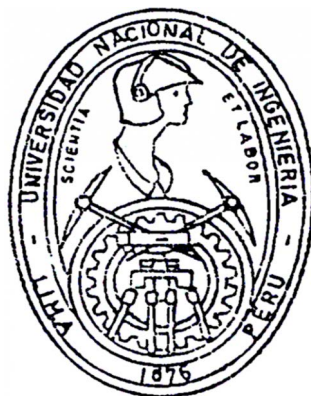


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA  
Y METALURGICA



ESTUDIO GEOLOGICO - GEOTECNICO DEL  
TUNEL PRINCIPAL DE LA MINA GRACIELA  
- SANTA CECILIA - PERUBAR

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
Ingeniero Geólogo

Héctor Adrian Aspajo Vásquez

LIMA - PERU  
1 993

A mis Padres

Adrian y Maria Graciela

Por el apoyo que me brindan y  
por el espiritu de superacion  
que han sabido inculcarme

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Perubar, por permitirme efectuar esta tesis. A S.V.S. Ingenieros por la asesoría técnica e información bibliográfica brindada. Finalmente, de manera especial al Ing. Carlos Vallejo Cortez por volcar toda su experiencia y entusiasmo en el asesoramiento de esta tesis.

## RESUMEN

En la presente tesis define los conceptos, descripción y aplicación del método a arco rebatido en el mapeo geológico - geotécnico y el diseño del sostenimiento en excavaciones subterráneas.

Se difunden los criterios que son utilizados para este mapeo, como son el uso de las clasificaciones geomecánicas, líneas de detalle, etc. además la presentación de ejemplos prácticos mas un formato para realizar estos trabajos.

Asimismo la aplicación insitu de este mapeo a arco rebatido, mediante la ejecución de un estudio en el túnel principal de la mina Graciela - Santa Cecilia de la Cia. Minera Perubar S.A. y mostrar los resultados alcanzados.

PORTADA .....I

DEDICATORIA .....II

AGRADECIMIENTOS .....III

RESUMEN .....IV

CONTENIDO

1.0	INTRODUCCION	1
2.0	OBJETIVOS	4
3.0	CONCEPTOS TEORICOS	5
3.1.-	Clasificación Geotécnica de Macizos Rocosos	5
3.2.-	Clasificación Índice "RMR" y "MBR"	7
3.3.-	Clasificación Índice " Q "	15
3.4.-	Sistemas Constructivos de Túneles (NTAM)	17
3.5.-	Mediciones y Ensayos insitu	21
3.6.-	Muestreo y Ensayos en gabinete	23
4.0	DESCRIPCION DEL FORMATO	27
4.1.-	Datos generales	27
4.2.-	Datos geológicos	27
4.2.1	Descripción litológica	
4.2.2	Mapeo geológico	
4.2.3	Simbología	
4.3.-	Datos geomecanicos	28
4.4.-	Soportes temporales y definitivos	28
4.5.-	Ensayos, muestreos e instrumentaciones	28
4.6.-	Control de calidad	30
4.7.-	Observaciones	30
5.0	METODOLOGIA DEL MAPEO	31
5.1.-	Reconocimiento	31

5.2.- Preparación	31
5.3.- Plan de mapeo geológico-geotécnico in-situ	32
5.3.1 Determinación de dominios estructurales	32
5.3.2 Mapeo de línea de detalle	33
5.3.3 Clasificación geomecánica	35
5.4.- Trabajo de laboratorio	39
5.4.1 Ensayos de muestras	39
5.5.- Estudios de gabinete	42
5.5.1 Interpretación de mapeo y ensayos	42
5.5.2 Determinación del tipo de sostenimiento	43
5.5.3 Elaboración de informe, incluye planos y especificaciones técnicas	49
6.0 PRESENTACION DE DIVERSOS FORMATOS ALTERNATIVOS DE MAPEO	
A ARCO REBATIDO	54
6.1.- Formato de Central Hidroeléctrica de Carhuaquero	54
6.2.- Formato de proyecto de Chavimochic	54
6.3.- Formato de proyecto C. H. Candelaria	57
6.4.- Interpretación comparativa (ventajas y desventajas)	57
6.5.- Ejemplos prácticos del uso del mapeo Arco Rebatido	59
7.0 ESTUDIO GEOLOGICO - GEOTECNICO DEL " TUNEL PRINCIPAL	
de la Mina Graciela Cia. Minera Perubar S.A.	85
7.1.- Generalidades	85
7.1.1 Introducción	85
7.1.2 Objetivos y alcances	85
7.1.3 Metodología del trabajo	86
7.2.- Geología y Geotecnia	87
7.2.1 Geología	87
7.2.2 Estructuras principales	89
7.2.3 Geotéctónica	93
7.2.4 Dominios Estructurales	94
7.2.5 Línea de detalle	94

7.2.6 Clasificación geomecánica por tramos del túnel	95
7.3.- Interpretación de resultados	96
7.3.1 Proyección estereográfica	96
7.3.2 Microtectónica.	96
7.4.- Diseño del Sosténimiento	97
7.4.1 Tipos de sostenimiento	97
7.4.2 Procedimientos y especificaciones	100
7.5.- Conclusiones y recomendaciones	105
8.0 BIBLIOGRAFIA	108
9.0 ANEXOS	
9.1 Tablas y/o cuadros	
9.2 Planos	

## 1.0 INTRODUCCION

Un túnel, es una estructura de gran complejidad que esta construido enteramente en un ámbito geológico, al que se tiene poco o ningún acceso antes de la construcción. Es por eso que las investigaciones son una cuestión indiscutible, ya que, es el único medio que nos proporciona información de aquellos aspectos geológicos que podrían afectar la obra.

Al realizar una excavación subterránea en un macizo rocoso, lo que hacemos es alterar el equilibrio de esfuerzos que existen inicialmente en el macizo, dichos esfuerzos están relacionados con el peso de los estratos adyacentes (presión litostática), éstos están presentes en toda la sección del túnel (techo, paredes y piso). Sus efectos negativos dependerán de las condiciones geológicas que existen en la zona de influencia de la excavación. En algunos casos al realizar la excavación introducimos una serie de esfuerzos que a veces son lo suficientemente grande para exceder la resistencia original de la roca. Este debilitamiento que se produce en la roca adyacente a la excavación puede llevar a la inestabilidad de ésta, manifestandose en la convergencia gradual de la excavación, derrumbes del techo, desprendimientos y en casos extremos como estallidos de roca, que se puede presentar cuando una roca competente es sometida a grandes esfuerzos.

Los objetivos de un programa de investigación, no solo buscan obtener un conocimiento de las condiciones geologico-ingenieriles del lugar, sino también la interpretación de éstas, para su aplicación en el diseño y construcción del túnel. En otras palabras deberá pronosticarse un modelo geológico.



La importancia del conocimiento general de la geología lo resume Wahlstrom de la siguiente forma:

" Los estudios de geología superficial, mediciones geofísicas y perforaciones de exploración proporcionan información directa útil, pero de igual importancia para el geólogo puede ser el conocimiento de la geología regional y la historia geológica local, así como conocer a fondo el modo en que reacciona la roca al ambiente geológico cambiante. Tales consideraciones le permitirán hacer una estimación semicuantitativa muy útil de las características geológicas que encontrará en las profundidades, mas no su localización exacta".

Entre las aplicaciones de las Investigaciones Geotécnicas en la Ingeniería de Obras Subterráneas, se menciona a la estimación de los requerimientos de soportes, el tipo de diseño, para lo cual se utilizan sistemas empíricos de clasificación de macizos rocosos, los resultados de éstos son usados como una guía para seleccionar sistemas de soporte apropiados de acuerdo a las variedades de las rocas, dimensiones del túnel y tipo de excavación.

Asimismo, para el logro de una mejor presentación de los resultados de estas investigaciones y del mapeo insitu de la excavación se utiliza el "método de mapeo de arco rebatido"

Entre los objetivos de este mapeo, están:

- a) determinación de los dominios estructurales.
- b) determinación de las clasificaciones geomecánicas.
- c) localización gráfica de las condiciones geológicas, tales como: contactos, fallas, estratificación, infiltración, tipo de roca, etc.
- d) localización e indicación de soportes temporales y

existentes.

e) localización e indicación de soportes definitivos.

f) representación gráfica de la forma de colocación de los soportes.

g) reajuste de las investigaciones geotécnicas complementarias.

Asimismo se busca, determinar los siguientes parámetros de las discontinuidades que son:

dirección.

- longitud.

- espaciamiento.

- relleno.

rugosidad.

dureza de la roca.

- grado de alteración, etc.

Con esta información que se obtiene de las direcciones de las discontinuidades, como de su buzamiento, es posible precisar las posibles direcciones de los esfuerzos que actúan sobre el macizo rocoso. Así como la descripción de los parámetros promedio para las familias de discontinuidades presentes en cada tipo de roca o dominio estructural pre-establecido.

De todo lo expuesto, nos damos cuenta de la vital importancia que tiene el hecho de realizar un buen mapeo en los trabajos de obras subterráneas, permitiéndonos de esta forma obtener una mayor información de las condiciones del macizo rocoso. En la presente tesis se indican las técnicas y procedimientos para realizar estos mapeos, así como el uso de los métodos empíricos de clasificación geomecánica para el sostenimiento de excavaciones subterráneas, dando algunos ejemplos y una aplicación práctica llevada a cabo en la Cia. Minera Perubar S.A.

## 2.0 OBJETIVOS

1.- Definir los conceptos, descripción y aplicación del método a arco rebatido, en el mapeo geológico - geotécnico y el diseño del sostenimiento en excavaciones subterráneas.

2.- Difundir los criterios que son utilizados para el mapeo en arco rebatido en excavaciones subterráneas, tales como, las clasificaciones geomecánicas de macizos rocosos, dominios estructurales, mapeo geotécnico, ensayos y líneas de detalle.

3.- Mostrar el tipo de formato, la forma de ser llenado para su aplicación práctica en el diseño temporal y definitivo de las excavaciones subterráneas.

4.- Mostrar los diferentes modelos de formatos, que se han aplicado hasta la fecha en los diferentes proyectos en nuestro país, indicando sus ventajas y desventajas con respecto al formato propuesto.

5.- Presentar ejemplos prácticos y la manera de desarrollarlos, para diferentes tipos de túneles y afloramientos rocosos.

6.- Lograr definir su aplicación insitu mediante la ejecución de un trabajo práctico y los resultados alcanzados en el túnel principal de la Mina Graciela - Santa Cecilia de la Cia. Minera Perubar.

### 3.0 CONCEPTOS TEORICOS

#### 3.1. Clasificación Geotécnica de macizos rocosos (ver tabla 1)

Al momento de realizar el mapeo geológico, se procede a una primera cuantificación de las condiciones del macizo rocoso, ayudándonos para este fin de la presente clasificación que considera cuatro parámetros a saber :

- Grado de Alteración .- Propuesta por la International Society of Rock Mechanics (ISRM - 1978), esta referida al grado de alteración que presenta el macizo rocoso, desde las condiciones de roca fresca hasta el suelo residual. (Parámetro "a").

- Grado de Fracturamiento.- Definido en base al número de fracturas por metro lineal que presenta el macizo rocoso. Así tenemos el caso de una roca ligeramente fracturada (2 f/ml) hasta llegar a una roca triturada (> 20 f/ml). (Parámetro "b").

Grado de Dureza.- Recoge la propuesta de Deere y Miller (1968). Se evalúa la dureza que presenta el macizo rocoso en función de golpes con la picota, ó el martillo de Shimt y su equivalencia en el valor aproximado de la resistencia a la compresión obtenidos por metodos de laboratorio (Ensayos de carga puntual o resistencia a la compresión simple) relacionándolo luego con valores de resistencia estimado para cada caso en unidades Mpa. (Parámetro "c").

Grado de Estratificación.- Esta referida al espesor que presenta los estratos. (Parámetro "d").

# TABLA N° 1

## CLASIFICACIONES GEOTECNICAS DE MACIZOS ROCOSOS

### *Grado de Alteración (ISRM, 1978)*

<i>Parámetro</i>	<i>Calificativo</i>	<i>Descripción</i>
a1	Roca fresca	No hay señales visibles de material de roca lixiviada, tal vez una ligera decoloración en la superficie de la discontinuidad.
a2	Roca ligeramente alterada	Se observa la decoloración mas profunda en el material y en la superficie de discontinuidad.
a3	Roca moderadamente alterada	Menos del 35% del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado, la roca fresca o decolorada se presenta como una estructura continua y como testigo de roca
a4	Roca altamente alterada	Más del 35% del material rocoso está descompuesto o disgregado, la roca fresca está presente como una estructura discontinua o como testigo de roca
a5	Roca extremadamente alterada	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado, la roca se disgrega con la mano y se conserva unicamente los rasgos de la estructura original.
a6	Suelo residual	Cuando todo el material rocoso se ha convertido en suelo, no se observa ni estructura ni fábrica y no hay transporte de material.

### *Grado de fracturamiento*

<i>Parámetro</i>	<i>Calificativo</i>	<i>Descripción</i>
b1	Roca ligeramente fracturada	El macizo presenta menos de 2 fracturas por metro lineal.
b2	Roca fracturada	Presenta 2 a 5 fracturas por metro lineal
b3	Roca muy fracturada	Presenta de 6 a 10 fracturas por metro lineal
b4	Roca extremadamente fractura	Presenta de 11 a 20 fracturas por metro lineal
b5	Roca triturada	Presenta más de 20 fracturas por metro lineal

### *Grado de dureza (Deere y Miller, 1966)*

<i>Parámetro</i>	<i>Calificativo</i>	<i>Descripción</i>
c1	Roca muy resistente	Requiere de varios golpes del martillo para rompers Resistencia estimada mayor de 200 MPa.
c2	Roca resistente	Se rompe en uno o dos golpes de picota. Resistencia estimada de 100 a 200 MPa.
c3	Roca moderadamente resistente	Se indenta en la picota. Resistencia estimada de 50 a 100 MPa.
c4	Roca Suave	Se disgrega con golpes de picota. Resistencia estimada de 20 a 50 MPa.
c5	Roca muy debil	Se rompe facilmente con la mano Resistencia estimada menor de 20 MPa.

### *Grado de Estratificación*

<i>Parámetro</i>	<i>Calificativo</i>	<i>Descripción</i>
d1	Muy gruesa	Estratos con potencia mayor de 2 metros
d2	Gruesa	Estratos con potencia de 1 a 2 metros
d3	Moderado	Estratos con potencia de 0.5 a 1 metro
d4	Delgado	Estratos se 0.01 a 0.5 metros de potencia
d5	Laminar	Estratos con potencia menor de 0.01 metros

### 3.2. Clasificación geomecánica de macizos rocosos (Tabla 2)

Propuesta por Bieniawski del South African Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) llamada también índice RMR (Rock Mass Rotting) (1974) que combina algunos factores como el Rock Quality Design (RQD), la influencia de los rellenos arcillosos y de la meteorización.

