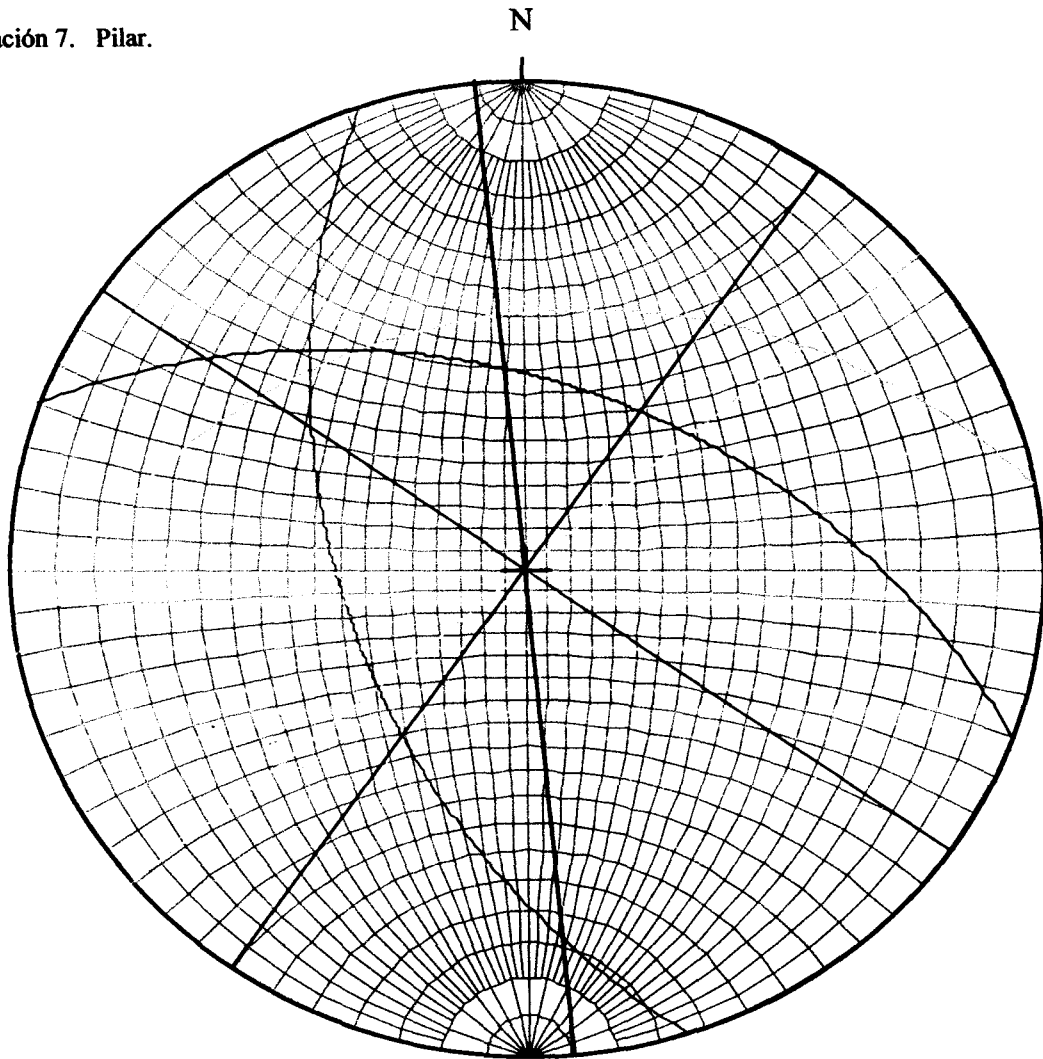
Proyecto:

Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina

Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002

Estación 7. Pilar.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 7

Leyenda:

D1: N55W vertical

D2: N80E35N

D3: N18W51S

D4: N05W vertical

D5: N70W48N

Cara de pilar con orientación N35E

Cara de pilar con orientación N55W

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

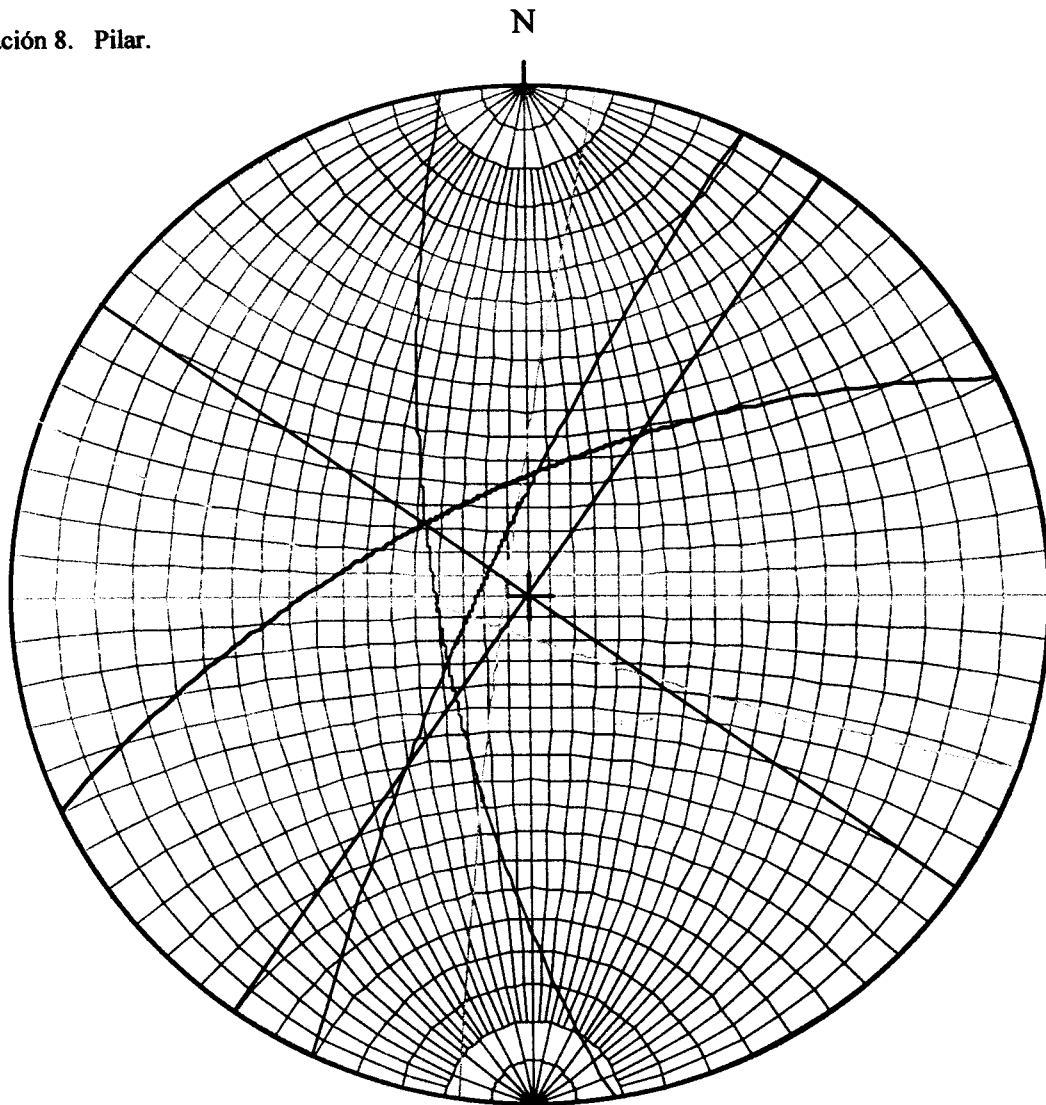
Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

**Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina
Colombia, Minerven, El Callao.**

Octubre, 2002

Estación 8. Pilar.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 7

Leyenda:

D2: N08E85N

D3: N09W70S

D4: N65E66N

D5: N25E80S

Cara de pilar con orientación N35E

Cara de pilar con orientación N55W

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

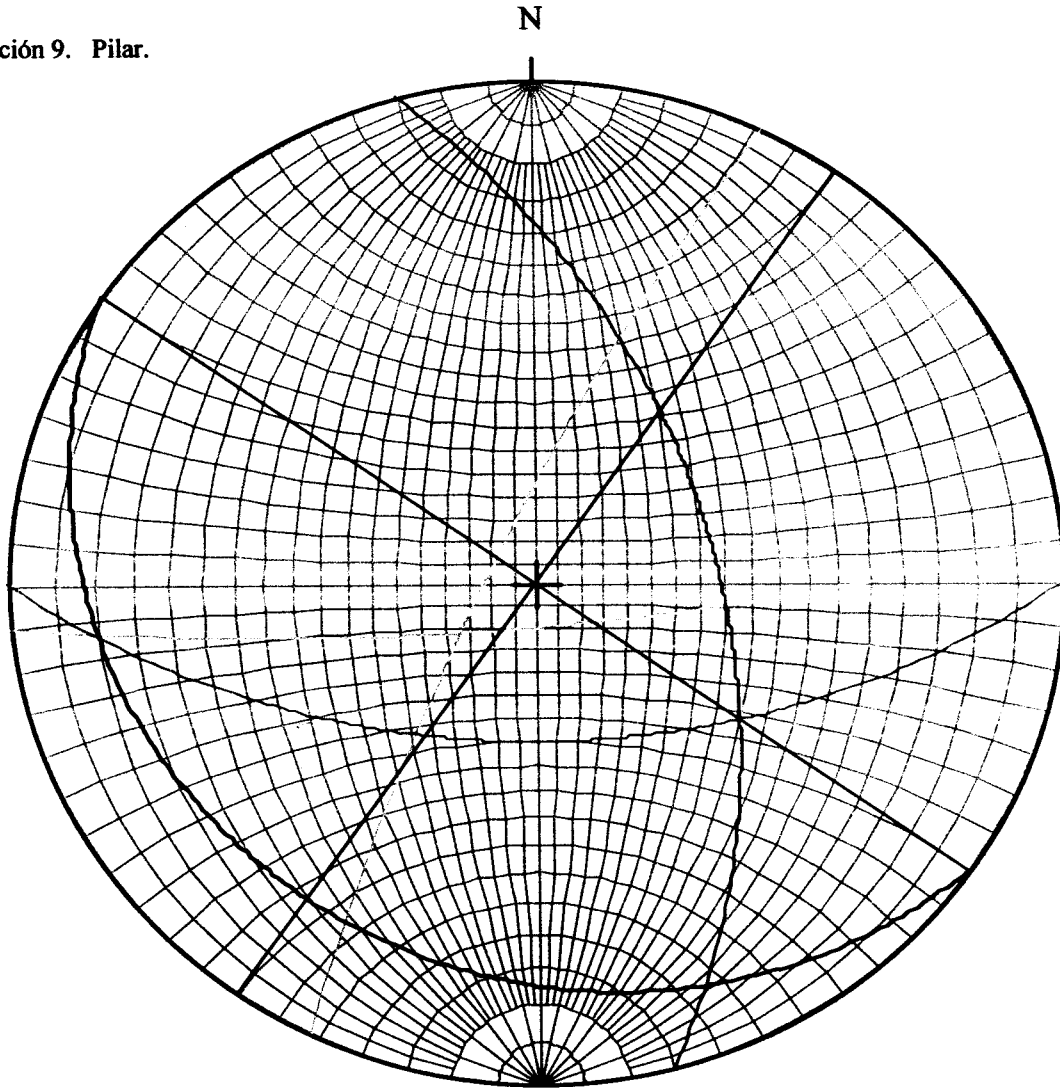
Proyecto:

Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina

Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002

Estación 9. Pilar.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 7

Leyenda:

D1: N55E80N

D2: N26E80N

D3: E-W55S

D4: N55W15S

D5: N15W52N

Cara de pilar con orientación N35E

Cara de pilar con orientación N55W

Universidad Central de Venezuela

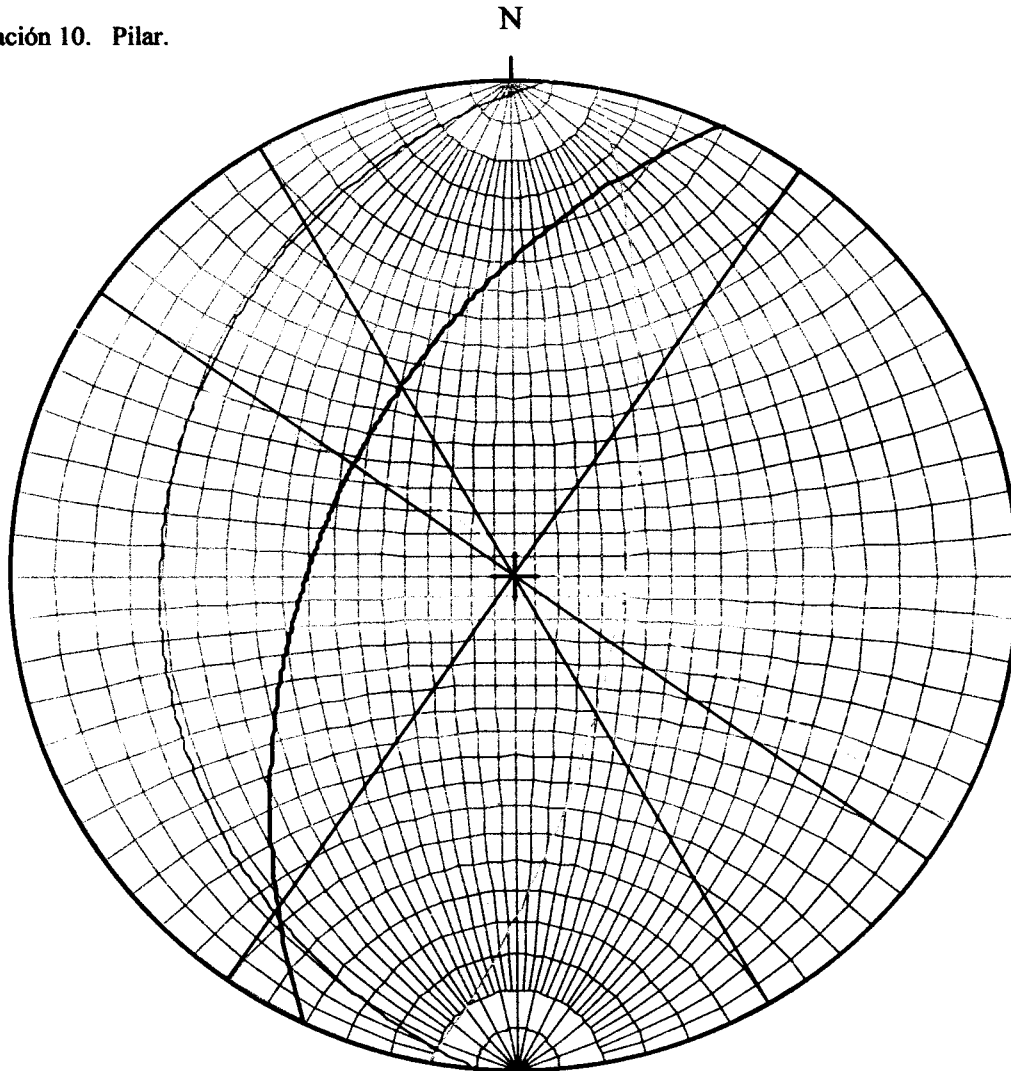
Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

**Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina
Colombia, Minerven, El Callao.**

Estación 10. Pilar.



Key

Lower Hemisphere Wulff (Equal Angle)

Data Plotted as Planes Total Number of Points = 7

Leyenda:

D2: N10E65S

D3: N05E20N

D4: N25E48N

D5: N30W Vertical

Cara de pilar con orientación N35E

Cara de pilar con orientación N55W

Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Minas

Proyecto:

Caracterización Geomecánica del Nivel 6, Mina

Colombia, Minerven, El Callao.

Octubre, 2002

7. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMAS DE REFORZAMIENTO

La propuesta de sostenimiento y fortificación deberá estar orientada a resolver los problemas de inestabilidad y caída de bloques en la mina, con base en los siguientes criterios:

- **Tecnología Probada**

Se deberá usar Tecnologías de reforzamiento probadas, con las cuales se hayan obtenido resultados exitosos en otros centros mineros, que presenten condiciones similares a las existentes en la mina Colombia y que tengan como principal función el refuerzo de estructuras.

- **Condición Estructural**

La evaluación visual a las excavaciones del Nivel 6, permite afirmar que los principales factores que controlan la estabilidad de las excavaciones son de naturaleza estructural, se pudo observar que el yacimiento posee un sistema de estructuras geológicas, con distintas orientaciones, que se interceptan formando bloques y planos sub horizontales, que pueden colapsar al quedar expuestos en la periferia de la excavación, por lo tanto los sistemas deben estar orientados al refuerzo de estructuras, mejorando la fricción de las discontinuidades.

7.1 PROPUESTAS DE MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN.

Los objetivos de los mecanismos de estabilización son los siguientes:

- ❖ Mantener estable galerías con 10 m de luz, soportadas por pilares de 6 m de alto, y de 5.0 m x 5.0 m (Room and Pillar).
- ❖ Estabilizar los techos de galerías, en las áreas abiertas que no presentan mineralización
- ❖ Controlar posibles inestabilidades por condiciones estructurales, en pilares para mantenerlos estables y seguros.

En base a las consideraciones antes expuestas, se propone como solución, el reforzamiento y fortificación de las cámaras por medio de un apernado sistemático. Los pernos podrán tener hasta 2.50 metros de longitud y se deberán colocar con un patrón reticular de 1,5 por 1,5 metros. El patrón propuesto podrá ajustarse en sitio de acuerdo al comportamiento del macizo rocoso.

Seguidamente se describen las principales características de los pernos recomendados.

Perno cable: Es un sistema para el refuerzo de estructuras y para la estabilización de **grandes volúmenes de rocas**. El tipo estándar de cable tiene 15.2 mm de diámetro, 7 hebras y capacidad de ruptura mecánica de 28 ton. Fig 22.

Los cables pueden ser instalados cementados a columna completa, no tensionados o tensionados según la función que se requiere que cumplan. En el caso de mina Colombia, una pretensión será adecuada para comprimir un poco la zona.

Ventajas: Su ventaja en minería subterránea radica en su flexibilidad, lo cual permite la instalación de cables largos en áreas pequeñas, puede ser dimensionado con facilidad, es

económico, tiene una alta capacidad de soporte, **es un sistema permanente** y de larga duración, resistentes a la corrosión.

Recomendación de Aplicación: Se recomienda su aplicación en el refuerzo de la zona mineralizada bajo el concepto de pre-refuerzo, ver Fig 23 **Tipo de Cable recomendado:**

Cable liso de 0.6" de diámetro calidad 270 k, ASTM A416

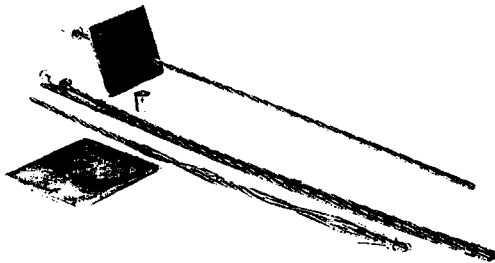


Fig 22 Perno cable

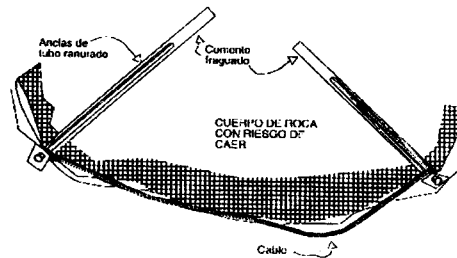


Fig 23 Esquema de aplicación

Perno helicoidal: Son elementos estructurales, de anclaje continuo, fijados a la roca en toda su longitud, con cemento o resina, se utilizan para reforzamiento temporal o permanente bajo diversas condiciones estructurales y tipo de rocas. El tipo estándar es de acero estriado con 20 mm de diámetro y resistencia mecánica de ruptura superior a 19 ton. Ver Fig 24.