Para definir la clasificación se considera cinco parámetros básicos como sigue:

- Resistencia de la roca intacta.- Bieniawski toma como base la clasificación de la resistencia a la compresión uniaxial de la roca que proponen Deere y Miller. Esta determinada por ensayos de compresión simple ( $R_c$ ) o en su defecto por los ensayos de cargas puntuales ( $I_s$ )

- RQD del testigo (Índice de calidad de la roca).- definida por Deere (1964) como el porcentaje de núcleos de perforación diamantina que se recuperan en piezas enteras de 100 mm. o más, con respecto a la longitud total de la perforación (figura 1).

$$RQD (\%) = 100 \times \frac{\text{Long. de núcleos mayores de 100 mm.}}{\text{Longitud de corrida}}$$

Esta relación, solo es válida para testigos de diámetros: NCWL o NXWL o equivalentes y en rocas frescas a moderadamente alteradas.

La evaluación en el campo del RQD, cuando no se tiene testigos de perforación diamantina, es en base a la siguiente relación :

$$RQD = 115 - 3.3 (J_v)$$

TABLA N° 2

**CLASIFICACION GEOMECANICA DE MACIZOS ROCOSOS  
SEGUN BIENIAWSKI (1984) – INDICE RMR**

**A. Clasificación de los parámetros y su evaluación**

PARAMETRO		ESCALAS DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de carga puntual.	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para esta escala prefiere la prueba de la resistencia a la comp. uniaxial		
		Resistencia a comp. uniaxial	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa.	1-5 MPa.	< 1 MPa.
	Valuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
	Valuación		20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento de Discontinuidades		> 2m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06 m		
	Valuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las Discontinuidades		Superficie muy rugosas, sin continuidad. Sin separacion. Paredes de roca dura.	Superficie algo rugosas, separacion <1 mm paredes de roca lig. suave	Superficie algo rugosas, separacion <1 mm paredes de roca suave.	Superficie pulidas o relleno <5 mm o disc. abiertas 1-5 mm y continuas	Relleno blando >5 mm o disc. abiertas >5 mm y continuas		
	Valuación		30	25	20	10	0		
5	Aguas subterráneas	Cantidad de infiltración por m de túnel	Ninguna	< 10 litros/min	10-25 litros/min.	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Presión de agua en la discont.	Cero	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Relación ----- Esfuerzo principal o mayor							
		Situación general	Totalmente seco	Húmedo	Mojado	Gotco	Flujo		
Valuación		15	10	7	4	0			

**B. Ajuste en la valuación por orientación de las discontinuidades**

Orientación de rumbo y buzamiento de las discontinuidades		Muy Favorable	favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

**C. Clasificación de rocas según el total de valuación**

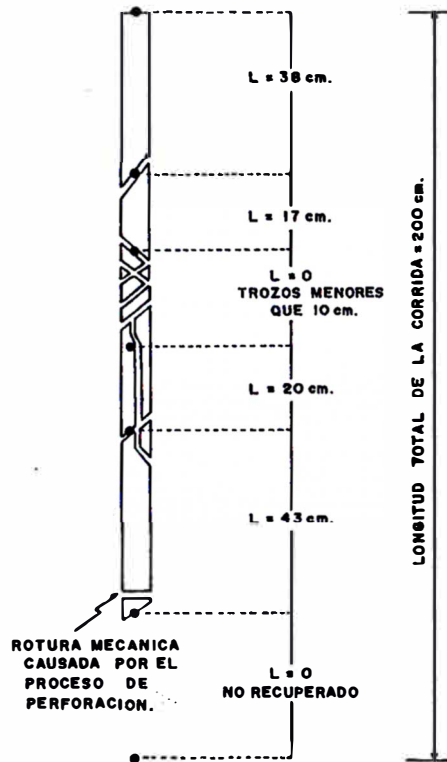
Valuación total o Índice	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
Clasificación No	I	II	III	IV	V
Descripción	Muy buena roca	Buena roca	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala

**D. Significado de la clasificación del macizo rocoso.**

Tipo N°	I	II	III	IV	V
Tiempo medio de autoaporte	10 años para luz de 15 m	6 meses para luz de 8 m	1 semana para luz de 5 m	10 horas para luz de 2.5 m	30 minutos para luz de 1.0 m
Cohesión del macizo rocoso	>400 KPa	300-400 KPa	200-300 KPa	100-200 KPa	<100 KPa
Angulo de fricción del macizo	>45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	<15°

**E. Efecto de la orientación de las discontinuidades (Para Túneles)**

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al Eje del túnel		Buzamiento 0 - 20
Avance con el buzamiento		Avance contr el buzamiento				
Buz. 45-90	Buz. 20-45	buz. 45-90	buz. 20 - 45	buz. 45-90	Buz. 20-45	Desfavorable
Muy favorable	favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavora.	Regular	



$$RQD = \frac{\sum \text{LONGITUD DE CORES } 10 \text{ cm (4 in)}}{\text{LONGITUD TOTAL DE LA CORRIDA}} \times 100\%$$

$$RQD = \frac{38 + 17 + 20 + 43}{200} \times 100\%$$

$$RQD = 59\% \text{ (REGULAR)}$$

FIG. 1

PROCEDIMIENTO PARA MEDIR Y CALCULAR EL RQD: (DESPUES DE DEERE 1,989, TOMADO DE ENGINEERING ROCK MASS CLASIFICATIONS - E. T. BIENIAWSKI 1,989).



donde:

$J_v$  = sumatoria de las diferentes discontinuidades por metro lineal, de los sistemas definidos.

- Espaciamiento entre discontinuidades.- El término discontinuidades abarca diaclasas, fallas, planos de estratificación y otras superficies de debilidad.

- Condición de discontinuidades.- Este parámetro toma en cuenta la separación o abertura de las discontinuidades, su continuidad, la rugosidad de su superficie, grado de alteración de sus paredes como su estado (duras o blandas) y la presencia de material de relleno.

- Condiciones hidrogeológicas.- Considera la influencia del agua subterránea sobre la estabilidad de las excavaciones. La clasificación se hace en base a la cantidad de flujo de agua observado que penetra en la excavación o alternativamente usando la relación que pueda existir entre la presión hidrostática y la tensión principal mayor.

Asimismo, se ha tomado en cuenta parámetros de corrección desarrollados en los últimos 20 años de aplicación de este sistema en túneles y labores mineras, este RMR modificado recibe la denominación de "MBR" (tabla 3 y 4) y los criterios de corrección son:

1.- Corrección por orientación de las discontinuidades ( $A_o$ ).- considera la influencia del rumbo y buzamiento de las discontinuidades con la finalidad de ajustar el valor de la clasificación de la masa rocosa. Ver tabla 3.

Tabla 3.- Correcciones por efecto de la orientacion (A)

	Rumbo perpendicular al eje del tunel				Rumbo paralelo al eje del tunel		Buzamiento
	Avance con el buz		Avance contra el buz				0 - 20
Buzamiento	20-45	45-90	20-45	45-90	45-90	20-45	
Correccion	0.95	1.0	0.85	0.90	0.80	0.90	0.85

Tabla 4.- Correcciones por efecto de la voladura (Ab)

Condiciones o metodo	Correccion
1. Maquina tunelera	1.0
2. Voladura controlada	0.94 - 0.97
3. Buena voladura convencional	0.90 - 0.94
4. Pobre voladura convencional	0.90 - 0.80
5. No experiencia en esta roca	0.90

2.- Corrección por tipo de excavación utilizado (Ab). - tiene que ver con el metodo empleado en la construcción del túnel, asi tenemos desde maquina tunelera (TBM), hasta los diferentes tipos de voladura empleado. En la **tabla 4**, se mencionan los diferentes metodos y sus respectivos valores de Ab.

3.- Corrección por zona de falla ó intenso corte ó presión insitu (As).- Para poder realizar esta corrección, se deben calcular tanto los componentes verticales como horizontales del esfuerzo. Se utiliza para este caso la **figura 2**, para determinar el valor de la corrección. (Para mayor información remitirse a Engineering Rock Mass Clasifications - E.T. Bieniawski 1,989)

4.- Corrección por distancia con otras excavaciones (Ad).- considera las distancias tanto vertical como horizontal de otras labores con respecto al túnel. Para calcular el valor de la corrección utilizamos la **figura 3**. En el caso de distancias horizontales, el eje de las abcisas será igual al valor inicial del RMR, multiplicado por las tres primeras correcciones.

Aplicando en la actualidad el RMR ajustado o MBR (estos ajustes varían de 1.0 a 0.5)

$$MBR = RMR \times (A_o \times A_b \times A_s \times A_d)$$

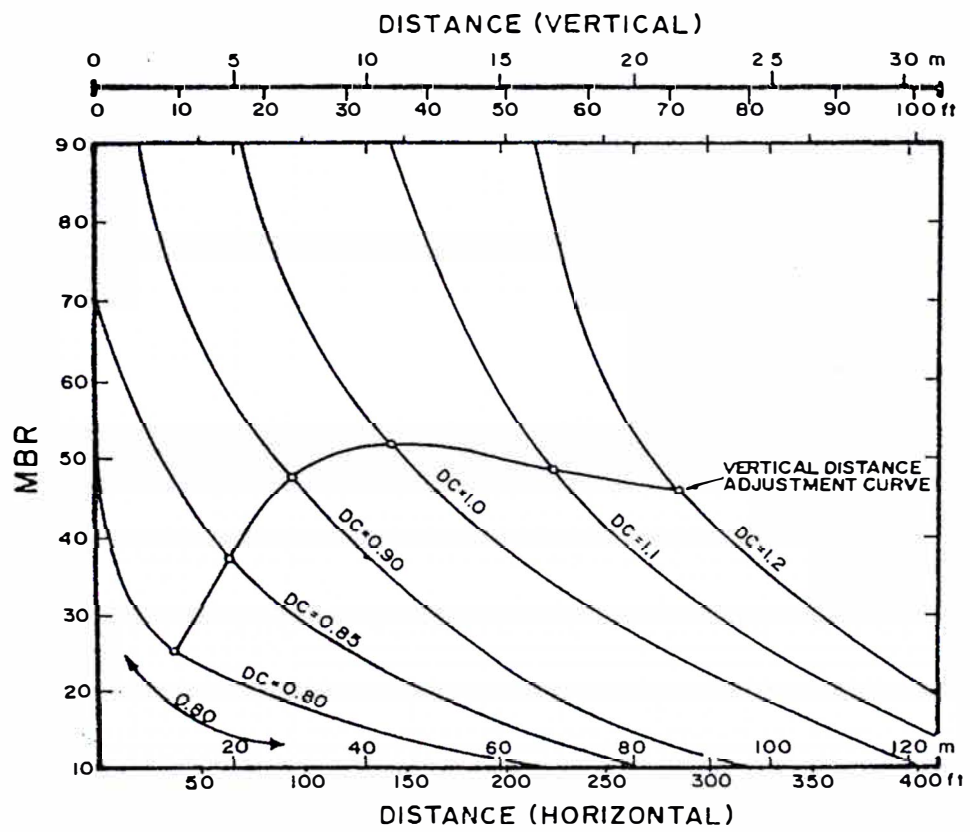


Fig.2 Corrección Ad. distancia con otras excavaciones (despues de Cummings et al., 1982).

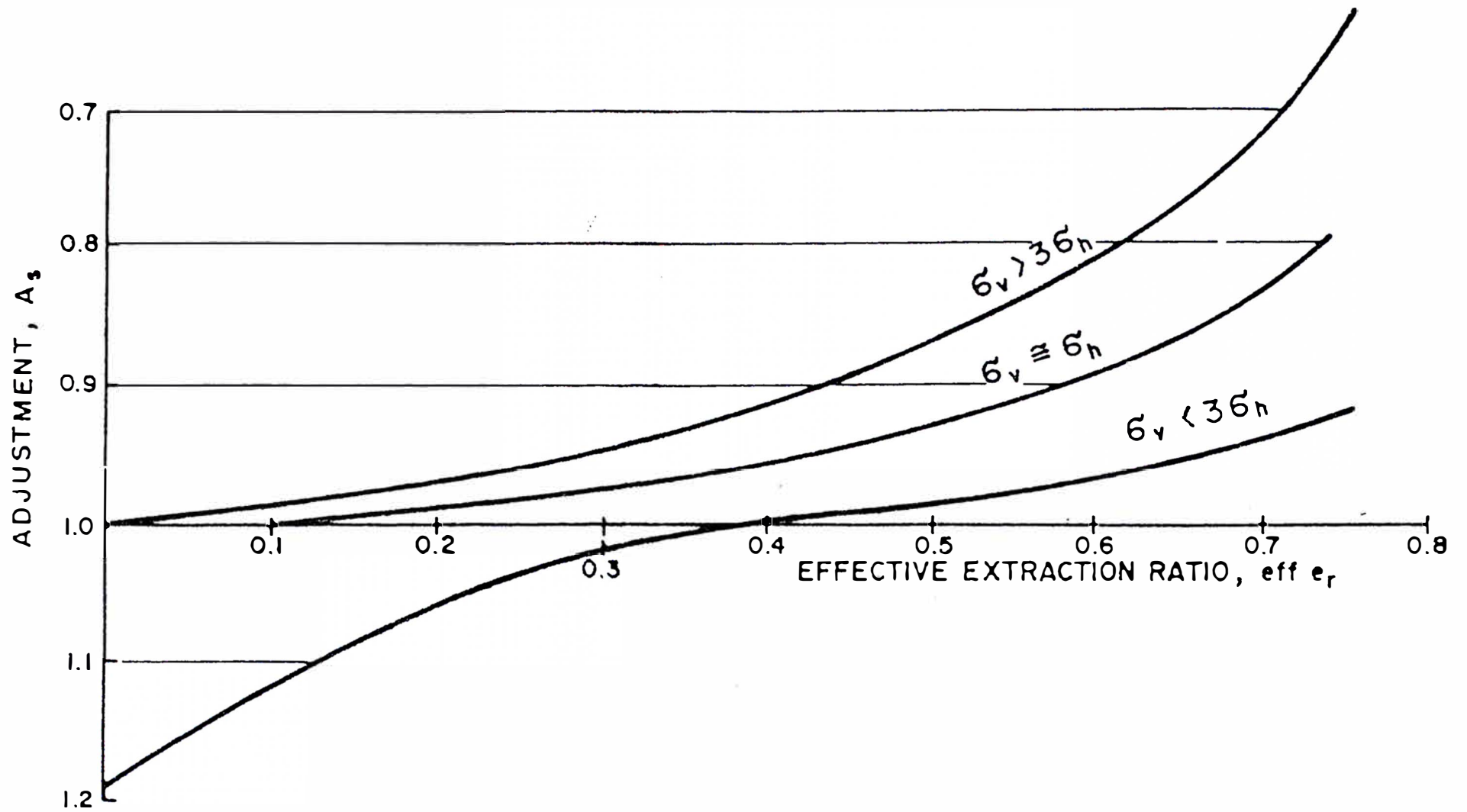


Fig.3 Corrección  $A_s$  (después de Cummings et al., 1982)

### 3.3. Clasificación índice " Q " (tabla 5).

Esta clasificación, presentada por Barton, Lien y Lunde del Norwegian Geotechnical Institute (NGI) (Instituto de Geotecnia de Noruega) consiste en determinar el índice "Q". La evaluación numérica de la calidad de la masa rocosa se basa en los siguientes parámetros:

- a.- RQD.
- b.- Número de familias de discontinuidades.
- c.- Rugosidad de la falla o discontinuidad más desfavorable.
- d.- Grado de alteración de las fisuras.
- e.- Flujo de agua subterránea.
- f.- Condiciones de esfuerzos.

El valor numérico del índice Q se define por:

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

donde:

RQD = índice de calidad de la roca de Deere, explicado anteriormente.

J<sub>n</sub> = factor de valuación de las familias de discontinuidades.

J<sub>r</sub> = factor de rugosidad de las discontinuidades.

J<sub>w</sub> = factor de alteración de las discontinuidades.

J<sub>a</sub> = factor de reducción por contenido de agua en las discontinuidades.

SRF = factor de reducción por tensiones.

El primer cociente (RQD/J<sub>n</sub>) representa la estructura del macizo y es una medida aproximada del tamaño de los bloques unitarios.

TABLA

No. 5 CLASIFICACION DE MASAS ROCOSAS PARA ESTIMAR EL REFUERZO EN EXCAVACIONES SUBTERRANEAS (SEGUN BARTON)

INDICE DE CALIDAD DE LA ROCA		NUMERO DE DISCONTINUIDADES		FACTOR DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES		FACTOR DE ALTERACION DE LAS DISCONTINUIDADES		FACTOR DE REDUCCION POR CONT. DE AGUA EN DISCONTINUIDADES		FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES	
Descripcion	RQD	Descripcion	Jn	Descripcion	Jr	Descripcion	Ja	Descripcion	Jw	Descripcion	SRF
Muy Pobre	0 - 25	Mucha con muy pocas discontinuidades	0.5	A Diccias discontinuas	4	A Ajustadas, rellenas con material compacto, impermeable e inestable (cuarzo o epidota)	0.75	Secas o flujos bajos (< 3 l/min)	1	A Muchas zonas debiles de arcilla con evidencia de interaccion quimica. Roca circundante muy suelta. Cualquier profundidad	10
Pobre	25 - 50	Un sistema de discontinuidades	2	B Rugosas e irregulares ondulantes	3	B Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidacion	1	Flujos e presiones medias que ocasionen erosion del material de relleno	0.68	B Zona debil aislada con arcilla a roca desintegrada. Profundidad = < 50 m.	5
Regular	50 - 75			C Lisas, ondulantes	2	C Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegracion de la roca.	1.5	Flujos e presiones altas en roca competente con diaclessas	0.5	C Zona debil aislada con arcilla a roca desintegrada. Profundidad > 50 m.	2.5
Buena	75 - 90	Un sistema principal y uno secundario	3	D Lustrosas, ondulantes	1.5	D Capes superficiales de material limoso o arcilloso-arenoso con una pequena fraccion cohesiva	3	Flujos e presiones excepcionalmente altas luego del disparo, disminuyendo con el tiempo	0.2	D Muchas zonas de falla en roca competente. Roca circundante suelta. Cualquier profundidad	7.5
Excelente	90 - 100			E Rugosas o irregulares planares	4	E Capes superficiales de arcilla (caolinita, mica, clorita, etc) cantidades pequenas de arcilla expansiva en capas de 1 - 2 mm de espesor	1.5	Flujos e presiones excepcionalmente altas, sin que ocurra una disminucion con el tiempo	0.1	E Zona de falla aislada en roca competente. Profundidad = < 50 m.	5
Notas : Emplear el RQD con +/- 5% de aprox.  Cuando no se disponga de testigos RQD = 115 / 3.3 Jv Jv = # de discontinu. per m3.  Si RQD < 10, emplear un valor nominal de 10		Dos sistemas de discontinuidades	6	F Lisas, planares	1	F Relleno granular no cohesivo. Roca desintegrada libre de particulas arcillosas	4	Notas : Grupos A a E : contacto entre las superficies	0.33	F Zona de falla aislada en roca competente. Profundidad > 50 m.	2.5
		Tres sistemas de discontinuidades	9	G Lustrosas, planares	0.5	G Material con alto grado de sobre consolidacion, relleno continuo (hasta de 5 mm de espesor) de material arcilloso compacto	6	Grupos F a J : contacto entre las superficies para desplazamientos de cizalla 10 cm	0.2	G Diaclessas abiertas y sueltas. Roca circundante fracturada Cualquier profundidad.	3
		tres sistemas princip. uno secundario	12	H Zona conteniendo arcilla en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superf. que limitan la discontin.	1	H.I Relleno continuo (hasta 5 mm de espesor) de material arcilloso compacto con bajo grado de sobre-consolidacion.	8	Grupos K a R : no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla	0.1	H Tensiones bajas. Poca profundidad.	2.5
		Cuatro sistemas de discontinuidades o mas (roca muy fracturada)	15	J Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que la discontinuidad	1	J Relleno continuo de arcilla expansiva ( montmorillonita). El valor de Ja depender del % de expansion el tamaño de las particulas arcillosas, la accesibilidad del agua, etc.	8 - 12		0.1	J Tensiones moderadas.	1
		Roca triturada (terroso)	20			K.L.M Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcilla (ver G, H y J para la descripcion de los tipos de arcilla)	6 - 8 o 8 - 12		0.05	K Tensiones altas. Estructura ajustada. Podria presentar problemas de estabilidad.	0.5 a 2
						N Zonas de arcilla limosa o arenosa	5			L Estallidos de roca moderadas en roca masiva.	5 a 10
						O, P, R Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G, H y J para la descripcion de los tipos de arcilla)	10 - 13 o 13 - 20			M Estallidos de rocas severos en roca masiva.	10 a 20
										N Presion moderada de roca con tendencia extrusiva.	5 a 10
										P Presion alta de roca con tendencia extrusiva	10 a 20
										O Presion moderada de roca con tendencia expansiva	5 a 10
								R Presion alta de roca con tendencia expansiva	10 a 15		
										Notas : Las zonas de debilidad de los grupos A a G se refieren a aquellos que intersectan a la excavacion y que podrian causar un aflojamiento de la roca circundante.  Grupos H a M : Rocas competentes en las que se presentan problemas de tensiones.  Grupos N a O : Rocas con tendencia extrusiva, flujo plastica o incompetencia causada por tensiones altas.  Grupos P a R : Rocas expansivas en las que la presencia de agua representa un factor importante.	

El segundo cociente ( $J_r/J_a$ ) representa la rugosidad y las características de la fricción de las paredes de las discontinuidades o del material de relleno. Donde no halla contacto entre las paredes, la situación para la estabilidad de un túnel se presenta desfavorable.

El tercer cociente ( $J_w/SRF$ ) consiste en dos parámetros relacionados con la disminución de la resistencia de la roca (acción del agua y de presiones insitu).

El SRF comprende:

- a) La pérdida de carga en el caso de excavaciones en zonas de fallas y rocas con fracturas rellenas con arcillas;
- b) Tensiones en caso de rocas competentes, y
- c) Cargas compresivas que producen deformación en rocas plásticas incompetentes.

El parámetro  $J_w$ , es una medición de la presión de agua subterránea la cual tiene un efecto negativo en la resistencia al corte de las discontinuidades debido a que reducen las tensiones normales efectivas. El cociente ( $J_w/SRF$ ) es un factor empírico complicado que describe las "fuerzas activas".

#### **3.4. Sistemas Constructivos de Túneles NTAM (Nuevo método Austriaco de Tunelería).**

La filosofía básica de retener los esfuerzos iniciales del macizo circundante, en una obra subterránea, con la finalidad de prevenir los



movimientos de material (desprendimientos, derrumbes, etc.) es el axioma básico del NTAM. Por consiguiente se define como un método de producir espacios subterráneos mediante el uso de todos los recursos disponibles, con el fin de desarrollar la máxima capacidad autosoportante de la roca o del suelo por sí mismo. Esto se lleva a cabo por la aplicación de la voladura controlada y de apropiados soportes de resistencia inicial y del revestimiento final. Esto conlleva a la aparición de una deformación necesaria, en contraste con la evolución de la carga de roca.

El soporte inicial puede consistir de concreto lanzado, arcos de acero, pernos de roca (rockbolts) o cualquier otro medio de sostenimiento, estos pueden ser aplicados solos o en combinación de unos con otros. El NTAM, sin embargo, no se restringe solamente al uso de concreto lanzado o de anclajes, o el cierre de arcos de acero, sino también al uso cada vez más difundido de un plástico impermeable (water proof plastic liner) para proteger el interior del soporte de los flujos de agua.

Para Muller (1978), el concepto de NATM, se basa en ciertos principios, proponiendo para este fin una lista de no menos de 22, siendo más importantes los que a continuación se mencionan:

- **Conservación de la resistencia de la masa rocosa.**- El método se basa en que el esfuerzo inherente existente del macizo circundante, debe ser conservado y actúa como el principal componente del soporte del túnel. El soporte inicial va dirigido a hacer posible el autosoporte de la roca, como consiguiente este soporte deberá considerar características apropiadas de carga-

deformación y el momento de su aplicación.

- **Protección con concreto lanzado.**- A fin de preservar la capacidad de carga del macizo rocoso, y de evitar el aflojamiento y las deformaciones excesivas de la roca, se aplica una capa delgada de concreto lanzado, algunas veces junto con un sistema apropiado de empernado inmediatamente después de cada avance en el frente. Es esencial que el sistema de soporte usado permanezca en contacto con la roca y con sus deformaciones.

- **Mediciones.**- El NATM requiere de la instalación de instrumentos sofisticados (Extensómetros) al momento que la primera capa de concreto lanzado es colocado; de esta manera se registra la deformación de la excavación y la carga actuante sobre el sostenimiento, proporcionando información sobre la estabilidad, que a su vez permite optimizar la información de la zona a compresión alrededor del túnel.

Las estaciones de mediciones pueden no ser predeterminadas, pero pueden ser ubicadas en lugares donde se producen cambios geomecánicos o alteraciones en la sección establecida. Estas indicaciones son en algunos casos más valiosas que el hecho de utilizar instrumentos de mayor precisión.

- **Soporte flexible.**- El NTAM se caracteriza por su versatilidad y adaptabilidad, haciendo que sea un soporte flexible en vez de un soporte rígido, se aplica generalmente sostenimiento activo en lugar de sostenimiento pasivo.

El sostenimiento inicial puede representar una parte o la totalidad del sostenimiento final requerido,

el cual es dimensionado de acuerdo a la interpretación de las mediciones.

**Convergencia.**- Como el túnel es idealizado por un cilindro de pared gruesa, es primordial la convergencia de manera que forme la zona de compresión; esto es crucial en rocas blandas donde la convergencia se realiza rápidamente y ninguna sección del túnel puede permanecer sin sostenerse, ni siquiera temporalmente.

- **Disposiciones contractuales.**- Los principios del NTAM pueden aplicarse satisfactoriamente si se tiene especificaciones contractuales especiales, el concepto del NTAM con lleva a la medición de deformaciones alrededor de la excavación y luego de la interpretación de éstas es posible efectuar cambios tanto en el diseño como en el método constructivo.

Muchas veces, el comportamiento de la estructura está influenciado por condiciones de agua impredecibles, incertidumbres geológicas, anomalías geotécnicas y tectónicas, y sobre todo el factor humano. Aun hasta los sistemas de clasificación de macizos rocosos pueden no ser suficientes para resolver este problema. La necesidad de encontrar un concepto flexible, nos lleva a usar modificaciones de acuerdo al comportamiento del soporte inicial en el avance del túnel que podría ser más obvio.

Una consecuencia inicial de las investigaciones realizadas previa a la etapa de construcción, es la determinación del diámetro de túnel, como uno de los parametros esenciales para el diseño de los procedimientos de la excavación, estableciendo las previsiones y las especificaciones para la aplicación

del soporte inicial. Esto también nos sirve como una guía para la predicción de la velocidad de excavación en condiciones difíciles en concordancia con el tiempo de aplicación del concreto lanzado.

### 3.5. Mediciones y ensayos insitu

#### a.- Mediciones de esfuerzos insitu e inducidos:

Los esfuerzos insitu pueden ser medidos en perforaciones diamantinas, en afloramientos o paredes de las excavaciones subterráneas, o calculadas a partir de mediciones de deformación hechas en subterráneo. Entre los métodos más comunes tenemos:

a.1 Perforación concéntrica (overcoring)

a.2 Manga de presión (flat jack)

a.3 Fracturación hidráulica (hydraulic fracturing)

Estos métodos se complementan unos con otros y en todos ellos el estado inicial de la roca es perturbada de manera que podemos medir su respuesta y en base a éstos, estimar los esfuerzos.

#### b.- Medición de las propiedades hidráulicas:

La determinación de la permeabilidad del macizo rocoso es necesario, en caso de que se requieran estimaciones de las filtraciones de agua dentro de las excavaciones subterráneas. La presión de agua entrampada dentro del macizo rocoso influye sustancialmente en la estabilidad de cualquier estructura construida en dicho macizo.

Entre los métodos más comunes de medir la permeabilidad insitu se encuentran:

b.1. Ensayos de cabeza hidráulica constante y cabeza hidráulica variable.- El ensayo de cabeza hidráulica variable consiste en poner agua dentro de una perforación diamantina, normalmente vertical, luego medir el tiempo que toma el agua en llegar a su nivel original. La permeabilidad K está definida por:

$$K = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \times \ln \frac{H_1}{H_2}$$

El ensayo de cabeza hidráulica constante, consiste en medir la cantidad de agua que es necesaria añadir a una perforación diamantina de manera que la cabeza se mantenga constante. La permeabilidad se define como

$$K = \frac{q}{F H_c}$$

donde:

A = área de la sección transversal de la columna de agua.

F = constante que depende de las condiciones del fondo de la perforación.

F = 2.75 d perforación entubada.

F = 2.00 d perforación entubada que termina en estrato impermeable.

H1, H2 = niveles de agua en la perforación, medidos en los tiempos t1 y t2 respectivamente.

q = flujo de agua.

Hc = nivel de agua que se debe mantener constante.

b.2. Ensayos de presión de agua o prueba de Lugeon.- Consiste en bombear agua en una sección confinada de una perforación diamantina, para luego medir las pérdidas de flujo de agua en intervalos de tiempos fijos. Los resultados obtenidos se expresan en unidades Lugeon, que es equivalente al flujo de 1 litro de agua por minuto por metro de longitud de perforación. Este método es más apropiado para masas rocosas fisuradas donde a veces, es posible aislar una o un grupo de discontinuidades y determinar su permeabilidad.