Ventajas: La principal ventaja es que son elementos de soporte, simples, económicos y fáciles de instalar.

Recomendación de Aplicación: Se recomienda su aplicación en los techos en áreas que no serán explotadas a futuros o en zonas ya explotadas como refuerzo permanente. En áreas de pilares pueden utilizarse para amarrar estructuras y para ello es recomendable anclarlos con resina o cemento, así como también en zonas afectadas por las vibraciones de las voladuras.

Tipo de perno recomendado: Perno Helicoidal grado 75 o 22 mm grado 60 ASTM A615

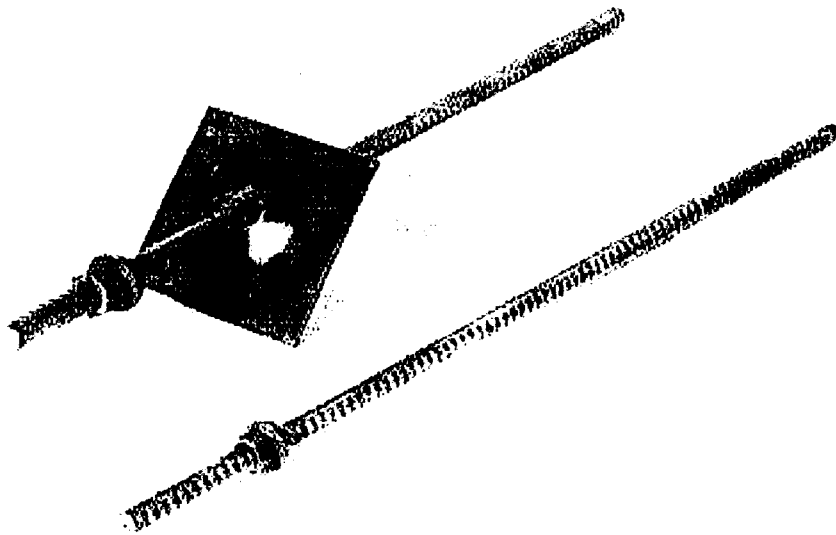


Fig 24 Perno Helicoidal

Pernos de fricción: Son elementos tipo tubo metálico ranurado, los que son fijados a la roca por efecto de la fricción que se produce entre el perno y la pared de la perforación. Este tipo de refuerzo no requiere de otros elementos adicionales de anclaje, tales como cemento o resina. El tipo estándar es un tubo de acero ranurado longitudinalmente de 39 mm de diámetro y resistencia mecánica a la ruptura de 12 ton. Fig. 25

Ventajas: Este tipo de anclaje presenta como ventaja su economía, una fácil instalación y la capacidad de entregar una capacidad de soporte inmediata una vez instalado.

Recomendación de Aplicación: Se recomienda aplicar este tipo de refuerzo en galerías en desarrollo o en refuerzo de pilares en conjunto con malla. Se puede aplicar como un soporte temporal y en áreas que presentan medios deformables o sometidos a vibraciones por voladuras.

Tipo de perno recomendado: Perno de fricción tipo Split Set o similar de 40 mm de diámetro en acero ASTM A 605 - grado 60 clase 1.

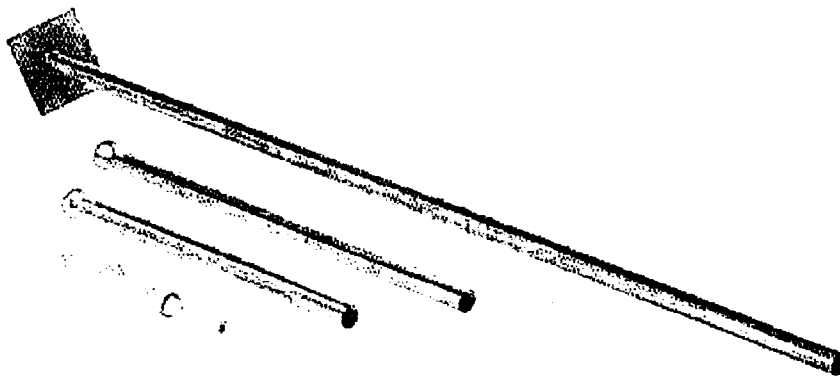


Fig. 25 Perno de fricción

8. INSTRUMENTACIÓN.

Para verificar la forma en que está trabajando el sistema de soporte o reforzamiento diseñado en una excavación subterránea, se necesita de un sistema de monitoreo continuo en el tiempo, para evaluar hasta qué punto la solución de estabilización utilizada es eficiente o requiere de algunos ajustes, sobre la marcha, debido a la dinámica de la explotación.

Para el control de convergencias, o movimientos relativos entre puntos de la sección transversal, se han desarrollado numerosos equipos y sistemas, que van desde la propia cinta métrica hasta los más sofisticados convergencímetros eléctricos y automáticos.

Para la determinación de los esfuerzos en sitio existe una gran variedad de alternativas disponibles: celdas eléctricas, celdas hidráulicas, celdas Carlson, celdas de cuerda vibrante, medidores de presión extensométricos, etc.

Estos sistemas permiten estar informado en todo momento y pueden servir como fuente de alarma para posibles desprendimientos mayores y deberán ser cuidadosamente seleccionados en función de las características geomecánicas del macizo estudiado y de las propias características del equipo, en consecuencia se propone diseñar un **Plan de Instrumentación y Monitoreo** que permita hacerle seguimiento a los esfuerzos y a la deformación y permitan implementar medidas preventivas y correctivas del sistema de reforzamiento y fortificación utilizado.

9. CONCLUSIONES.

- En la Mina Colombia, concesión de C.V.G-Minerven, afloran rocas características de la Formación El Callao. Se observaron rocas que macroscópicamente son andesitas porfídicas, en algunos casos se observaron rocas de granulometría tan gruesa que pudiese tratarse de dioritas.
- La mineralogía de las rocas encontradas se resume de la siguiente manera: Plagioclasas (andesina) 60%, Calcita (alteración de plagioclasas)15%, Pirita10%, Epidoto (alteración de plagioclasas)5%, Sericita (alteración de plagioclasas) 5%, Feldespatos potásicos (microclino)5%, Muscovita <1%, Apatito<1%.La Clasificación geomecánica según Bieniawski ubica las rocas como clase III a Clase II con RMR variando entre 50 y 65.(media a buena).
- El parámetro Q de Barton varió entre 19,26 y 38,10 lo que clasifica la calidad del macizo como regular a buena.
- El Índice de Resistencia Geológica (GSI) de Hoek para el macizo rocoso está entre 50 y 65, lo que lo clasifica como medianamente resistente. Los constantes de Hoek para el macizo rocoso son: $m_b = 5.011$; $s = 0.0067$ y $a = 0.504$.
- Los parámetros geotécnicos de Coulomb para el macizo rocoso (cohesión y ángulo de fricción interna (c y ϕ)) fueron obtenidos a partir del Criterio de Hoek-Brown y entregaron los siguientes valores $c = 1.978$ Mpa $\phi = 51.84^\circ$.
- La resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta promedio es 754 kg/cm^2 , la densidad promedio es de $2,9 \text{ ton/m}^3$.

- El tiempo de autosostenimiento según Barton y Bieniawski o efecto puente en las cámaras varía entre 100 horas y 1000 horas con espaciamiento entre soportes de tres (3) metros.
- Los parámetros geomecánicos de Hoek para la masa de roca son los siguientes: La resistencia a la tracción $T_0 = -0.101$ Mpa. Resistencia compresiva uniaxial del macizo rocoso = 6.033 Mpa. Resistencia global = 22.552 Mpa. Módulo de deformación axial = 11548.63 Mpa.
- A la luz de los parámetros descritos anteriormente se concluye que el macizo es de calidad media.
- La evaluación visual a las excavaciones del nivel 6, permite establecer que uno de los principales factores que controlan la estabilidad de las excavaciones es la condición estructural.
- El yacimiento posee un sistema de estructuras que se interceptan formando bloques y planos subhorizontales que pueden colapsar al quedar expuestos en la periferia de la excavación, por lo tanto los sistemas deben estar orientados al refuerzo de estructuras principalmente mejorando la fricción de las discontinuidades.
- El techo de las cámaras es inestable, producto de la interacción entre las distintas discontinuidades y la alta frecuencia lo que genera la formación de bloques de distintos tamaños, los principales mecanismos de falla son caída de bloques por gravedad y por deslizamiento a lo largo de planos.
- Las caras de los pilares se analizaron utilizando las proyecciones estereográficas y en su gran mayoría presentan condiciones de inestabilidad.

- Se detectó un sistema de diaclasa compuesto por seis (6) familias de diaclasas con frecuencia promedio de 5:1. La superficie de las discontinuidades se presenta rugosa, escalonada, con aberturas de un (1) mm, sin relleno.
- Como resultado del monitoreo introsópico con la cámara de infrarrojo de los pilares se puede destacar la ausencia de fracturas nuevas importantes inducidas por la explotación o el desarrollo de las galerías que conforman el sistema de explotación. Sin embargo, la presencia de gran cantidad de vetillas con orientación subparalelas y subverticales al eje de la perforación monitoreada formando un sistema del tipo stockwork y formando bloques de distintos tamaños con caras paralelas o subparalelas al techo de las cámaras, configuran una situación de inestabilidad por la posible caída de planchones de tamaño importante,

10. RECOMENDACIONES.

- En base a las consideraciones antes expuestas, se propone como solución, el reforzamiento y fortificación de las cámaras por medio de un apernado sistemático. Los pernos podrán tener hasta 2.50 metros de longitud y se deberán colocar con un patrón reticular de 1,5 por 1,5 metros. El patrón propuesto podrá ajustarse en sitio de acuerdo al comportamiento del macizo rocoso.
- Frente a presencia de cuñas pequeñas y medianas es recomendable el uso de pernos de fricción o helicoidales.