### 3.6. Ensayos de laboratorio (Gabinete)

#### a.- Ensayos de propiedades físicas:

La serie de ensayos que se realizan en esta fase, están destinados a determinar las propiedades físicas de las rocas (macizo rocoso) como son: el peso unitario seco y saturado, la porosidad y la absorción. Todos estos ensayos han sido estandarizados por la ISRM (International Society of Rock Mechanics).

La finalidad de estos ensayos es describir la roca cuantitativamente con el objeto de lograr una clasificación en forma menos subjetiva. Estos ensayos son muy rápidos y sencillos y deben formar parte inicial de cualquier intento de clasificación del macizo rocoso.

#### b.- Ensayos de compresión simple:

La preparación de las muestras, para este tipo de ensayos y los subsiguientes deben hacerse con mucho cuidado. Las muestras son obtenidas en su mayoría de

los cores de los bloques de roca llevados al laboratorio. Las muestras en forma de testigos cilíndricos de perforación diamantina son preferidas para una clasificación más precisa; estas guardan cierta relación: altura/diámetro dependiendo del tipo de ensayo a realizarse.

En los ensayos de compresión simple la relación alt/diámt. debe ser entre 2. y 2.5. El procedimiento es el siguiente: Se carga axialmente en una máquina de compresión y se registra la carga de rotura. La resistencia a la compresión se obtendrá en dividir el valor de la carga de rotura por el área de la sección transversal del cilindro.

c.- Ensayos de tracción indirecta:

Consiste en cargar diametralmente un disco de roca con una relación altura/diámetro de 0.5 - 1.0, hasta que se produzca la rotura. El plano de falla es generalmente paralelo a la dirección de aplicación de la carga. La resistencia a la tracción se obtiene usando la siguiente ecuación:

$$T_o = \frac{2 F_c}{\pi D L}$$

donde:

$T_o$  = resistencia a la tracción.

$F_c$  = carga de rotura.

$D$  y  $L$  = diámetro y altura del cilindro.

d.- Ensayos de compresión triaxial:

La preparación de la muestra es similar al del

ensayo de compresión simple. Consiste en aplicar una presión de confinamiento constante a las caras laterales del cilindro por medio de una celda metálica, (celda Hoek) y simultáneamente aplicar una carga axial hasta producir la rotura del cilindro.

e.- Ensayos de propiedades elásticas:

Como los anteriores, estos ensayos se realizan en muestras cilíndricas, a las cuales se les adhiere bandas extensométricas (strain gauges) en dirección axial y tangencial. Las deformaciones se miden después de cada incremento de carga dentro del rango elástico de la roca. Estos ensayos pueden realizarse en muestras sometidas a carga uniaxial o triaxial, siendo el propósito obtener los módulos de elasticidad y Poisson de la roca.

f.- Ensayos de índice de resistencia:

Normalmente se realiza este ensayo en el campo, usando los testigos de la perforación diamantina. Consiste en cargar la muestra de roca entre dos conos de acero hasta causarle la fractura debido a las tensiones de tracción que se desarrollan en la dirección paralela a la de la aplicación de la carga.

La falla se producirá por tracción y el índice de resistencia se expresa:

$$I_s = \frac{P}{D}$$

donde:

$I_s$  = índice de resistencia

$P$  = carga de rotura

$D$  = distancia entre los conos de carga.



La relación altura/diámetro que debe existir en la muestra de los testigos de perforación diamantina debe ser  $1.1 \pm 0.4$ .

g.- Permeabilidad:

Estos ensayos solo se realizan cuando la muestra a estudiarse sea de un material poroso y bastante homogéneo. No se recomienda realizarlo en rocas fracturadas donde las discontinuidades pueden hacer variar la permeabilidad local de la muestra, dependiendo si ésta interseca ó no a una discontinuidad. Los métodos de ensayo son similares a los usados en mecánica de suelos.

## 4.0 DESCRIPCION DEL FORMATO (ver f6rmat0 N° 1)

### 4.1. Datos generales

Se considera dentro de este rubro los aspectos generales de la obra, como son:

- Nombre del proyecto (1).
- Nombre del t6nel (2).
- Compa1a que ejecuta el proyecto (3).
- Compa1a encargada de la supervisi6n (4).
- Responsable del mapeo (14).

### 4.2. Datos geol6gicos

Comprende los siguientes puntos:

- Descripci6n litol6gica (6).- En donde se har6 menci6n al tipo de litolog1a, el estado en que se encuentra (alteraci6n), el grado de dureza, el grado de estratificaci6n, el tipo de estructuras que presenta y otros comentarios que nos ayuden a tener una idea inicial del tipo de roca que tenemos. Esta informaci6n deber6 ser lo m6s concisa posible.

Mapeo geol6gico (10).- Comprende el registro gr6fico del mapeo propiamente dicho, donde se se1alar6n los tipos de estructuras que atraviezan el t6nel (fallas, fracturas, diques, sills, etc.) la litolog1a, las zonas donde se presenta humedad (goteo, flujo, etc)

- Simbolog1a (13).- Con la finalidad de lograr una mayor claridad en la presentaci6n de los datos geol6gicos se recomienda el uso de s1mbolos, estos estar6n relacionados al tipo de litolog1a, presencia de discontinuidades ( fallas, diaclasas, fracturas,

contactos litológicos, etc.), condiciones hidrogeológicas, que nos ayuden en la interpretación de las condiciones que se presentan. Para la determinación de la simbología a utilizar, se empleará la simbología de INGEMMET, GEOLOGICAL SURVEY, etc. Asimismo se incluye los símbolos para el tipo de soporte utilizado.

#### **4.3. Datos geomecánicos**

Una vez realizado la primera zonificación estructural, se procede a la clasificación de los macizos rocosos en base a los siguientes sistemas:

- Clasificación índice "Q" (7).

Clasificación sistema "CSIR" (8).

- Progresivas (9).- Distancia del túnel con respecto al portal de entrada, de acuerdo a esto se conoce de que tramo a tramo corresponde los dominios estructurales que se han determinado conjuntamente en el mapeo y con los índices de clasificación.

#### **4.4. Soporte temporales y definitivos**

En base a los sistemas de clasificación de macizos rocosos se procede a la estimación de los requerimientos de soporte, indicando el tipo de soporte temporal (11) y definitivo (12), su ubicación exacta, la forma como deberá ser colocado (15), algunas anotaciones y la simbología empleada (16) (p.e. tipo de soporte, pernos, mallas, etc.

#### **4.5. Ensayos, muestreos e instrumentaciones**

En caso de haberse realizado algún ensayo, se indicara el tipo de ensayo, el lugar donde se llevo a cabo y los resultados obtenidos. Se considerará los siguientes puntos:

PROYECTO:

1 TUNEL:

2 EJECUTADO:

3 REVISADO:

4

AVANCE DIARIO

5

DESCRIPCION LITOLOGICA

6

CLASIFICACION INDICE "Q" (No1)

7

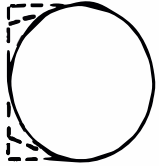
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"

8

PROGRESIVAS

9

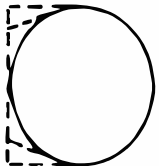
MAPEO GEOLOGICO



Fecha:

10

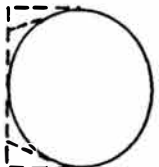
SOORTE TEMPORAL O INMEDIATO



Fecha:

11

SOORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO



Fecha:

12

SIMBOLOGIA



13

14

- Muestras de rocas o rellenos. Ensayos de Laboratorio (18).

Ensayos in situ (19).

Muestras de agua (20).

#### 4.6. Control de calidad

Es el control que se lleva a cabo una vez colocado el soporte o revestimiento (21), en donde incluso se pueden realizar algunos ensayos, para comprobar que los sostenimientos no tengan ninguna deficiencia, como por ejemplo pruebas de arranque.

#### 4.7. Observaciones

Donde se hace mención algún tipo de anomalía, que se presento durante la etapa de mapeo y/o colocación de los soportes, que se considere necesario hacer resaltar para tenerlo presente. Esto lo anotaremos bajo el nombre de

Ocurrencias de excavación, soporte o revestimiento (17).

## 5.0 METODOLOGIA DEL MAPEO

### 5.1. Reconocimiento

Esta etapa comprende la revisión de toda la información disponible:

- fotografías aéreas.
- mapeos de superficie.
- testigos de perforación diamantina.
- labores experimentales ejecutadas, con la finalidad de tener una idea sobre las condiciones estructurales, aguas subterráneas, que esperamos encontrar en el desarrollo del túnel.

En el caso de mapeos de superficie, se debe realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso, para luego proyectar estos datos hacia el túnel y así tener una primera zonificación estructural.

### 5.2. Preparación

Antes de iniciar el desarrollo de la metodología, haremos una revisión al equipo básico de mapeo con que debemos contar:

- 01 brújula.
- 01 wincha (30 mt).
- equipo básico de geología (bizcocho de porcelana, ácido, cuchilla, imán, lapices de color, etc.).
- flexometro de 3 m.
- picota.
- libreta de campo.
- formato de mapeo.
- protactor.

Para un mejor desarrollo de la fase del mapeo, se

recomienda ubicar puntos en las paredes (astiales) del túnel cada 10 mts. En lo posible tomar como referencia un punto topográfico.

Asimismo se prepara un plan de trabajo de detalle insitu, en el que se programará las etapas y los tiempos que llevará efectuar cada una de ellas, de manera que el estudio sea debidamente planificado.

### 5.3. Plan de mapeo geológico-geotécnico insitu.

#### 5.3.1 Determinación de dominios estructurales

El análisis detallado de las estructuras geológicas, debe comprender el uso de las proyecciones estereográficas (diagramas de puntos y frecuencias) que nos permitirá representar la posición y la dirección preferencial del fracturamiento que presenta el macizo rocoso. Es recomendable preparar este tipo de proyecciones para cada tipo de roca; así como también, el hecho de que varíen las discontinuidades implica necesariamente separar las proyecciones en áreas específicas.

El objetivo de todo este trabajo previo, es la de dividir el macizo rocoso a lo largo del túnel en "DOMINIOS ESTRUCTURALES", los cuales presenten discontinuidades con condiciones similares.

La variación en la población de las discontinuidades puede ser usado para evaluar las estructuras plegadas o plegamientos asociados con fallas. La variación de las familias de

discontinuidades nos ayuda a determinar el número de estas familias, su orientación y si estos están relacionados a plegamientos u otras deformaciones. Las fallas también se pueden plotear en las proyecciones para determinar familias de fallas existentes y si estas se relacionan a familias de discontinuidades ó a rasgos regionales.

### 5.3.2. Mapeo de línea de detalle.

Continuando con el desarrollo de la metodología del mapeo, tenemos la etapa correspondiente al mapeo de línea de detalle; este método consiste en colocar una wincha en la cara de la excavación, de preferencia en posición horizontal a una altura determinada con respecto al piso; en otros casos se podrá trabajar en una de las paredes de la labor. Se recomienda pintar en la pared la proyección de la cinta, marcando puntos cada metro y si de ser posible enumerar las discontinuidades para un mejor control, al momento de realizar las mediciones.

Para cada discontinuidad que interseca a la proyección de la cinta, se tomará los siguientes datos:

+ Posición con respecto al origen de la cinta (coordenadas, cota).

+ buzamiento y dirección del buzamiento del plano de la discontinuidad.

+ semitraza de la discontinuidad.



<b>REGISTRO LINEAL</b>				UBICACION		<b>UNI</b> GEOLOGIA - TESIS
				TIPO DE ROCA		
				ORIENTACION		
REGISTRO No	No de Discon.	Línea Incl.	Azímuf	CONDICION		Hoja _____ de _____
				DIMENSIONES		Hecho Per _____ Fecha _____

DISCONTINUIDAD	DISTANCIA.	ORIENTAC. DE LA DISCONT.		LONGITUD DE SEMI TRAZA	TERMINACION	TIPO	ABERTURA	RELLENO	RUGOSIDAD	ONDUL.	OBSERVACIONES
	Distancia a la interseccion la discontn. (m)	Buzamiento (°)	Direccion de Buzamiento (°)	Longitud de la traza per encima o a la derecha de la cinta	1-Oscura 2-En roca intacta 3-En otra discontinuid.	1-Falla 2-Estratificacion 3-Tension 4-Corte 5-Otros (indicar)	1-Cerrada 0 2-Muy angosta 0.1 3-Angosta 0.1-1.0 4-Abierta 1.0-5.0 5-Muy abierta 5 Dar dimensiones	1-Limpia 2-Decolorada 3-Arcilla inactiva 4-Arcilla expansiva 5-Clarifa, yeso, talco 6-Otros (indicar)	1-Lisa o estriada 2-Ligeramente rugosa 3-Medianamente rugosa 4-Rugosa 5-Muy rugosa	1-Plana 2-Poco ondulante 3-Ondulante	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											

+ tipo de terminación (oscuro, otra discontinuidad o roca intacta).

+ dimensión de la abertura.

+ tipo de relleno y alteración de la discontinuidad.

+ rugosidad y ondulación.

Se dará importancia a la longitud de la cinta y al número de discontinuidades mapeados debido a que se procederá posteriormente a un análisis estadístico de las mediciones. Para efecto de la toma de datos utilizaremos el formato N° 2.

### 5.3.3. Clasificación Geomecánica.

Los sistemas que empleamos son: el Índice RMR y el Índice Q, primeramente empezaremos a explicar la forma de realizar la clasificación del índice RMR, es decir la de los parámetros y su evaluación en base a las especificaciones que se dan en la tabla.

#### INDICE RMR

Parámetro : Resistencia de la roca intacta.- definido en base a ensayos de Índice de carga puntual ( $I_s$ ) o de ensayos de Resistencia a la compresión uniaxial ( $\tilde{\sigma}_c$ ), existiendo entre ambos la siguiente relación:

$$\tilde{\sigma}_c = 24 I_s \quad (*) \quad \text{El valor de esta constante para cores de 54 mm. (1)}$$

En el caso de no realizarse estos ensayos, se puede utilizar la propuesta de Deere y Miller (1966) del grado de dureza del macizo rocoso, en función a golpes de picota; así tenemos :

Descripción	Resistencia estimada
Se requiere de varios golpes de picota para romperse	> 200 MPa
Se rompe con uno o dos golpes de picota	100 - 200 MPa
Se identifica con la picota	50 - 100 MPa
Se disgrega con golpes de picota	20 - 50 MPa
Se rompe fácilmente con la mano	< 20 MPa

En base a los resultados obtenidos, es que procedemos a realizar la evaluación de este parámetro; así por ejemplo para una roca con una resistencia a la compresión uniaxial entre 50 - 100 MPa corresponde un valor de 7.

Parámetro : RQD .- Para este caso, hay dos formas de proceder a la evaluación de este parámetro :

1ero.- Cuando se cuente con cores de perforación diamantina, de diámetros NCWL o NXWL o equivalentes, además la roca deberá ser fresca a moderadamente alterada, entonces se utiliza la siguiente relación :

$$RQD(\%) = \frac{100 \times \text{Long. de núcleos mayores de } 10\text{mm}}{\text{Long. de la corrida}}$$

2do Cuando no se cuente con cores de perforación diamantina, se utiliza la siguiente relación :

$$RQD - 115 - 3.3 J_v$$

donde :

$J_v$  = sumatoria de las diferentes discontinuidades por metro lineal, de los sistemas definidos.

En la tabla (2) de acuerdo al valor obtenido del RQD, se procede a la evaluación de este parámetro, p.e.

Para un RQD - 80 % ----> parámetro - 17

**Parámetro Espaciamiento de las discontinuidades.**- Lo que se evalúa en este caso es la distancia entre las discontinuidades, entendiéndose por este termino a las diaclasas, fracturas, fallas, estratificación, etc, generalmente se toma el menor espaciamiento para proceder a la valuación del parámetro.

**Parámetro Estado de las discontinuidades.**- Es una análisis detallado de las condiciones de las discontinuidades, observando en cada una de ellas la rugosidad de su superficie, la continuidad de la discontinuidad, la separación entre sus paredes, el tipo de relleno y el estado de sus paredes.

**Parámetro Aguas subterráneas.**- El principal efecto de la presencia de aguas subterráneas en el macizo rocoso, es la reducción en la estabilidad

como resultado que ejerce la presión de agua sobre las discontinuidades, de ahí la importancia de este parámetro, existiendo para tal fin, tres formas de evaluar este parámetro

1ero.- Midiendo la cantidad de infiltración por metro del túnel.

2do A través de la relación presión de agua/esfuerzo principal o mayor (\*).

3ero.- Y a través de la observación visual de la situación general.

#### **INDICE Q**

Parámetro: Índice de calidad de la Roca (RQD).- Para calcular el RQD se procede de forma análoga como en la clasificación anterior, solo con la diferencia que se emplea el RQD con +/- 5% de aproximación, al momento de realizar el cálculo del índice Q.

Parámetro: Número de discontinuidades (Jn).- Consiste en la identificación y cuantificación de los diferentes sistemas de discontinuidades, presente en cada dominio estructural preestablecido.

Parámetro: Rugosidad de las discontinuidades (Jr).- Se observa en este caso la rugosidad de las paredes de las discontinuidades, considerándose para la evaluación las discontinuidades más desfavorables para la excavación.

Parámetro: **Alteración de las discontinuidades (Ja).**- Se refiere al grado de alteración de las paredes de las discontinuidades, así como el material de relleno presente entre las paredes, es importante la identificación del tipo de relleno, sobre todo cuando se trate de arcillas expansivas.

Parámetro: **Reducción por contenido de agua en las discontinuidades (Jw).**- Se trata de determinar el efecto que causa la presión de agua sobre la excavación.

Parámetro: **Factor de reducción por tensiones (SRF).**- Relaciona la competencia del macizo rocoso con la presión litostática que es ejercida sobre la excavación; para este caso se debe considerar la profundidad en que está la obra y la historia geológica de la masa rocosa.

Barton considera que los parámetros  $J_n$ ,  $J_r$  y  $J_a$  juegan un papel importante que la orientación de las discontinuidades, además si esta fuese incluida, la clasificación podría ser menos general, sin embargo la orientación esta implícita en los parámetros  $J_r$  y  $J_a$  por que estos se aplican en las fisuras más desfavorables.

Esta clasificación se caracteriza por ser cuantitativa e ingenieril que facilita el diseño de soporte en el túnel.

## 5.4. Trabajo de Laboratorio.

### 5.4.1. Ensayos de muestras.

Se describe a continuación la metodología

para realizar el ensayo diametral y el ensayo axial.

Ensayo diametral.- los especímenes cilíndricos obtenidos a partir de testigos diamantinos con una relación long./diam.  $>1.4$  son los más recomendables. El espécimen es insertado en la maquina de ensayos y las platinas cerradas de forma que hagan contacto con él a ambos lados de su diametro, asegurándose que las distancias "L", entre el punto de contacto y la cara libre mas cercana sea de por lo menos  $0.7D$ ; donde "D" es el diametro del testigo y, por lo tanto, la separación entre las platinas. la distancia "D" se registra en una hoja de datos al igual que "L" y la carga se incrementa hasta producir el fallamiento del espécimen, la carga P es registrada.

Ensayo Axial.- para el ensayo axial, se deben emplear especímenes obtenidos a partir de sondajes diamantinos con una relación longitud/diametro de  $1.1 \pm 0.05$ . Aunque la experiencia de campo ha demostrado que no es fácil realizar este ensayo, en especímenes que caen dentro de este rango. Para este caso si se obtienen especímenes con una tolerancia de  $1.1 \pm 0.4$ , se pueden obtener resultados satisfactorios que son empleados corrigiendo el valor del índice obtenido ( $I_m$ ) por un factor de forma (C) fig.\$

$$I_k = I_m \times C$$

El espécimen es insertado en la máquina de ensayos y las platinas son cerradas hasta que

hagan contacto con el espécimen a lo largo de su eje. La distancia "D" (la separación entre las platinas ó en este caso la longitud del testigo) es registrada y la carga se incrementa hasta que falle el espécimen. La carga P es registrada.

No teniendo especímenes de sondajes diamantinos, se puede realizar este ensayo con muestras irregulares con diámetros de aproximadamente 50 mm. y con una relación de mayor a menor diámetro entre 1.0 y 1.4, para lo cual son seleccionados y tallados con una técnica apropiada. Cada trozo es insertado en la máquina de ensayos y las platinas cerradas hasta que hagan contacto a lo largo del mayor diámetro, evitando bordes y esquinas y se procede igual como si se tratase de especímenes cilíndricos.

Para el caso de rocas estratificadas, esquistosa o que presenten cualquier otro tipo de anisotropía, los ensayos deberán ser hechos en ambas direcciones de la misma cuando el testigo diamantino corta normalmente a la estratificación. Se debe tener cuidado para asegurar que la carga se aplicará a lo largo y perpendicular al plano de discontinuidad.

El índice de resistencia a la carga puntual (Is) será :

$$I_s = P/D^2$$

donde P - carga  
D - separación entre las platinas  
Is= índice de resistencia (MPa).



Para cada juego de datos en un tipo de roca dado, se sugiere calcular la mediana, la media, la desviación estandar y el coeficiente de dispersión, con la finalidad de indicar la variabilidad de la resistencia de cada tipo de roca.

En ensayos diametrales, donde el diámetro del testigo (D) se mantiene constante la carga promedio de falla (P) puede ser encontrada primero, luego el índice aplicable para esta carga es calculado y la corrección de tamaño aplicada.

En ensayos axiales y sobre trozos irregulares, el índice deberá ser calculado para cada corrección por tamaño. Finalmente, se calcula la media, la mediana, la desviación estandar y el coeficiente de dispersión.

## 5.5. Estudios de gabinete.

### 5.5.1 Interpretación de mapeo y ensayos.

Con los datos de geología estructural; identificamos los diferentes sistemas de discontinuidades (orientación y buzamiento) determinando el efecto que pueden causar con respecto al eje del túnel. Para el procesamiento de esta información nos ayudamos de la proyección estereográfica, a la vez que usamos el STENET DIPS, que es un software que nos proporciona la gráfica de la concentración de polos en la net de WULFF, que nos ayuda a determinar la orientación de los sistemas de fracturamiento, mientras que la dirección de tensión principal la podemos

hallar en base a' datos de falla (rumbo, buzamiento, dirección de buzamiento, medición del pitch y su dirección, tipo de movimiento) por el metodo de los diedros rectos o el programa de MERCIER, con la finalidad de determinar la orientación adecuada del eje mayor de la excavación.

Los datos de litología y los datos estructurales, nos ayudan a definir los dominios estructurales a lo largo del túnel, procediendo a realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso y tener una idea de las condiciones geomecánicas presentes en la excavación.

Por otra parte, en base a los resultados de los ensayos (insitu y gabinete), podemos precisar los esfuerzos insitu, que actuan sobre el macizo rocoso (estos pueden ser calculados tambien através de estaciones de medición de convergencia), las presiones de agua, las propiedades físicas de la roca, etc. Todo esto con la finalidad de hacer más exacta la clasificación geomecánica.

#### 5.5.2 Determinación del tipo de sostenimiento.

##### - INDICE RMR

1°.- Se calcula el indice original, sumando los valores de los cinco parámetros descritos en la tabla N° 2, que son asignados teniendo en cuenta las condiciones geológico estructurales que presenta el tramo al momento de realizar la clasificación.

$$\text{RMR}(o) = I1 + I2 + I3' + I4 + I5$$

2°.- De acuerdo a las características estructurales, se procederá a realizar las correcciones por el efecto que puedan presentar la orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación (rumbo y buzamiento), dependiendo de la aplicación que se le va dar: tunelería, minería, taludes o fundaciones.

$$\text{RMR}(a) = \text{RMR}(o) - I6 \text{ (Túneles)}$$

Para minería utilizamos el MBR:

$$\text{MBR} = \text{RMR} \times A_o \times A_b \times A_s \times A_d \text{ (Minería)}$$

El I6 es igual al A<sub>o</sub>.

Con estos dos valores, nos vamos a la tabla No 6, donde encontraremos las recomendaciones para el soporte. Estas recomendaciones están dirigidas a trabajos de ingeniería civil para túneles con luces de 10 mts. y que van a ser excavadas por perforación y voladura y en profundidades menores a 1000 mts.

En caso de túneles y cámara es posible correlacionar el valor hallado en la clasificación con la máxima luz y el período que puede permanecer sin sostenimiento.

#### INDICE Q.

1°.- Una vez seleccionado los diferentes valores para cada parámetro de acuerdo a la Tabla No 5, calculamos el índice Q, en base a la relación conocida:

TABLA No 6 MODIFICACION DE LA CLASIFICACION GEOMECANICA Y RECOMENDACIONES PARA REFUERZO DE EXCAVACIONES MINERAS

Indice	INDICE ORIGINALES										
	Ajustados	90 - 100	80 - 90	70 - 80	60 - 70	50 - 60	40 - 50	30 - 40	20 - 30	10 - 20	0 - 10
70 - 100											
50 - 60			a	a	a	a					
40 - 50				b	b	b	b				
30 - 40					c,d	c,d	c,d,e	d,e			
20 - 30						g	f,g	f,g,j	f,h,j		
10 - 20							i	i	h,i,j	h,j	
0 - 10								k	k	1	1

- a.- generalmente sin refuerzo, empernado ocasional en las intersecciones de discontinuidades
- b.- empernado sistematico (cementado) 1 m de espaciamiento.
- c.- empernado sistematico (cementado) 0.75 m de espaciamiento
- d.- empernado sistematico (cementado) 1m de espaciamiento. Shotcrete de 100mm de espesor
- e.- empernado sistematico (cementado) 1 m. de espaciamiento. Revestimiento de concreto de 300mm de espesor, solo si tensiones no son excesivas.
- f.- empernado sistematico (cementado) 0.75 m de espaciamiento. Shotcrete de 100mm de espesor.
- g.- empernado sistematico (cementado) 0.75 m de espaciamiento. Shotcrete con malla de alambre de 100 mm de espesor
- h.- revestimiento de concreto de 450 mm. de espesor, con empernado sistematico (cementado) 1 m de espaciamiento solo si tensiones no son excesivas.
- i.- empernado sistematico (cementado) 0.75 m de espaciamiento. Shotcrete de 100mm de espesor y arcos flexibles de acero si las tensiones son excesivas.
- j.- estabilizacion con cables y revestimiento de concreto de 450 mm. de espesor si tensiones no son excesivas
- k.- estabilizacion con cables y shotcrete en paredes y frente. Arcos flexibles de acero a poco espaciamiento como medidas de reparacion donde las tensiones son excesivas
- 1.- tratar de evitar este terreno o sino usar recomendaciones j o k.

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

2°.- Procedemos a calcular la dimensión equivalente (definido por Barton, Lien y Lunde) que se obtiene de la siguiente relación:

$$De = \frac{\text{Luz de la excavación, diám. o alt.}}{ESR}$$

donde: ESR (Excavation Support Ratio), es un parámetro que depende del uso que se dará a la excavación, además esta en función del grado de inestabilidad a tolerarse. La tabla No 7 presenta los valores sugeridos para el ESR.

3°.- La relación entre el índice Q y la dimensión equivalente de una excavación, determina el apropiado soporte, como se muestra en la fig 4, que provee las correspondientes 38 categorías de soporte, especificando los soportes permanentes estimados (tabla No 8) . Para la determinación del soporte temporal, el valor del índice Q es incrementado a 5Q ó el ESR se incrementa a 1.5 ESR.

Como se podrá notar, la longitud de los pernos no se especifica en la tabla de soporte, pero ésta es determinada de la ecuación siguiente

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

donde B - ancho de la excavación.  
L = longitud del perno.