- En el caso de presencia de grandes cuñas, se recomienda el empleo de cables inyectados que conjuntamente con pernos, forman un apropiado sistema de reforzamiento y sostenimiento.
- Se recomienda definir un sistema de fortificación en el área mineralizada que permita su explotación ascendente segura en galerías de 10 m de luz.
- Definir un sistema para estabilizar los techos de galerías en las áreas abiertas que no presenten mineralización por medio de pernos y malla.
- Controlar posibles inestabilidades por condiciones estructurales en pilares para mantenerlos estables y seguros, utilizando pernos de fricción combinados con cables.
- En las galerías que han presentado sobre excavaciones importantes, y que podrían afectar la estabilidad del puente de mineral sobre los cuales se efectuaran los trabajos de explotación, se recomienda mantener una vigilancia permanente y cuidadosa, a futuro podría requerirse de algún sistema de monitoreo, especialmente por la profundidad a la cual se encuentran las actuales actividades de explotación.
- Los sistemas de monitoreo permiten estar informado en todo momento y pueden servir como fuente de alarma para posibles desprendimientos mayores y deberán ser cuidadosamente seleccionados en función de las características geomecánicas del macizo estudiado y de las propias características del equipo, en consecuencia se propone diseñar un **Plan de Instrumentación y Monitoreo** que permita hacerle seguimiento a los esfuerzos y a la deformación y permitan implementar medidas preventivas y correctivas del sistema de reforzamiento y fortificación utilizado.

- Así mismo se deben implementar sistemas de medición de esfuerzos en sitio por medio de celdas de presión.
- Estabilizar las caras inestables de pilares por medio de pernos de fricción con superficie ranurada. (Split Set)
- Se recomienda el modelamiento continuo utilizando metodologías numéricas como herramienta para evaluar la estabilidad local de las excavaciones y pilares, en las distintas etapas del proceso de explotación con y sin sistema de sostenimiento o reforzamiento. Se recomienda llevar un control mediante chequeos periódicos y tratando de llevar una base de datos para evaluar la evolución de los desprendimientos menores que en la actualidad se presentan.
- Se recomienda efectuar pruebas de control de calidad a los materiales constitutivos de los sistemas de empernado.
- Hacer un seguimiento y monitoreo del comportamiento de las soluciones recomendadas a fin de hacer ajustes al patrón propuesto.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENAÍM, N. (1972). Geología de la región de Botanamo, edo. Bolívar. En: IV Congreso Geológico Venezolano. Caracas, 1971. Memoria. Publicación Especial 5, v.3; p. 1291-1314.
- BOSMA, W.; KROONENBERG, S.; MAAS, K. and DE ROEKS, E. (1983). Igneous and metamorphic complexes of the Guiana shield in Suriname. In: Geologic in Mijnbouw. V.62; p. 241-254.
- GIBBS, A.; O'DA, P. and RENNER, R. (1984). Recent work on the Barama-Mazaruni Supergroup og Guyana: Symposium Amazónico, 2d., Manaus, Brazil, 1984, Anais; p. 39-52.
- GIBBS, A. and WIRTH, K. (1986). Origin and evolution of the Amazonian craton. In: Ashwald, L. D. ed., Workshop on early crustal genesis; World's oldest rocks: Godthob, Greenland, July 21-30, 1985, LPI technical report, v. 86-04; p.46-50.
- DAY, W.; FRANCO, L. and QUINTANA, E. (1989). Bedrock geology and geochemistry of the Anacoco Sur II area, Bolívar state, Venezuela. In: U.S. Geological Survey open file report 89-305; 14 p.
- DAY, W.; TUSDAL, R.; ACOSTA, E.; ARUSPON, J.; CARVAJAL, L.; CEDEÑO, E.; LOWRY, G.; MARTÍNEZ, L.; NORIEGA, J.; NÚÑEZ, F.; ROJAS, J. and PRIETO, F. (1995). Geology of the Lo Increíble mining district and U-Pb age of the Early Proterozoic Yuruari Formation of the Pastora Supergroup, Guayana Shield, Venezuela. In: Geological and mineral deposits of the Venezuelan Guayana shield. U.S. Geological Survey Bull. 2024-E; p. E1-E13.
- MENÉNDEZ V. DE V., A. (1968). Revisión de la estratigrafía de la Provincia de Pastora según el estudio de la región de Guasipati, Guayana venezolana: Boletín de Geología, Caracas, V.10, #19; p. 309-338.
- MENÉNDEZ V. DE V., A. (1972). Geología de la región Guasipati, Guayana venezolana. En: IV Congreso Geológico Venezolano. Caracas, 1971. Memoria. Publicación Especial 5, v.4; p. 2001-2046.
- MENÉNDEZ V. DE V., A. (1974). Guía de la excursión geológica Guasipati-El Callao-Canaima. En : IX Conferencia Geológica Inter-Guayanas, Ciudad Guayana, Venezuela, 1972. Memoria. Publicación Especial 6; p. 49-67.
- TOSIANI, T. y SIFONTES, R. (1989). Asociación de rocas máficas-ultramáficas en la región de Cerro Piedra del Supamo, sur de El Callao, este de Bolívar, Venezuela. En: VII Congreso Geológico Venezolano, Barquisimeto, Venezuela, 1989. Memoria, V.1; p. 163-174.
- SIDDER, G. AND MENDOZA, V. (1995). Geology of the Venezuelan Guayana Shield and its relation to the geology of the entire Guayana Shield. In: Geological and mineral deposits of the Venezuelan Guayana shield. U.S. Geological Survey Bull. 2024-E; p. B1-B41.

12. BIBLIOGRAFIA.

- B.H. Brady & E.T. Brown (2004). "Rock mechanics for underground mining" . Chapman & Hall. Second Edition
- Hoek & Bray (1990). "Rock slope engineering"
- Hoek & Brown (1980) "Underground excavation in rock"
- Perri, G. (1990). "Diseño geotécnico de túneles" Edit. Innovación Tecnológica
- Perri, G (1998) "Geomecánica de los túneles: una visión pragmática". Boletín de la Sociedad Venezolana de Geotecnia. N° 74.
- Perri, G (1998) " Características de resistencia de los macizos rocosos y uso del GSI para evaluar las cargas sobre los túneles poco profundos excavados en roca" . Boletín de la Sociedad Venezolana de Geotecnia. N° 74.
- T. R. Stacey & C.H. Page (1986) "Practical handbook for underground rock mechanics"
Series in soil & rock mechanics. V12. Transtech
Publication.
- Parker, Jack (1990) "Practical rock mechanics for mining: The logical way to design pillar"
- Stillborg, Beng (1986) "Professional users handbook for rock bolting"
Series in soil & rock mechanics. V15. Transtech Publication.

ANEXO
PETROGRAFIA

ANÁLISIS PETROGRÁFICO

PETROGRAFÍA ÍGNEA

Petrografía por :Ricardo Alezones
Sección fina: Muestra de mano

Fecha :05/08/2002

Texturas Ígneas : Porfirítica (pirita, plagioclasas); zonación en plagioclasas

CRISTALINIDAD

- Holocristalina
- Hipocristalina
- Holohialina

FÁBRICA

- Equigranular
- Idiomórfico
- Hipidiomórfico

GRANULARIDAD

- Fanerítica
- Afanítica

Inequigranular

- Seriado
- Porfirítico

Tamaño de grano promedio : 0.28 mm Máximo : 1.45 mm
Mínimo : 0.196 mm

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

- | | |
|--|--|
| 1) <u>Plagioclasa (andesina)</u> 60% (E) | 2) <u>Calcita (alteración)</u> 15% (E) |
| 3) <u>Epidoto (alteración)</u> 5% (E) | 4) <u>Sericita</u> 5% (E) |
| 5) <u>Feldspatos (Microclino)</u> 5% (E) | 6) <u>Pirita</u> 10 % (E) |
| 7) <u>Muscovita</u> <1% (T) | 8) <u>Apatito</u> <1% (T) |
| 9) _____ % () | 10) _____ % () |