**Tabla No 7.- Valores del ESR \***

<b>Categoria</b>		<b>Indice RMR</b>
<b>A</b>	<b>Excavaciones mineras temporales</b>	<b>3 - 5</b>
<b>B</b>	<b>Labores verticales de:</b>	
	<b>Seccion circular</b>	<b>2.5</b>
	<b>Seccion rectangular</b>	<b>2.0</b>
<b>C</b>	<b>Excavaciones mineras permanentes, tuneles para hidroelectricas, tuneles pilotos.</b>	<b>1.6</b>
<b>D</b>	<b>Depositos subterraneos, tuneles de carreteras y ferrocarriles secundarios y tuneles de acceso</b>	<b>1.3</b>
	<b>Casa de maquinas en hidroelectricas, tuneles de</b>	
<b>E</b>	<b>Carreteras o ferrocarriles principales, portales e intersecciones.</b>	<b>1.0</b>
<b>F</b>	<b>Casa de maquinas de centrales nucleares, estaciones subterraneas de ferrocarriles, areas publicas en subterraneo.</b>	<b>0.8</b>

\* Segun Barton, 1974

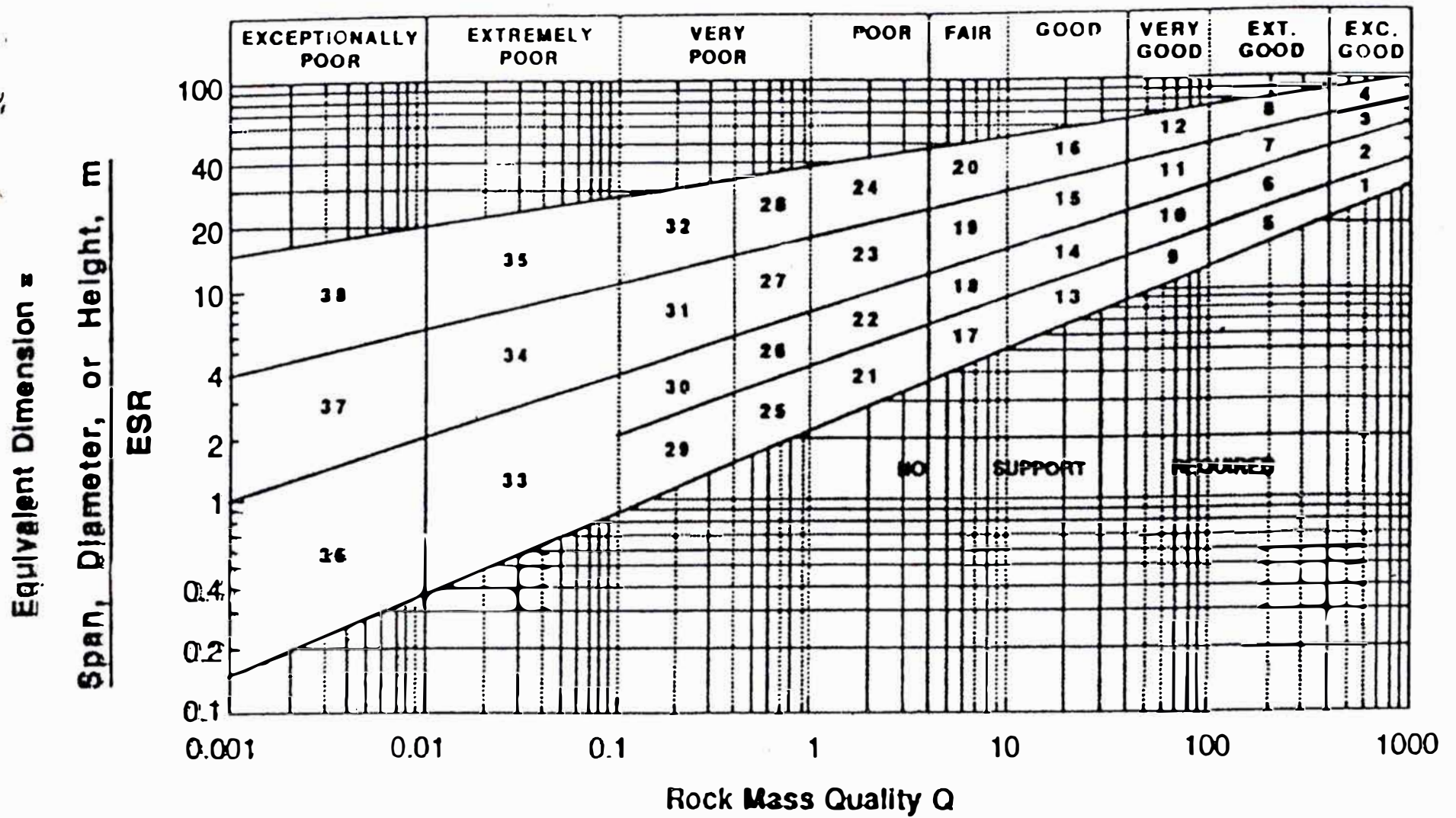


Fig. 4 Sistema Q - dimension equivalente versus calidad del macizo rocoso. (despues de Barton et al., 1974, Tomado de Engineering Rock Mass Clasificacions et. Bieniawski 1989)

El sostenimiento recomendado finalmente, será una combinación del obtenido tanto por el Índice RMR como del Índice Q, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos del RMR, tienden a ser un poco conservadores, lo cual puede llevar a sobredimensionar el diseño de soporte. Este aspecto nos conlleva a realizar un monitoreo del comportamiento de la roca, durante la construcción del túnel y ajustar las predicciones de la clasificación a las condiciones locales.

#### Correlación del índice RMR con el índice Q

Para túneles de ingeniería civil

$$\text{RMR} = 9 \text{ Ln } Q + 44 \quad (\text{Bieniawski, 1976})$$

Para túneles mineros

$$\text{RMR} = 10.5 \text{ Ln } Q + 42 \quad (\text{Abad et.al 1983})$$

#### 5.5.3 Elaboración de informe, incluye planos y especificaciones técnicas.

En primer lugar se mencionaran las conclusiones y recomendaciones del estudio, como también las especificaciones técnicas del sostenimiento

Tipo de sostenimiento (refuerzo o soporte)

Forma de ser colocados.

- Costo del sostenimiento.

La información que será transferida a los planos estará constituida por :

localización gráfica de las condiciones



geológicas, tales como: contactos, fallas, estratificación, etc.

- localización de estaciones de medición.
- los valores de la clasificación geomecánica
- localización e indicación de los soportes existentes y temporales.
- localización e indicación de los soportes definitivos.

Además de secciones geológicas a lo largo del túnel.

TABLA No 8 Soportes recomendados basados en el índice Q (segun Barton, 1974)

A.- MASAS ROCOSAS DE BUENA CALIDAD

Categoría	RQD/Jn	Jr/Ja	De(m)	Refuerzo recomendado	Notas
1	-	-	-	eo/cst	-
2	-	-	-	eo/cst	-
3	-	-	-	eo/cst	-
4	-	-	-	eo/cst	-
5	-	-	-	eo/cst	-
6	-	-	-	eo/cst	-
7	-	-	-	eo/cst	-
8	-	-	-	eo/cst	-
9	>=20	-	-	eo/cst	-
	<20	-	-	es/cst(2.5 - 3.0)	-
10	>=30	-	-	es/cst(2.5 - 3.0)	-
	<30	-	-	es/cst(1.5 - 2.0) + ma	-
11	>=30	-	-	es/ct (2.0 - 3.0)	-
	<30	-	-	es/ct (1.5 - 2.0) + ma	-
12	>=30	-	-	es/ct (2.0 - 3.0)	-
	<30	-	-	es/ct (1.5 - 2.0) + ma	-
13	>=10	>=1.5	-	eo/cst	1
	>=10	< 1.5	-	es/cst (1.5 - 2)	1
	< 10	>=1.5	-	es/cst( 1.5 - 2)	1
	< 10	< 1.5	-	es/cst(1.5 - 2) +sh(2-3)	1
	>=10	-	>=15	es/ct(1.5 - 2) + ma	1.2
14	< 10	-	>=15	es/ct(1.5 -2) +shr(5-10)	1.2
	-	-	< 15	es/cst(1.5 - 2) + ma	1.3
15	> 10	-	-	es/ct(1.5 - 2) + ma	1.2,4
	<=10	-	-	es/ct(1.5 -2) +shr(5-10)	1.2,4
16	> 15	-	-	es/ct(1.5 - 2) + ma	1.5,6
(*)	<=15	-	-	es/ct(1.5 -2) +shr(15-10)	1.5,6

B.- MASAS ROCOSAS DE CALIDAD MEDIA (Q= 1 - 10)

Categoría	RQD/Jn	Jr/Ja	De(m)	Refuerzo recomendado	Notas
17	> 30	-	-	eo/cst	1
	10-30	-	-	es/cst (1 - 1.5)	1
	< 10	-	>=6	es/cst(1 - 1.5) +shr(2-3)	1
	< 10	-	< 6	sh(2-3)	1
18	> 5	-	>=10	es/ct(1.5 - 2) + ma	1.3
	> 5	-	< 10	es/cst(1 - 1.5) + ma	1
	<=5	-	>=10	es/ct(1 - 1.5) + sh(2-3)	1.3
	<=5	-	< 10	es/cst(1.5 - 2) +sh(2-3)	1
19	-	-	>=20	es/ct(1 - 2) + shr(10-15)	1.2,4
	-	-	< 20	es/ct(1 - 1.5) +shr(5-10)	1.2
20	-	-	>=35	es/ct(1 - 2) + shr(10-15)	1.5,6
(*)	-	-	< 35	es/ct(1 - 2) + shr(10-20)	1.2,4
21	>=12.5	<=0.75	-	es/cst(1.0) + sh(2-3)	1
	< 12.5	< 0.75	-	sh(3-5)	1
	-	> 0.75	-	es/cst(1.0)	1
22	10-30	>1.0	-	es/cst(1.0) + ma	1
	<=10	>1.0	-	sh(3-8)	
	< 30	<=1.0	-	es/cst(1.0) + shr(2-5)	1
	>= 30	-	-	es/cst(1.0)	1
23	-	-	>=15	es/ct(1 -1.5) +shr(10-15)	1.2,4,7
	-	-	< 15	es/cst(1 -1.5) +shr(5-10)	1
24	-	-	>=30	es/ct(1 -1.5) +shr(15-30)	1.5,6
(*)	-	-	< 30	es/cst(1-1.5) +shr(10-15)	1.2,4

Para valores de De > 15m, se recomienda dividir el frente en secciones y efectuar la excavacion en etapas, reforzando simultaneamente el tecno de la seccion excavada. (categorias 16, 20, 24, 28, 32 y 35).

C.- MASAS ROCOSAS DE CALIDAD POBRE (Q= 0.1 - 1.0)

Categoría	RQD/Jn	Jr/Ja	De(m)	Refuerzo recomendado	Notas
25	> 10	> 0.5	-	es/cst(1.0) + ma	1
	<=10	> 0.5	-	es/cst(1.0) + shr(5)	1
	-	<=0.5	-	es/ct(1.0) + shr(5)	1
26	-	-	-	es/ct(1.0) + shr(5-8)	8,10,11
	-	-	-	es/cst(1.0) + sh(3-5)	1,9
27	-	-	>=12	es/ct(1.0) + shr(8-10)	1,9
	-	-	< 12	es/cst(1.0) + shr(5-8)	1,9
	-	-	> 12	es/ct(1.0) + rc(20-40)	8,10,11
28	-	-	< 12	es/ct(1.0) + shr(8-10)	8,10,11
	-	-	>=30	es/ct(1.0) + shr(30-40)	1,4,5,9
	-	-	20-30	es/ct(1.0) + shr(20-30)	1,2,4,9
(*)	-	-	< 20	es/ct(1.0) + shr(15-20)	1,2,9
	-	-	-	es/ct(1.0) + rcr(30-100)	4,8,10,11
29	> 5	> 0.25	-	es/cst(1.0) + sh(2-3)	-
	<=5	> 0.25	-	es/cst(1.0) + shr(5)	-
	-	<=0.25	-	es/ct(1.0) + shr(5)	-
30	>=5	-	-	es/ct(1.0) + sh(3-5)	9
	< 5	-	-	shr(5-8)	9
	-	-	-	es/ct(1.0) + shr(5-8)	8,10,11
31	> 4	-	-	es/ct(1.0) + shr(5-13)	9
	4-1.5	-	-	shr(8-25)	9
	< 1.5	-	-	es/ct(1.0) + rc(20-40)	9,11
	-	-	-	es/ct(1.0) + rcr(30-50)	8,10,11
32	-	-	>=20	es/ct(1.0) + shr(40-60)	2,4,9,11
	(*)	-	< 20	es/ct(1.0) + shr(20-40)	3,4,9,11

D.- MASAS ROCOSAS DE CALIDAD MUY POB (Q= 0.001 - 0.1)

Categoría	RQD/Jn	Jr/Ja	De(m)	Refuerzo recomendado	Notas
33	>=2	-	-	es/ct(1.0) + shr(3-5)	9
	< 2	-	-	shr(5-10)	9
	-	-	-	shr(8-15)	8,10
34	>=2	>=0.25	-	es/ct(1.0) + shr(5-8)	9
	< 2	>=0.25	-	shr(8-15)	9
	-	< 0.25	-	shr(15-25)	9
35	-	-	-	es/ct(1.0) + rcr(20-60)	8,10,11
	-	-	>=15	es/ct(1.0) + shr(30-100)	2,9,11
	-	-	>=15	es/ct(1.0) + rcr(60-200)	2,8,10,11
(*)	-	-	< 15	es/ct(1.0) + shr(20-75)	3,9,11
	-	-	< 15	es/ct(1.0) + rcr(40-150)	3,8,10,11
36	-	-	-	shr(10-20)	9
	-	-	-	es/cst(0.5-1) + shr(10-20)	8,10,11
37	-	-	-	shr(20-60)	9
	-	-	-	es/ct(0.5-1) + shr(20-60)	8,10,11
38	-	-	>=10	rcr(100-300)	9
	-	-	>=10	es/ct(1.0) + rcr(100-300)	2,8,10,11
(**)	-	-	< 10	shr(20-40) + rcr(70-200)	9
	-	-	< 10	es/ct(1.0) + rcr(70-200)	3,8,10,11

Para valores de De > 15m, se recomienda dividir el frente en secciones y efectuar la excavación en etapas, reforzando simultáneamente el techo de la sección excavada. (categorías 16, 20, 24, 28, 32 y 35).

Para valores de De > 10m en rocas que muestre un comportamiento extrusivo, se recomienda dividir el frente en secciones y efectuar la excavación en etapas, reforzando simultáneamente el techo, las paredes y el piso (categoría 38)

## Notas a la tabla 8

- 1.- Cuando ocurra estallidos de roca o desprendimientos de lajas, se instalará pernos tensados y placas metálicas como medida de seguridad temporal. Una vez controlado el fenómeno se instalará el refuerzo recomendado en las tablas.
- 2.- Frecuentemente se emplea pernos de diferente longitud (3, 5 y 7 m.) en la misma excavación.
- 3.- Frecuentemente se emplea pernos de diferente longitud (2, 3 y 4 m.) en la misma excavación.
- 4.- Frecuentemente se emplea cables tensados (espaciados a 2-4 m) con refuerzo suplementario.
- 5.- Frecuentemente se emplea pernos de diferente longitud (6, 8 y 10 m.) en la misma excavación.
- 6.- Frecuentemente se emplea cables tensados (espaciados a 4-6 m) con refuerzo suplementario.
- 7.- En cavernas de algunas centrales hidroeléctricas antiguas, se ha utilizado pernos de roca con malla de alambre y bóveda de concreto reforzado de 40-60 cm. de espesor como soporte permanente del techo.
- 8.- Casos en que exista arcillas expansivas (montmorillonita) y acceso de agua. Se recomienda dejar espacio para la expansión del material e implementar medidas que permitan el drenaje del agua.
- 9.- Casos en los que no se presenten materiales expansivos y/o extrusivos.
- 10.- Sólo para casos en que se presenten extrusión de la roca. Generalmente requiere de soporte permanente grueso y rígido.
- 11.- Para casos de rocas cuyo comportamiento sea expansivo o extrusivo y cuyo valor de  $RQD/J_n$  sea  $> 1.5$ , se recomienda instalar un refuerzo temporal de pernos tensados, combinados con una capa de shotcrete. Para masas rocosas trituradas ( $RQD/J_n < 1.5$ ), el refuerzo temporal puede estar constituido por varias capas de shotcrete. Una vez vaciado el arco de concreto, se podrá instalar pernos cementados y tensados, con el fin de prevenir la posibilidad de que ocurran cargas irregulares sobre el soporte.

En este tipo de rocas, es frecuente que sea necesario soportar la excavación inmediatamente luego de haberse avanzado el frente.

## **6.0 PRESENTACION DE DIVERSOS FORMATOS ALTERNATIVOS DE MAPEO A ARCO REBATIDO**

En este capítulo se presenta algunos formatos existentes de mapeo a arco rebatido utilizados en proyectos tales como: Carhuaquero, Chavimochic y Candelaria, indicando en cada caso sus características principales de cada uno de ellos.