I.C. = 10

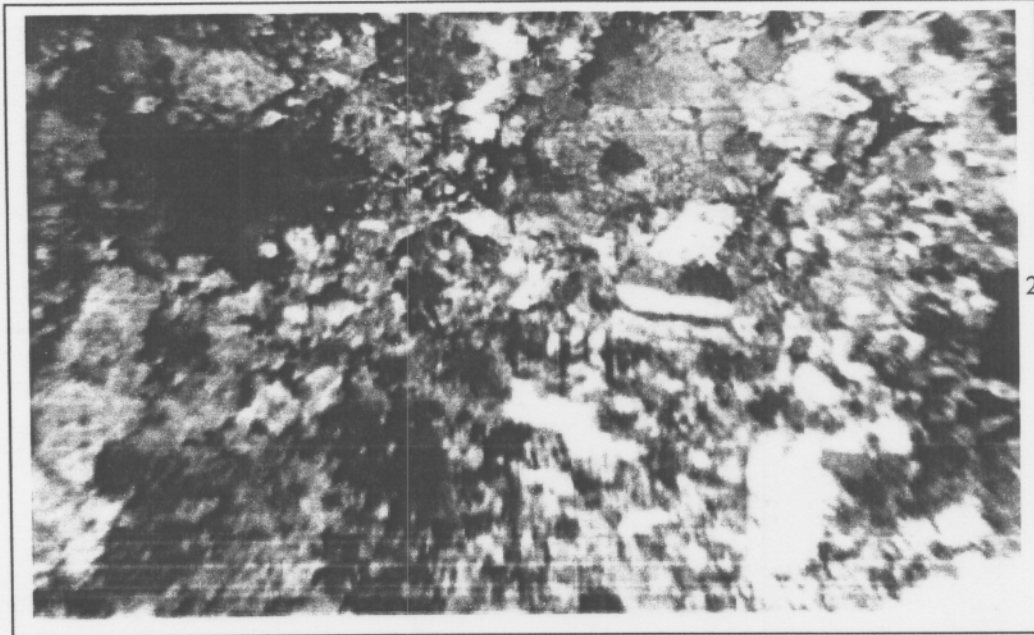
A = 8%

P =

Q/F= 0%

NOMBRE DE LA ROCA: Diorita porfídica

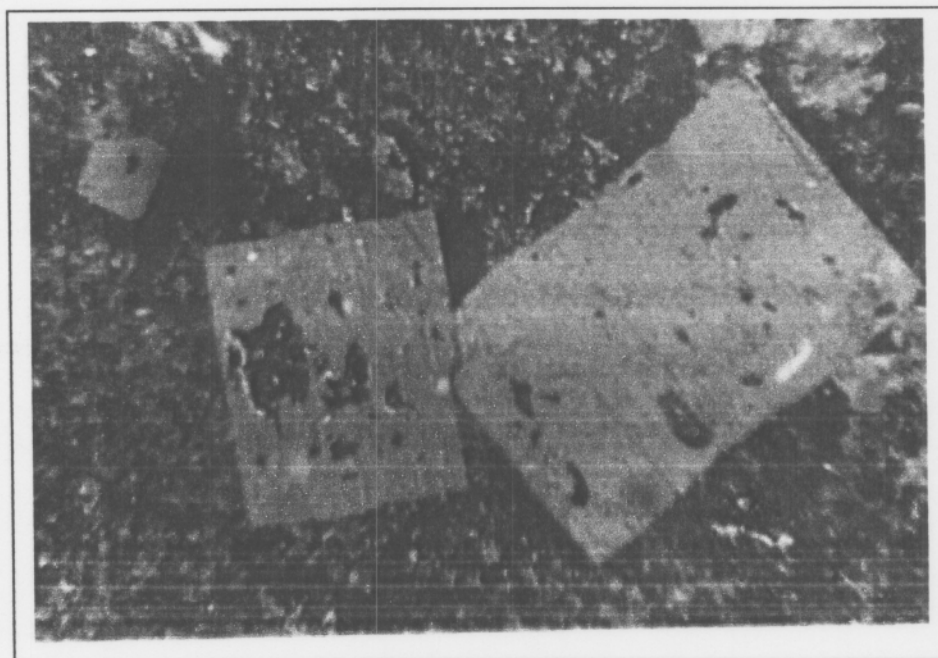
Fotomicrografías de muestra de mano: Foto 1- Se observa el maclado polisintético típico de las plagioclasas (en esta caso, andesinas). Vale la pena destacar que el alto porcentaje de anortita, más del 50%, permite tal grado de alteración en estas muestras. En la misma foto puede observarse la alteración de los cristales de plagioclasas a epidoto y a calcita. Foto 2- cristal de pirita cúbico y presencia de cristales de muscovita (filosilicato). La presencia de estos cristales laminares en esta muestra está relacionada a la presencia de pirita. Foto 3- Cristales cúbicos de pirita bajo la luz reflejada. Muestran su típico color amarillo latón. Pueden observarse pequeños puntos más brillantes, los cuales se pueden interpretar como puntos de oro. Estos cristales de pirita son de tamaño mucho mayor que todo aquello que los rodea por lo que muestran la típica textura porfídica; es de hacer destacar que en esta fotomicrografía se notan los tamaños más pequeños de la sección (correspondientes a plagioclasas con un tamaño inferior a 0,196 mm) y los tamaños más grandes (pórfidos de pirita de más de 1,40 mm de longitud). Foto 4- En esta fotomicrografía se muestra el paso de plagioclasas a sericita, epidotos y calcita.



Fotomicrografía 1. Plagioclasa con su típico maclado polisintético, rodeada de cristales de calcita y de epidoto. Objetivo 4/0.12. Ocular 12.5X. Nícoles cruzados. Muestra de mano

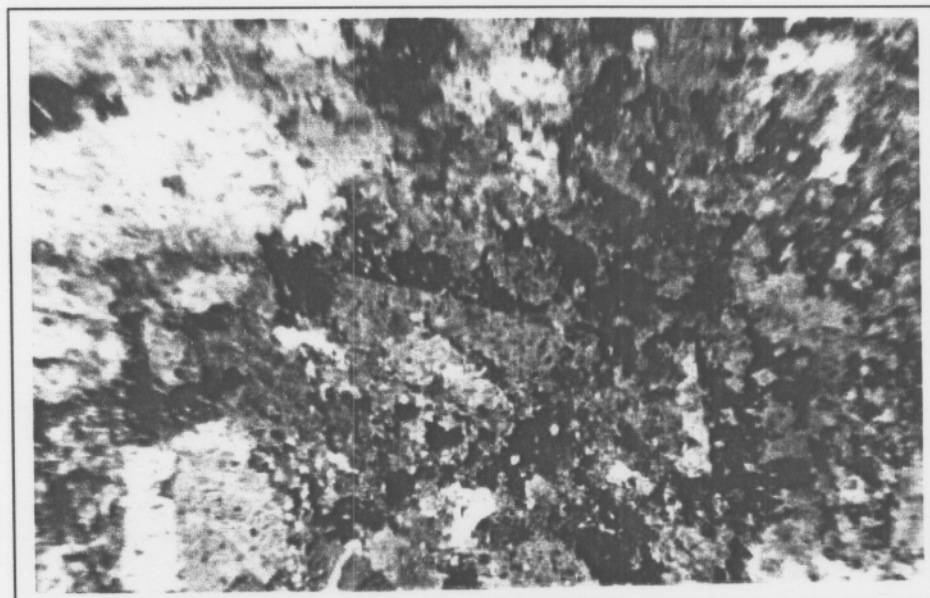


Fotomicrografía 2. Cristal de pirita cúbico y presencia de cristales de muscovita (filosilicato). La presencia de estos cristales laminares en esta muestra está relacionada a la presencia de pirita. Objetivo 4/0.12. . Ocular 12.5X. Nícoles cruzados. Muestra de mano



2.2 mm

Fotomicrografía 3. Cristales cúbicos de pirita bajo la luz reflejada. Muestran su típico color amarillo latón. Pueden observarse pequeños puntos más brillantes, los cuales se interpretan como puntos de oro. Objetivo 4/0.12 . Ocular 12.5X.: Muestra de mano.



2.2 mm

Fotomicrografía 4. En esta fotomicrografía se muestra el paso de plagioclasas a sericita, epidotos y calcita. Objetivo 10/0.25. . Ocular 12.5X. Nícoles cruzados. Muestra de mano.

De las perforaciones se seleccionaron tres muestras (una de cada perforación) a un nivel aproximado de un metro y veinte centímetros. Mesoscópicamente son muestras de colores grises intensos, con restos de costras de oxidación, de granulometría fina con pórfidos de feldespatos y de pirita. La muestra presenta zonas que efervescen ante la presencia del ácido clorhídrico, por lo que se interpreta la presencia de carbonatos en la muestra. Esto último puede explicarse por medio de cambios mineralógicos (sustitución deutérica del ión carbonato en las plagioclasas).

Muestra de la Perforación #1

Texturas presentes: simplectita (intercrecimiento entre plagioclasas y cuarzo); presencia de flujo de filosilicatos (muscovita)

Minerales presentes

▪ Plagioclasas (andesina)	25%
▪ Calcita (alteración de plagioclasas)	45%
▪ Pirita	10%
▪ Piroxenos	5%
▪ Cuarzo	5%
▪ Feldespatos potásicos (ortosa)	5%
▪ Muscovita	5%
▪ Circón	traza

El índice de color (I.C.) para la muestra corresponde a 15%.

Con estos datos, la clasificación según Streckeisen (1967) esto correspondería a una diorita porfídica, ya que la cristalinidad es holocristalina; pueden observarse en prácticamente su totalidad los cristales que componen a la roca.

Se describen a continuación los minerales esenciales hallados en la muestra.

Muscovita: cristales subhedrales a anhedrales, hábito algunas veces laminar, a veces acicular, pero en general se presenta como hojas fibrosas. Pueden observarse alineadas, pero existen sectores de la sección donde muestran una apariencia de “flujo”. Cristales que varían de tamaño dentro del rango 0,05 mm a 1,5 mm. Distribución homogénea dentro de la muestra.

Plagioclasa : cristales anhedrales. El hábito es tabular, aunque en muchos cristales se observa un hábito granular. En muchos casos puede observarse una alteración (prácticamente una sustitución) de las plagioclasas por carbonato. La presencia de tantos cristales de carbonato puede explicarse por la alteración deutérica de las plagioclasas y la ulterior sustitución por carbonatos; esto quiere decir que todos los carbonatos que se observan en la muestra originalmente eran plagioclasas. En los cristales donde se puede observar bien el maclado puede establecerse que el tipo de plagioclasa es andesina (>50% Ca). Pueden observarse intercrecimientos de plagioclasa y cuarzo, generando la llamada textura simplectita. El tamaño de grano varía entre 0,25 mm y 0,05 mm.

Cuarzo: cristales anhedrales con hábito comúnmente granular. Se encuentran muy relacionados a los cristales de pirita, ya que crecen como fibras perpendiculares a las caras de los cristales de pirita. Se encuentran distribuidos de forma irregular en la sección, concentrándose en los bordes de los cristales de pirita. Su tamaño varía en un rango de 0,6 mm y 0,04 mm.

Piroxenos : cristales anhedrales, de hábito prismático corto. Muestran planos de clivaje que forman aproximadamente 90° entre ellos (en la mayoría de los casos, el ángulo es superior a los 90°). Los cristales son pleocroicos en nicoles paralelos, variando desde incoloro a un

pardo claro. El máximo pleocroismo se observa paralelo a uno de los planos de clivaje, por lo que se puede decir que es un ortopiroxeno. Además, por las características del pleocroismo, debe tratarse de una hiperstena. La distribución es irregular en la sección. El tamaño de grano varía dentro de un rango de 0,05 mm a 0,40 mm.

Feldespatos potásicos: cristales anhedrales, de hábito tabular (realmente deberían ser prismas largos, pero no se observan bien en la sección). Pueden notarse inclusiones de cristales como circones dentro de los feldespatos. No muestran ningún tipo de maclado, por lo que pudiese pensarse en cristales de ortosa. La distribución es heterogénea dentro de la muestra. El rango de variación del tamaño de grano es de 0,04 mm a 0,30 mm.

Pirita : cristales de subhedrales a euhedrales. Hábito cúbico. Son los cristales más grandes de la muestra (alcanzan un tamaño de hasta 5 mm). En muchos casos se encuentran oxidados (presentan colores rojizos bajo la luz reflejada). La distribución es homogénea en la muestra.