### **6.1. Formato proyecto central hidroeléctrica Carhuaquero**

Toma como base para determinar el tipo de sostenimiento, a la clasificación del índice Q, indicando en lo que concierne al material de relleno de las discontinuidades, así como el espaciamiento de estas; a su vez con la información que se obtiene en este formato es posible determinar una aproximación del índice RMR.

Se tiene dos (02) recuadros (véase formato N° 3), para realizar en uno de ellos la representación gráfica de las condiciones geológicas (litología y estructural) y en el otro el soporte utilizado, asimismo permite indicar los resultados de ensayos que se requieran realizar (p.e. muestra de roca, de agua y ensayos insitu).

### **6.2. Formato Chavimochic**

Combina los dos sistemas de clasificación conocidos el índice RMR y el índice Q, detallando las características de las discontinuidades (véase formato N° 4). A diferencia del formato anterior, se tiene un solo recuadro donde se realiza tanto el registro geológico, como los requerimientos de soporte temporal y definitivo.

<b>PROGRESIVA:</b>		<b>OBSERVACIONES:</b>
<b>ESPACIAMIENTO DE FRACTURA</b>		
<b>RUMBO - DIRECCION</b>		
<b>ROO x Jr x Ja = 0</b>		
<b>Jn      Jw SRF</b>		
<b>VALOR "0"</b>		
<b>RELLENO DE DISCONTINUIDADES</b>		
<b>DESCRIPCION DE LA ROCA Y ESTRUCTURAS GEOLOGICAS</b>		
<b>SOPORTE UTILIZADO</b>		<b>SIMBOLOGIA</b>
<b>MUESTRA DE ROCA</b>		
<b>MUESTRAS DE AGUA</b>		
<b>ENSAYOS INSITU</b>		
<b>SOPORTE PROYECTADO</b>		
<b>NOTA:</b>		
	<b>APROBADO:</b>	<b>FECHA:</b>
	<b>TUNEL DE DRENAJE</b>	<b>PLANO N°</b>
	<b>MAPEO - SOPORTE</b>	<b>REVISADO:</b>

ASPECTOS LITOLÓGICOS	LITOLÓGIA (GRADO DE METEORIZACION, ESTRUCTURA DEL MACIZO Y RESISTENCIA)		
	DISCONTI- NUIDADES	FALLAS Y FAMILIAS DE JUNTURAS	
		RUMBO O DIRECCION DE BUZAMIENTO	
		ESPACIAMIENTO	
		RUGOSIDAD	
		RELLENO TIPO Y ESPESOR (MM)	
AGENTES PRINCIPALES DE INESTABILIDAD			
REGISTRO GEOLOGICO Y SOSTENIMIENTO SOPORTES Y REFUERZOS INSTALADOS DURANTE LA EXCAVACION	HASTIAL IZQUIERDO		
	BOVEDA		
	HASTIAL DERECHO		
PROGRESIVAS			
DOMINIOS ESTRUCTURALES			
TIPO DE REVESTIMIENTO			
EVALUACION DE MACIZOS ROCOSOS	$\frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_w} \times \frac{J_a}{SRF} = Q$		
	$RRI + RQD + ED + CD + AS - A \times D = RMR$		
	CLASE DE MACIZO ROCOSO		
SOSTENIMIENTO PERMANENTE (RECOMENDADO)			

### **6.3. Formato Proyecto Central Hidroeléctrica Candelaria**

Tiene similitud con el formato del proyecto de Carhuaquero, la diferencia con este radica en la presentación de tres recuadros; uno para la descripción del macizo rocoso, otro para la indicación del soporte temporal y finalmente un tercero para la indicación del soporte definitivo (vease formato N° 5).

### **6.4. Interpretación comparativa con el formato propuesto**

El formato que se presenta ahora las diferentes propuestas de los anteriores, combinando por ejemplo los dos sistemas de clasificación conocidos el índice RMR y el índice Q, presenta al igual que el formato del proyecto Candelaria tres recuadros, además de secciones del tunel donde se señalarán la forma de ser colocados los diferentes tipo de sostenimiento, logrando con esto una presentación detallada y didáctica de la información geológica-geotécnica.



<b>PROGRESIVAS:</b> <b>ESPACIAMIENTO DE DIR/BUZ. DISCONTINUIDADES</b> $\frac{RQD \times Jr \times Jd}{Jn \times Jw \times SRF}$ <b>Q</b>				<b>DISCONTINUTY SWELLING</b> <b>FILLING MINERALS%</b>	<b>DESCRIPCION DEL MACIZO ROCOSO</b>									<b>SOPORTE TEMPORAL</b>			<b>SOPORTE RECOMENDADO</b>								
<b>ROCA:</b>				<b>OBSERVACIONES:</b>																					
<b>MAPEO DEL TUNEL - SOPORTES</b>																							<b>FECHA:</b>	<b>PROYECTO:</b>	
<b>LOCALIDAD:</b>																									

## 6.5. Ejemplos prácticos del uso del mapeo Arco rebatido

### Problema # 1.-

Túnel principal Mina San Vicente, excavado en el grupo Pucará, en una sección de 15m<sup>2</sup> (diámetro 5.0 m) sobrecarga de 300 mts., en este tramo presenta inicialmente capas de 0.30 mts. y dos sistemas de fracturas espaciadas a 30 y 50 cm. respectivamente, uno de ellos alineado a fallas, el segundo tramo es dolomita (a1, b2, c2, d2) y el tercero lutitas intercaladas con margas (a2, b3, c3, d5).

Considerando los aspectos estructurales como litológicos, se ha procedido a realizar la zonificación geotécnica, limitando en este caso 03 zonas de estudio:

Zona "A".- Tramo comprendido entre las progresivas 1+100 a 1+120, está constituido por bancos de calizas de 0.30 mt de espesor, presenta un rumbo perpendicular al eje del túnel, con un buzamiento alto y favorable con respecto al avance del túnel.

Primeramente realizaremos la clasificación de macizos rocosos (CSIR) identificando los parámetros en función de las condiciones de la roca. (Tabla No 1 1 y 2)

### Resistencia de la roca inalterada

Teniendo en cuenta la clasificación propuesta por Deere y Miller, además de la clasificación geotécnica de macizos rocosos (grado de dureza). Para el caso de la caliza, asignamos un valor de 12 a este parámetro.

### R.Q.D.

No contando con muestras de cores (perforación

<b>PROYECTO</b>		<b>TUNEL</b>		<b>EJECUTADO</b>		<b>REVISADO</b>		4	
<b>AVANCE DIARIO</b>								5	
<b>DESCRIPCION LITOLÓGICA</b>	caliza en capas de dolomita		a1, b2, c2, d2		a2, b3				
	0.30 m. dos sistem. de fract. 0.30 y 0.50m				c3, d5		6		
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (NGI)</b>	0.35 - 0.37		$100 / 6 \times 1.5 / 1 \times 1 / 2.5 = 10$		0.3 - 0.6				
			(95)		(9.5)		7		
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>	12 + 17 + 10 + 0 + 15 - 2		12 + 20 + 10 + 25 + 15 - 5 = 77		65				
	= 52						8		
<b>PROGRESIVAS</b>	I+100	I+120	I+140	I+160	I+180				
<b>MAPEO Geológico</b>									
<b>Fecha:</b>									
<b>SOPORTE TEMPORAL o INMEDIATO</b>									
<b>Fecha:</b>									
<b>SOPORTE DEFINITIVO o Revestimiento</b>		Sin soporte							
<b>Fecha:</b>									

### SIMBOLOGIA

	CALIZAS
	DOLOMIA
	LUTITAS Y MARGAS EN ESTRATOS DELGADOS.
	CONTACTO
	FALLA CON RELLENO DE MILONITA DE 5 Cm.
	FRACTURA CON RELLENO DE CALCITA.

diamantina) para realizar el cálculo del RQD, se hará en base a la relación utilizada en el campo para este fin:

$$R.Q.D. = 115 - 3.3 (J_v)$$

donde  $J_v$ : se define como la sumatoria de los diferentes sistemas de discontinuidades por metro lineal.

$$J_v : \Sigma J_1 + \Sigma J_2 + \Sigma J_3$$

J1	:	N°	de	fracturas	por	metro	lineal	del	sistema	1
J2	:	N°	"	"	"	"	"	"	"	2
J3	:	N°	"	"	"	"	"	"	"	3

Para este ejemplo se tiene los siguientes sistemas

J1 = estratificación, capas de 0.30m. #f/ml = 3

J2 = 1° sist.de fracturas espaciadas c/0.30m.#f/ml=3

J3 = 2° " " " " c/0.50m.#f/ml=2

Para este cálculo no consideramos a las fallas por presentar un espaciamiento mayor a un metro.

Entonces:

$$J_v = 3 + 3 + 2 = 8$$

El R.Q.D. será:

$$R.Q.D. = 115 - 3.3 (8) = 88.6$$

Para este valor de R.Q.D. El valor que se le asigna a este parámetro según la tabla es : 17

### Espaciamiento

Considerando a los tres sistemas definidos anteriormente, tomaremos el espaciamiento correspondiente al menor.

J1 = estratificación, capas de 0.30m. #f/ml = 3  
 J2 = 1° sist.de fracturas espaciadas c/0.30m.#f/ml=3  
 J3 = 2° " " " " " c/0.50m.#f/ml=2  
 Valor para este parámetro = 10

Condición de las discontinuidades.

En este tramo se presentan varios sistemas de discontinuidades, donde las condiciones de cada una de estas varían; así tenemos:

		Valor
estratificación	Sup. algo rugosas,	
fracturas	sep < 1mm paredes de roca lig. suave.	25
fallas	relleno con milonita de 5 cm.	0

Teniendo en cuenta siempre las condiciones mas desfavorables en el momento de la evaluación, tomaremos el valor de 0 , para este parámetro.

Condiciones hidrogeológicas.

No contando con información al respecto, asumimos que este tramo se encuentra totalmente seco, asignando a este parámetro el valor de 15.

Calcúlo del Índice Original:

$$RMR(o) = 12 + 17 + 10 + 0 + 15 = 54$$

Aplicando las correcciones, debido al efecto que tiene la orientación de las discontinuidades en las excavaciones, propuesta por Bieniawski. Se tiene que:

Estratificación : rumbo perpendicular al eje del túnel y avance con el buzamiento.

Cond : Muy favorable = 0.

Un sistema de fracturas (alineado a fallas) : rumbo perpendicular al eje del túnel y avance con el buzamiento.

Cond.: Muy favorable = 0.

Un sistema de fracturas : rumbo perpendicular al eje del túnel y avance contra el buzamiento.

Cond.: Regular = -5

Entonces la corrección será igual a:

Correc. =  $3(0) + 2(0) + 3(-5) / 3+2+3$

Correc. =  $-15/8 = -2$ .

$RMR(c) = RMR(o) - 2 = 54 - 2 = 52$

Condicion = Sostenimiento tipo "a".

Indice Q (tabla 5)

Indice de la calidad de la roca (R.Q.D)

El R.Q.D, se obtiene de acuerdo al procedimiento utilizado en la clasificación anterior, de donde se obtuvo un valor de:

$R.Q.D. = 88.6 = 90$  (se tomará los valores +/- 5% del RQD)

Número de discontinuidades (Jn).

Entre los sistemas principales de discontinuidades tenemos:

+ estratificación.

+ 1° sistema de fracturas.

+ 2° sistema de fracturas alineada a fallas (considerando como un solo sistema)

Secundarios:

+ fractura rellena con calcita.

En conclusión :

Tres sistemas principales y uno secundario  $J_n = 12$

Factor de rugosidad de las discontinuidades ( $J_r$ ).

Para cada discontinuidad tenemos:	Valor
+ estratificación rugosas e irregulares ondulantes	2
+ fracturas rugosas e irregulares planares	1.5
+ fallas relleno con milonita de 5 cm.	1.0 (H)

El  $J_r$  será igual a 1.0, teniendo en cuenta siempre las condiciones más desfavorables.

Factor de alteración de las discontinuidades ( $J_a$ ).

Analizando cada sistema de discontinuidad:	Valor
+ estratificación superficies inalteradas,	
+ fracturas ligeras manchas de oxidación.	1
+ fallas relleno con milonita de 5 cm.	8 (H, I)

Considerando las condiciones desfavorables, el valor de  $J_a$  será igual a 8.

Factor de rugosidad por contenido de agua en discontinuidades ( $J_w$ ).

Igual que en la clasificación anterior (RMR), no se tiene información al respecto, por lo que asumimos que el tramo se encuentra seco:

$J_w = 1$  (secas o flujos bajos).

Factor de reducción por tensiones (S.R.F.).

De acuerdo al tipo de roca que tenemos en este tramo, las condiciones estructurales, además de la profundidad a que se encuentra la obra (sobrecarga de 300 mt.) tenemos que:

S.R.F = 2.5 (F) (zona de fallas aislada en roca competente profundidad > 50 mt.)

El índice " Q " será igual a:

$$Q1 = \frac{90}{12} \times \frac{1}{8} \times \frac{1}{2.5} = 0.375$$

$$Q2 = 0.354$$

El valor de E.S.R. = 1.6                      Diametro = 4 mts.

$$D.E. = 4/1.6 = 2.5$$

Condición = 29.

Zona "B".- Tramo comprendido entre las progresivas 1+120 a 1+172. Constituido por dolomitas, con rumbo perpendicular al eje del túnel y buzamiento alto, favorable con el avance del túnel. En base a la clasificación geotécnica realizada al momento del mapeo presenta las siguientes características:

Grado de meteorización : fresca (a1).

Grado de fracturamiento: fracturada 2 - 6 f/ml (b2).

Grado de dureza : duro (c2).

Grado de estratificación: gruesa 1 - 5 mt. (d2).

Clasificación índice RMR.

Resistencia de la roca intacta.

De acuerdo a la clasificación geotécnica realizada, se asume un valor de 12 para este parámetro.

RQD del testigo.



Los sistemas de discontinuidades que se consideran para el cálculo del RQD son:

J1 =fracturamiento 2 - 6 f/ml = 4 f/ml (promedio).  
J2 =estratificación 1 - 5 mt = 1 f/ml (considerando bancos de un metro).

El RQD será igual a:

$$RQD = 115 - 3.3(J_v) \quad J_v = J_1 + J_2 = 4 + 1 = 5$$

$$RQD = 115 - 3.3(5) = 98.5$$

Según la tabla para este RQD, corresponde un valor de: 20

#### Espaciamiento entre discontinuidades.

En base a los sistemas de discontinuidades definidos anteriormente tenemos lo siguiente:

estratificación	1 f/ml	espaciamiento	= 1 mt.
fracturas	4 f/ml	espaciamiento	= 0.25mt

Siguiendo el criterio de escoger las condiciones más desfavorables al momento de evaluar, en este caso asignaremos el valor de 10 a este parámetro.