PETROGRAFÍA ÍGNEA

Petrografía por :Ricardo Alezones

Fecha :10/10/2002

Sección fina : Perforación-1 Prof. 1,20

Texturas Ígneas : Porfírica (pirita, plagioclasas); Simplectita

CRISTALINIDAD

- Holocristalina
- Hipocristalina
- Holohialina

FÁBRICA

- Equigranular
- Idiomórfico
- Hipiodiomórfico

GRANULARIDAD

- Fanerítica
- Afanítica

Inequigranular

- Seriado
- Porfírico

Tamaño de grano promedio : 0.18 mm

Máximo : 5,00 mm
Mínimo : 0,01 mm

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

(E)	1) <u>Plagioclasa (andesina)</u> 25% (E)	2) <u>Calcita (alteración)</u> 45%
	3) <u>Cuarzo</u> 5% (E)	4) <u>Piroxenos</u> 5% (E)
	5) <u>Feldespatos (ortosa)</u> 5% (E)	6) <u>Pirita</u> 10 % (E)
	7) <u>Muscovita</u> 5% (E)	8) <u>Circón</u> <1% (T)

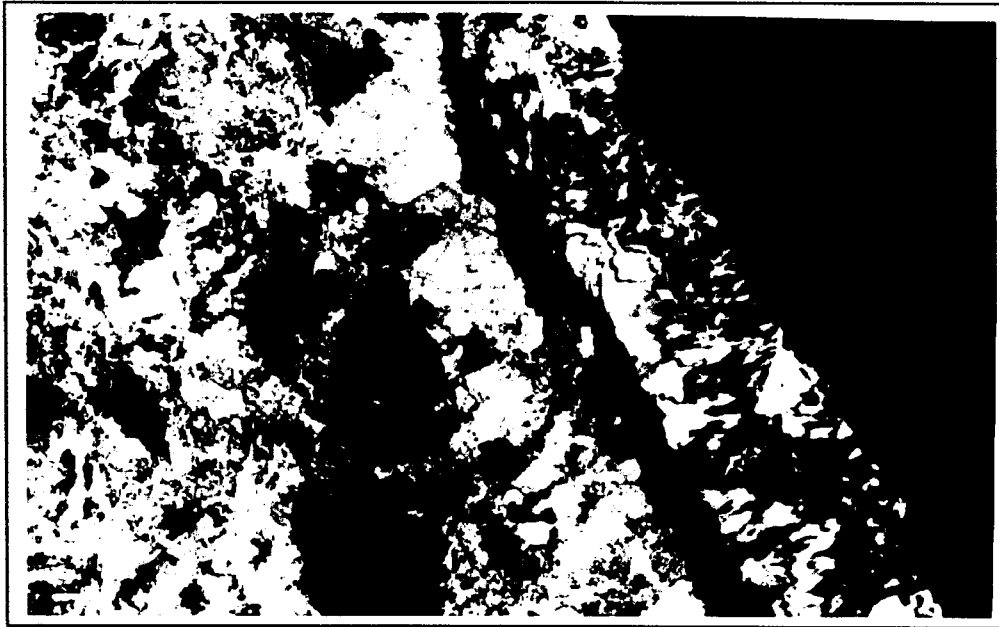
I.C. = 15

A = 6%

P = 88%(incluyendo el carbonato por ser producto de alteración de la plagioclasa)

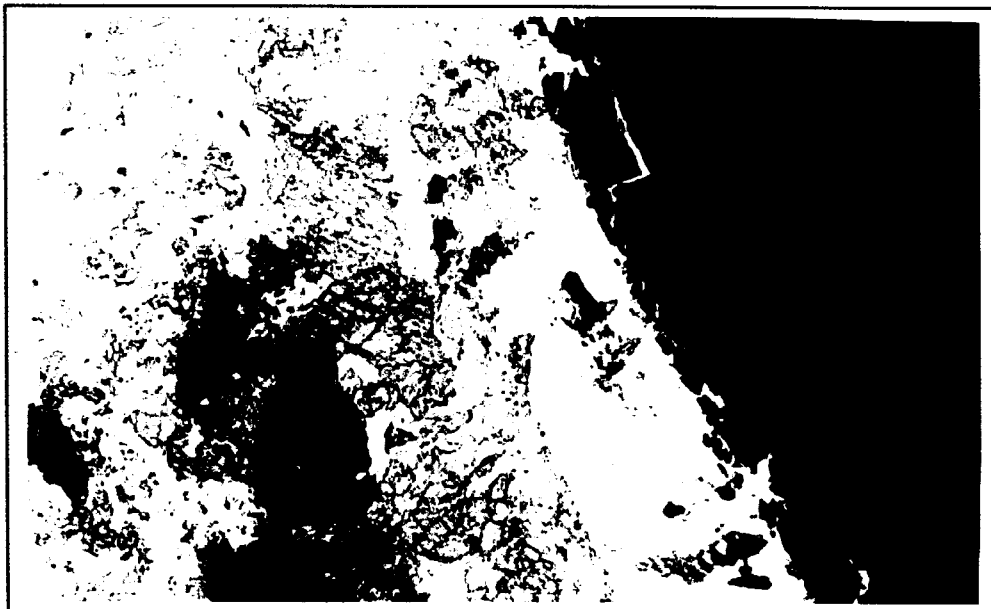
Q/F= 6%

NOMBRE DE LA ROCA: Diorita porfídica



2.2 mm

Fotomicrografía #5. Cristal de pirita (color negro a la derecha de la figura) y cristales de cuarzo fibrosos que crecen perpendiculares a la cara del cristal cúbico de pirita. A la derecha, cristales de piroxeno, variedad hiperstena. Objetivo 4/0.12, Ocular 12,5X. Nícoles cruzados. Muestra Perforación - 1 Profundidad 1,20



2.2 mm

Fotomicrografía #6. Cristal de pirita (color negro a la derecha de la figura) y cristales de cuarzo fibrosos que crecen perpendiculares a la cara del cristal cúbico de pirita. A la derecha, cristales de piroxeno, variedad hiperstena. Objetivo 4/0.12, Ocular 12,5X. Nícoles paralelos. Muestra Perforación-1. Profundidad 1,40

Muestra de la Perforación #2 0,33 m.

Texturas presentes: simplectita (intercrecimiento entre plagioclasas y cuarzo; intercrecimiento feldespato potásico y piroxeno)

Minerales presentes

- Plagioclasas (andesina) 40%
- Calcita (alteración de plagioclasas) 5%
- Pirita 20%
- Piroxenos 5%
- Cuarzo 10%
- Feldespatos potásicos (ortosa) 20%
- Circón traza

El índice de color (I.C.) para la muestra corresponde a 25%.

Con estos datos, según la clasificación de Streckeisen (1967) correspondería a una monzodiorita, ya que la cristalinidad es holocristalina; pueden observarse en su totalidad los cristales que componen a la roca.

Se describen a continuación los minerales esenciales hallados en la muestra.

Feldespatos potásicos : cristales anhedrales, de hábito tabular, aunque en algunos casos se encuentran mostrando un hábito granudo. Por no mostrar ningún tipo de maclado puede pensarse que son ortosas. Varía de tamaño en un rango que va desde 0,20 mm hasta 2,20 mm. Su distribución es homogénea en la muestra

Plagioclasa : cristales anhedrales, de hábito tabular, Se encuentra alterada, en algunos casos, a minerales tipo sericita (filosilicatos), en otros caos los carbonatos sustituyen a las plagioclasas por alteración. Donde se puede observar el tren de maclas revelan que el tipo

de plagioclasa es andesina. En algunos cristales pueden observarse maclas deformadas, por lo que es posible que la muestra se encuentre cercana a una zona de deformación. Varía de tamaño entre 0,18 mm y 0,40 mm.

Pirita : cristales subhedrales a euhedrales, de hábito cúbico. Es una de las especies minerales más abundantes dentro de la muestra. Presenta su típico color amarillo latón frente a la luz reflejada. Cuando se le refleja la luz, pueden notarse puntos más brillantes, que pudieran significar la presencia de oro. Su tamaño varía entre 0,20 mm y 0,60 mm.

Cuarzo : cristales anhedrales de hábito comúnmente granudo. Muestra intercrecimiento con cristales de plagioclasa y su distribución es heterogénea en la muestra. Su tamaño de grano varía entre 0,01 mm y 0,20 mm.

Piroxenos : cristales anhedrales, de hábito prismático corto, mostrando planos de clivaje que forman 90° entre ellos. Los cristales son pleocroicos desde un incoloro hasta un pardo claro. El máximo pleocroismo se observa paralelo a uno de los planos de clivaje. Su distribución es heterogénea en la sección. El tamaño varía dentro un rango de 0,1 mm y 0,2 mm.

PETROGRAFÍA ÍGNEA

Petrografía por :Ricardo Alezones
Sección fina : Perf-2 Prof. 0,33 m
Texturas Ígneas : Simplectita

Fecha :10/10/2002

CRISTALINIDAD

- (x) Holocristalina
() Hipocristalina
() Holohialina

FÁBRICA

- () Equigranular
() Idiomórfico
(x) Hipidiomórfico

GRANULARIDAD

- (x) Fanerítica
() Afanítica

Inequigranular

- () Seriado
() Porfirítico

Tamaño de grano promedio : 0.40 mm

Máximo : 3,00 mm

Mínimo : 0,01 mm

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

(E)	1) <u>Plagioclasa (andesina)</u> 40% (E)	2) <u>Calcita (alteración)</u> 5%
	3) <u>Cuarzo</u> 10% (E)	4) <u>Piroxenos</u> 5% (E)
	5) <u>Feldespatos (ortosa)</u> 20% (E)	6) <u>Pirita</u> 20 % (E)
	7) _____	8) <u>Circón</u> <1% (T)

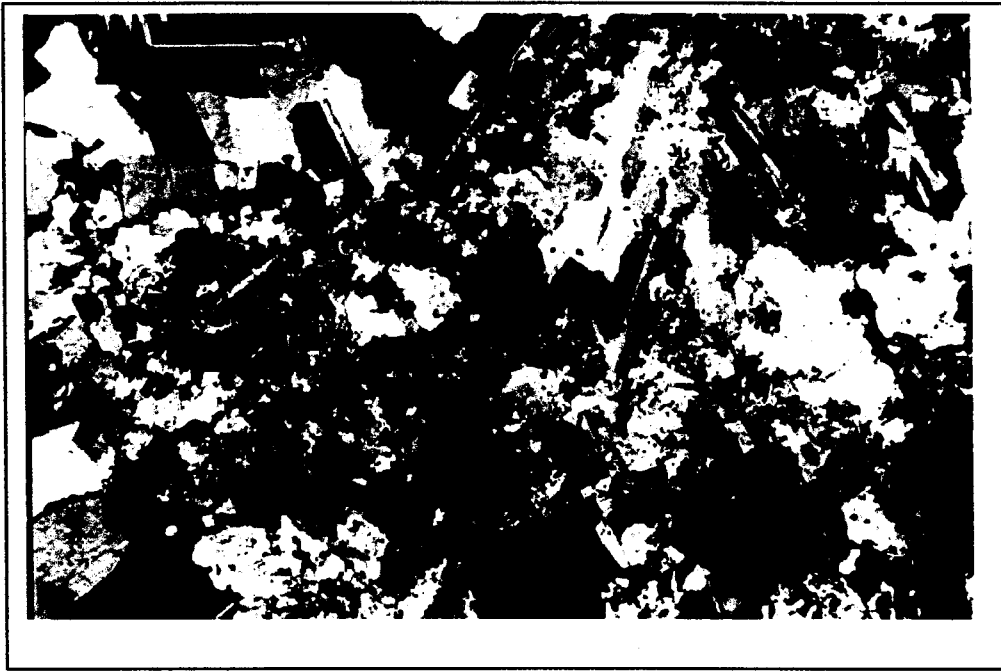
I.C. = 25

A = 15%

P = 70%

Q/F= 15%

NOMBRE DE LA ROCA : Monzodiorita



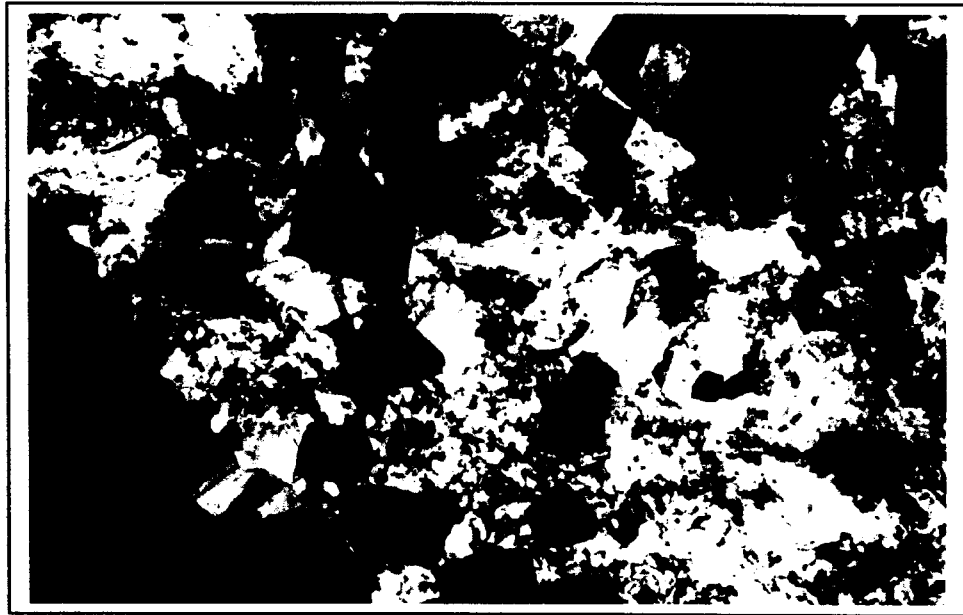
2.2 mm

Fotomicrografía #7. Aspecto general de la muestra. Obsérvese la variación en el tamaño de grano. Pueden notarse cristales de plagioclasa, feldespatos k, cuarzo, carbonatos.
Objetivo 4/0.12. Ocular 12,5 X. Nícoles cruzados. Muestra Perf-2 prof. 0,33

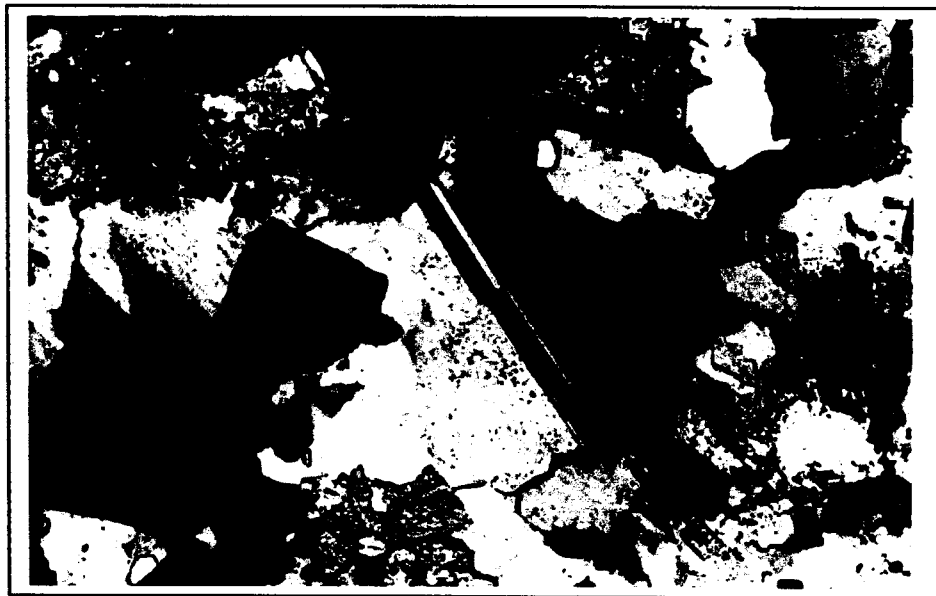


2.2 mm

Fotomicrografía #8. Otro sector de la misma muestra. Nótese los cristales de feld-k y plagioclasa de tamaño mayor a 3 mm. Objetivo 4/0.12. Ocular 12,5 X. Nícoles cruzados. Muestra Perf-2 prof. 1,77



Fotomicrografia #9. Abundancia relativa de cristales de pirita. Objetivo 4/0.12. Ocular 12,5 X. Nícoles cruzados. Muestra Perf-2 prof. 2,51



Fotomicrografia #11. Macla de plagioclasa fracturada. Objetivo 10/0.25. Ocular 12,5 X. Nícoles cruzados. Muestra Perf-2 prof. 3.0

Muestra de la Perforación #3

Minerales presentes

- Plagioclasas (andesina) 30%
- Calcita (alteración de plagioclasas) 40%
- Piroxenos <5%
- Cuarzo 10%
- Feldespatos potásicos (ortosa) 10%
- Muscovita 10%

El índice de color (I.C.) para la muestra corresponde a <5%.

Con estos datos, según la clasificación de Streckeisen (1967) correspondería a una monzodiorita porfídica, debido a que la cristalinidad es holocristalina se pueden observar en su totalidad los cristales que componen la roca.

Se describen a continuación los minerales esenciales hallados en la muestra.

Plagioclasa : cristales anhedrales. Hábito tabular, aunque la alteración muestra cristales de bordes irregulares. Todos los cristales de carbonato no son más que plagioclasas alteradas.

Precisamente por este grado de alteración no pueden hallarse cristales para establecer el tipo de plagioclasa. Por el grado de alteración tan alto se puede pensar que la plagioclasa debe ser rica en Ca, estableciéndose que esta debe ser por lo menos andesina ($\geq 50\%$ de Ca). Los tamaños de grano varían entre 0,04 mm y 0,20 mm.

Muscovita : cristales subhedrales a anhedrales, de hábito laminar en algunos casos hasta fibrosos. No son muy abundantes, por lo cual su distribución es muy irregular. El tamaño de grano varía entre 0,1 mm y 0,2 mm.

Cuarzo : cristales anhedrales con hábito comúnmente granular. La mayor cantidad de cuarzo se encuentra en una veta que surca completamente la muestra. Los tamaños varían entre 0,01 mm y 0,20 mm. Su distribución no es regular en la muestra.

Feldspatos : cristales anhedrales de hábito tabular a prismático corto. Al igual que el cuarzo, la mayor cantidad de feldespato se localiza en la veta que atraviesa a la muestra. Los tamaños varían desde 0,05 mm hasta 0,30 mm.

Piroxenos : cristales anhedrales, de hábito prismático corto, mostrando planos de clivaje de aproximadamente 90° entre ellos. Los cristales son pleocroicos desde un incoloro hasta un pardo claro. El máximo pleocroismo se observa paralelo a uno de los planos de clivaje. Su distribución es heterogénea en la sección. El tamaño varía dentro un rango de 0,1 mm y 0,2 mm.

Se anexa a continuación la hoja petrográfica con la descripción de las muestras.

PETROGRAFÍA ÍGNEA

Petrografía por :Ricardo Alezones
Sección fina : Perf-3 prof. 1,20
Texturas Ígneas : porfídica (plagioclasa)

Fecha :10/10/2002

CRISTALINIDAD

- Holocristalina
 Hipocristalina
 Holohialina

FÁBRICA

- Equigranular
 Idiomórfico
 Hipidiomórfico

GRANULARIDAD

- Fanerítica
 Afanítica

Inequigranular

- Seriado
 Porfirítico

Tamaño de grano promedio : 0.15 mm

Máximo : 0,50 mm

Mínimo : 0,01 mm

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

- | | |
|--|--|
| 1) <u>Plagioclasa (andesina)</u> 30% (E) | 2) <u>Calcita (alteración)</u> 40% (E) |
| 3) <u>Cuarzo</u> 10% (E) | 4) <u>Piroxenos</u> <5% (E) |
| 5) <u>Feldspatos (ortosa)</u> 10% (E) | 6) _____ |
| 7) <u>Muscovita</u> 10% (E) | 8) _____ |

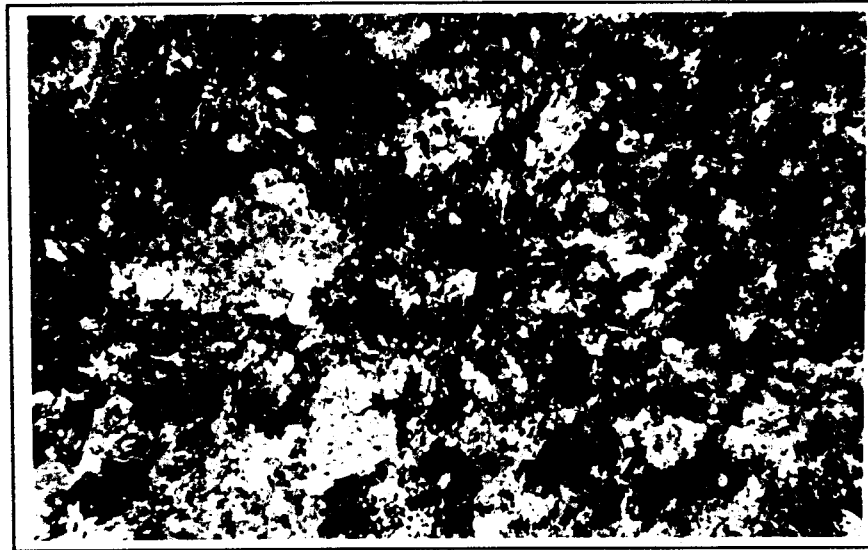
I.C. = <5

A = 11%

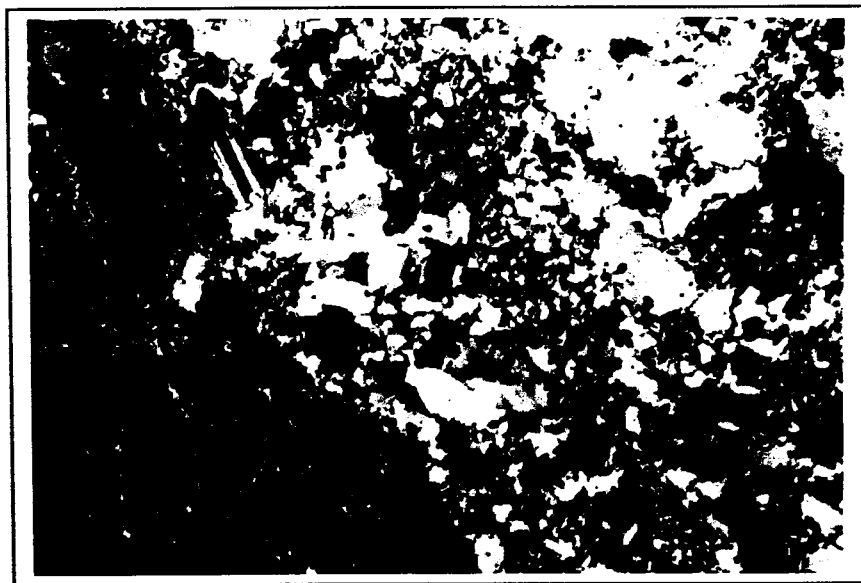
P = 78% (incluyendo el carbonato por ser producto de alteración de la plagioclasa)

Q/F = 11%

NOMBRE DE LA ROCA: Diorita porfídica




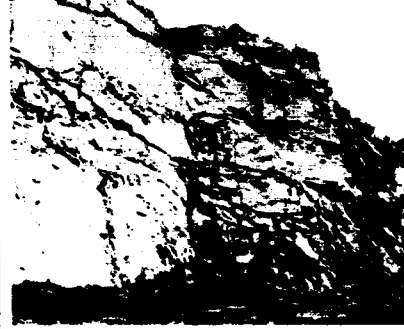



Fotomicrografía #12. Aspecto general de la muestra Perf-3. Las "manchas" de color marrón son carbonatos que se generan por la alteración deutérica de las plagioclasas. Objetivo 4/0.12, Ocular 12,5 X. Nícoles cruzados. Muestra Perf-3 prof. 1,20



Fotomicrografía #9. Aspecto de la veta que corta toda la muestra. Pueden observarse cristales de cuarzo, plagioclasa, feld-k. Objetivo 4/0.12, Ocular 12,5 X. Nícoles cruzados. Muestra Perf-3 prof. 1,20

Table 1: Guidelines for estimating disturbance factor D

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of D
	<p>Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.</p>	<p>$D = 0$</p>
	<p>Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass.</p> <p>Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.</p>	<p>$D = 0$</p> <p>$D = 0.5$ No invert</p>
	<p>Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.</p>	<p>$D = 0.8$</p>
	<p>Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.</p>	<p>$D = 0.7$ Good blasting</p> <p>$D = 1.0$ Poor blasting</p>
	<p>Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal.</p> <p>In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.</p>	<p>$D = 1.0$ Production blasting</p> <p>$D = 0.7$ Mechanical excavation</p>

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO MINA COLOMBIA EL CALLAO, MINERVEN, ESTADO BOLÍVAR

DIACLASAS

Est. D1	D2	D3	D4	D5	D6
E1	N-S vertical. Abierta (+1mm), rugosa, no flujo, no rellena, escalonada. Persistente. Frecuencia 6/metro	N37E28S. Lisa (7), cerrada, No flujo, sin relleno. Poco persistente. Frecuencia 3/metro	N80W62N. Algo rugosa. Abierto, abertura 1mm, escalonada, no rellenas, no flujo. Frecuencia 5/metro	N25E10N. Rellena de cuarzo (éste se encuentra fracturado), abertura de 3 cm, rugosa, escalonada. Frecuencia 4/metro	
E2	N08W58N. Escalonada, cerrada, rugosa, sin relleno, no flujo, medianamente persistente. Frecuencia 8/metro	N45W60N. Rugosa, sin flujo, abierta, abertura 2 mm, relleno de cuarzo, persistente. Frecuencia 3/metro	N45E20N. Abiertas, abertura 1.5 mm, rellenas de cuarzo, persistente. Frecuencia 6/metro		
E3	N16W76S. Rugosa, escalonada, cerrada, no flujo, persistente. Frecuencia 3/metro	N56W58N. Medianamente rugosa, ondulada, cerrada, no flujo, persistente. Frecuencia 6/metro	N60W45N. Rellena de cuarzo, abertura de 5 mm, rugosa, persistente. Frecuencia 2/metro	N-S80E. Rellena de cuarzo, poco persistente, rugosa, abertura 3mm. Frecuencia 4/metro	
E4	N50W59N. Rugosa, rellena de cuarzo, no fluidos, persistente. Frecuencia 3/metro	N20E40S. Rugosa, no rellena, abierta, abertura de 1mm, poco persistente, no fluidos. Frecuencia 4/metro	N35W80N. Medianamente rugosa, cerrada, persistente. Frecuencia 4/metro	N45E70S. Rugosa, abierta, abertura 2mm, sin relleno, poco persistente, sin fluidos. Frecuencia 4/metro	N75W84N. Sin relleno, no fluidos, medianamente persistente. Frecuencia 3/metro
E5	N45E80N. Medianamente rugosa, cerradas, sin relleno, no fluidos. Frecuencia 3/metro	N50W59S. Medianamente rugosa, cerrada, no fluidos, poco persistente. Frecuencia 5/metro	N45E40N. Rellena de cuarzo y filosilicatos, abertura 2-5mm, persistente. Frecuencia 6/metro	N70W71S. Medianamente rugosa, rellena de cuarzo, abertura 2mm, no fluidos, persistente. Frecuencia 4/metro	
E6	N70W68S. Rugosa, escalonada, sin relleno, no fluidos, poco persistente. Frecuencia 4/metro	N85E45N. Rugosa, escalonada, sin relleno, sin fluidos, poco persistente. Frecuencia 3/metro. Zona menos piritizada que las anteriores	N45E60N. Rugosa, escalonada, sin relleno, no fluidos. Poco persistente. Frecuencia 5/metro		
E7	N50E Vertical. Rugosa, escalonada, sin relleno, no fluidos, abertura 1 mm. Persistente. Frecuencia 6/metro	N18W51S. Poco rugosa, cerrada, sin relleno, poco persistente. Frecuencia 3/metro	N05W Vertical. Escalonada, rugosa, rellena de cuarzo, +/- 1 cm. Frecuencia 5/metro.	N70W48N. Rugosa, relleno de cuarzo, no fluidos. Frecuencia 2/metro	
E8	N70W81S. Poco rugosa, escalonada, cerrada, sin relleno, no fluido. Persistente. Frecuencia 5/metro	N08E65N. Poco rugosa, cerrada, sin relleno, escalonada, no fluido. Persistente. Frecuencia 4/metro	N65E66N. Poco rugosa, poco escalonada, no rellena, no fluido. Persistente. Frecuencia 3/metro	N25E80N. Lisa, sin relleno, no fluido, cerradas. Persistente. Frecuencia 4/metro	
E9	N65E80S. Rugosa, medianamente escalonada, abierta, abertura de 1 mm, sin relleno, no fluido. Frecuencia 5/metro	N26E80N. Rugosa, escalonada, medianamente persistente, cerrada, sin relleno, no fluido. Frecuencia 2/metro	N55W15S. Rugosa, escalonada, cerrada, sin relleno, no fluido. Poco persistente. Frecuencia 5/metro	N15W52N. Rugosa, escalonada, cerrada, sin relleno, no fluido. Poco persistente. Frecuencia 8/metro	
E10	N60W85N. Poco rugosa, escalonada, no fluido, persistente, cerrada. Frecuencia 4/metro	N05E20N. Vetas de cuarzo, de 2 cm de espesor. Muy persistentes, cerradas, no fluido. Frecuencia 8/metro	N25E48N. Rugosa, escalonada, cerrada, sin relleno, medianamente persistente, no fluidos. Frecuencia 5/metro	N30W VERTICAL. Rugosa, muy persistente, cerrada, sin relleno, no fluidos. Frecuencia 3/metro	