#### Condición de las discontinuidades.

Analizando a los dos sistemas presentes en este tramo.

		Valor
estratificación	sup. algo rugosas	
fracturas	separ. < 1 mm paredes de roca lig. suave.	25

Valor asignado a este parámetro = 25.

Condiciones Hidrogeológicas.

Al igual que en el tramo anterior, asumimos que se encuentra seco. Valor = 15.

Para efecto de las correcciones por orientación de las discontinuidades, este tramo presenta dos fracturas rellenadas con calcita [rumbo perpendicular al eje del túnel, avance contra el buzamiento (20°-45°)] Condición = desfavorable.

Además la estratificación que tiene rumbo perpendicular al eje del túnel y buz. alto, favorable con el avance del túnel. Condición = Muy favorable.

$$\text{Correc.} = 1(0) + 1(-10) / 2 = -5.$$

Cálculo del índice RMR(o).

$$\text{RMR(o)} = 12 + 20 + 10 + 25 + 15 = 82.$$

$$\text{RMR(c)} = \text{RMR(o)} - \text{Correc.} = 82 - 5 = 80.$$

Condición = No requiere sostenimiento.

Clasificación índice "Q".

Índice de calidad de la roca.

Valor obtenido de la clasificación anterior.

$$\text{RQD} = 115 - 3.3(5) = 98.5$$

Número de discontinuidades (Jn).

Se tiene los siguientes sistemas de discontinuidades.

estratificación	principal
fracturas	principal
fracturas rellenadas con calcita	secundario.

En total son: dos sistemas principales y un secundario  $J_n = 6$

Factor de rugosidad de las discontinuidades (Jr).

Analizando las discontinuidades presentes : Valor

estratificación	lisas ondulantes	2
fracturas	rugosas e irregulares, planas	1.5

Jr = 1.5.

Factor de alteración de las discontinuidades (Ja).

Para ambos sistemas se tiene :

Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación

Ja = 1

Factor de reducción por contenidos de agua en las discontinuidades (Jw).

Se tiene presente las mismas condiciones que en el tramo anterior. Jw = 1.

Factor de reducción por tensiones (SRF).

SRF = 2.5 (F) ( ver clasificación del anterior tramo).

El índice "Q" será igual a :

$$Q1 = \frac{100}{6} \times \frac{1.5}{1} \times \frac{1}{2.5} = 10$$

Q2 = 9.5

De = 2.5

Condición : No requiere sostenimiento.

Zona "C".- Tramo comprendido entre las progresivas 1 + 172 hacia adelante; constituido por intercalaciones de lutitas con margas, con rumbo perpendicular al eje del túnel, buzamiento alto y favorable con el avance del túnel. De acuerdo a la clasificación geotécnica de macizo rocoso se tiene las siguientes condiciones.

Grado de alteración : Roca ligeramente alterada (a2)

Grado de fracturamiento : Roca muy fract.6-10 f/ml (b3)

Grado de dureza : Roca moderadamente resistente (c3)

Grado de estratificación : Laminar (d5).

### Clasificación índice RMR.-

#### Resistencia a la roca intacta

En base a la clasificación geotécnica realizada, el tipo de roca que tenemos es moderadamente resistente, estimándose una resistencia de 20 a 50 Mpa (ver tabla 1), correspondiendo un valor de 4 para este parámetro.

#### RQD del testigo

Los sistemas de discontinuidades que vamos a considerar para el cálculo del RQD son :

J1 = fracturamiento 6 - 10 f/ml = 8 f/ml.

J2 = estratificación < 0.01 mt = 10 f/ml.

El RQD será igual a:

$$\begin{aligned} \text{RQD} &= 115 - 3.3 (J_v) & J_v &= J_1 + J_2 = 8 + 10 = 18 \\ &= 115 - 3.3 (18) & &= 55.6 \end{aligned}$$

Para este RQD corresponde un valor de 13.

#### Espaciamiento de discontinuidades

En base a lo dos sistemas definidos anteriormente se tiene:

J1 = fracturamiento 8 f/ml = 0.125mt

J2 = estratificación 10 f/ml = 0.1 mt

En función del espaciamiento que presenta estas dos discontinuidades se asigna un valor de 8 para este parámetro.

#### Estado de las discontinuidades

En base a la clasificación geotécnica (a2) asumimos un valor de 25 (superficies rugosas sep. < 1mm paredes de roca ligeramente suaves) para este

parámetro

### Condiciones Hidrogeológicas

Al igual que los tramos anteriores, asumimos que estos se encuentran totalmente secos. parámetro igual a 15.

### Corrección por orientación de las Discontinuidades

Como no se ha indicado los datos de la orientación de las fracturas no se efectúa la corrección, puesto que la estratificación con sus características nos da un valor de 0 (Muy favorable)

Calculo del Indice RMR(o)

$$\text{RMR}(o) = 4 + 13 + 8 + 25 + 15 = 65$$

Condición = Sostenimiento tipo "a".

### Indice Q

$$\text{RQD} = 55.6 \quad (60 - 55) \quad \text{Ja} = 8$$

$$\text{Jn} = 4 \quad \text{Jw} = 1$$

$$\text{Jr} = 2 \quad \text{SRF} = 5 - 10 \quad (\text{N})$$

$$\text{Q1} = 0.6875$$

$$\text{Q2} = 0.34375$$

$$\text{De} = 2.5$$












Condición = Sostenimiento tipo 25 o 29.

Problema N° 2.-

Túnel carretero en form. Santa con zona de metasomatismo que lo ha silicificado hasta 28 mts. del contacto con el intrusivo diorítico, las características de los macizos rocosos atravesados son: sedimentarios (a3, b3, c3, d4) y (a2, b3, c1, d4), el dique andesítico (a4, b4, c4) y el intrusivo (a1, b2, c1) se observa humedad.

PROYECTO		1 TUNEL		2 EJECUTADO		3 REVISADO		4
<b>AVANCE DIARIO</b>								5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>	a3, b3, c3, d4	a4	a3, b3, c3, d4	a1, b2, c1.				6
	a2, b3, c2, d4	b4	a2, b3, c2, d4					
		c4						
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (NGI)</b>	80-75/6 x 1/8 x 1/5-10	0.2	80-75/6 x 1/8 x 1/5-10	100/3 x 2/1 x 1/1 = 66.6				7
	= 0.33 - 0.15		= 0.33 - 0.15					
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>	7 + 17 + 8 + 20 + 10 - 12	24	7 + 17 + 8 + 20 + 10 - 12	15 + 20 + 10 + 30 + 15 = 90				8
	= 50		= 50					
<b>PROGRESIVAS</b>	5+700	5+720	5+740	5+760	5+780			9
<b>MAPEO Geológico</b>								10
<b>Fecha :</b>								
<b>SOPORTE TEMPORAL o INMEDIATO</b>								11
<b>Fecha :</b>								
<b>SOPORTE DEFINITIVO o Revestimiento</b>								12
<b>Fecha :</b>		Sin soporte						13
								14

**SIMBOLOGIA**

-  MARGAS
-  LODOLITAS
-  ARENISCAS
-  INTRUSIVO DIORITICO
-  ANDESITA
-  FALLA CON RELLENO DE MILONITA DE 5 Cm.
-  FRACTURAS CON RELLENO DE CALCITA.
-  HUMEDAD
- 
- 
- 

tramos sugeridos:

5 + 700 a 5 + 724

5 + 724 a 5 + 727

5 + 727 a 5 + 752

5 + 752 a 5 + 780.

Tramo 5 + 700 a 5 + 724.

Indice RMR

Indice Q

A1 = 7

Q = 78.7 (80 - 75)

A2 = RQD = 78.7 = 17

Jn = 6

A3 = 8

Jr = 1 (falla - lodolitas)

A4 = 20

Ja = 8 ( " " )

A5 = 10

Jw = 1

RMR(o) = 62

SRF = 5 - 10 (P)

Corrección : la estratificación: rumbo paralelo al eje del túnel, buz. alto condc : Muy desfavorable = 12.

RMR(c) = 62 - 12 = 50.

Condición = Sostenimiento tipo "a"

Indice Q =

Q1 = 0.33

Q3 = 0.3125

Q2 = 0.166

Q4 = 0.15625

E.S.R = 1.0

D = 6 mts.

D.e. = 0.6

Condición = No requiere sostenimiento.

Tramo 5 + 724 a 5 + 727.

Indice RMR

Indice Q

A1 = 4

Q = 62.2 (65 - 60)

A2 = RQD = 62.2 = 13

Jn = 6

A3 = 8

Jr = 1 (falla - lodolitas)

A4 = 0                               Ja' = 8 ( " " )  
A5 = 10                               Jw = 1  
RMR(o) = 35                          SRF = 5 (G)

Corrección : la estratificación: rumbo paralelo al eje del túnel, buz. alto       condc : Muy desfavorable = 12.

Además el dique : rumbo perpendicular al eje del túnel, buz. alto desfavorable con respecto al avance condición: desfavorable= -5

Correc. =  $10(-12) + 1(-5)/11 = -125/11$   
RMR(c) =  $35 - 11 = 24$   
Condición = Sostenimiento tipo "f,g,j"

Indice Q  
Q1 = 0.27                              Q2 = 0.25  
De = 0.6

Condición = No requiere sostenimiento (?)

Tramo 5 + 727 a 5 + 752.

Indice RMR	Indice Q
A1 = 7	Q = 78.7 (80 - 75)
A2 = RQD = 78.7 = 17	Jn = 6
A3 = 8	Jr = 1 (falla - lodolitas)
A4 = 20	Ja = 8 ( " " )
A5 = 10	Jw = 1
RMR(o) = 62	SRF = 5 - 10 (P)

Corrección : la estratificación: rumbo paralelo al eje del túnel, buz. alto       condc : Muy desfavorable 12.

RMR(c) =  $62 - 12 = 50$ .  
Condición = Sostenimiento tipo a .



Indice Q:

Q1 = 0.33

Q3 = 0.3125

Q2 = 0.166

Q4 = 0.15625

De = 0.6

Condición : No requiere sostenimiento.

Tramo 5 + 752 a 5 + 780.

Indice RMR

Indice Q

A1 = 15

Q = 98.5 (100 - 95)

A2 = RQD = 98.5 = 20

Jn = 3

A3 = 10

Jr = 2

A4 = 30

Ja = 1

A5 = 15

Jw = 1

SRF = 1 (J)

Corrección : No hay.

RMR (o) : 90

Condición : No requiere sostenimiento.

Indice Q :

Q1 = 66.66

Q2 =

De = 0.6

Condición = No requiere sostenimiento.

Problema N° 3.-

Túnel a presión para una hidroeléctrica en la parte alta del río Fortaleza (C.H. Ricreta) excavada en intercalaciones de margas, lutitas y areniscas, subhorizontales en estratos delgados a moderados, presenta un sistema de fallas paralelas entre las progresivas 3 + 555 a 3 + 565, cortados por una falla subhorizontal, el tramo está seco y tiene presiones moderadas, el túnel tiene 3.0 mts de luz, presenta dos sistemas de fracturas cada 10 y 30 cm. de espaciamiento.

PROYECTO:

1 TUNEL:

2 EJECUTADO:

3 REVISADO:

4

AVANCE DIARIO

DESCRIPCION

LITOLOGICA

areniscas intercaladas con margas y lutitas, subhorizontales en estratos delgados a moderados, dos sistemas de fracturas cada 10 y 30 cm de espaciamiento.

CLASIFICACION

INDICE "Q" (NOI)

65-60 / 9 x 1/8 x 1/5-10 = 0.09 - 0.18

0.09 - 0.18

0.09-0.18

CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"

4 + 13 + 8 + 20 + 15 - 10 = 50

4 + 13 + 8 + 0 + 15 - 11.25

50

PROGRESIVAS

3+500

3+520

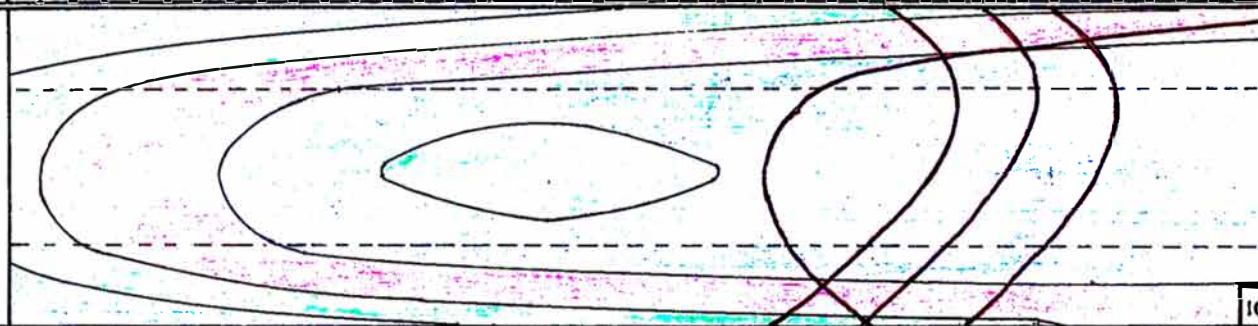
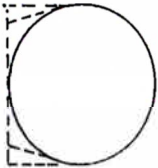
3+540

3+560

3+580

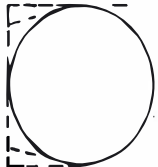
NAPEO GEOLOGICO

Fecha:



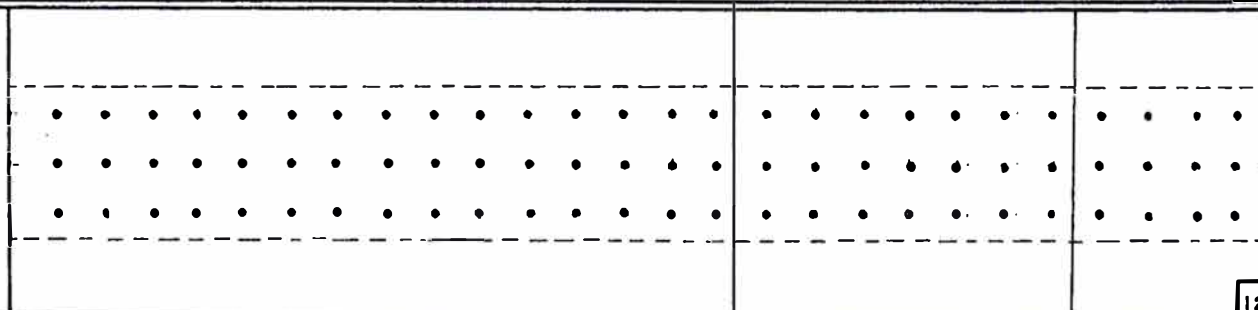
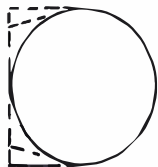
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO

Fecha:



SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO

Fecha:



SIMBOLOGIA



MARGAS



LODOLITAS



ARENISCAS



FALLA CON RELLENO DE MILONITA DE 5 Cm.



13

12

14

E.S.R = 1.6

Diametro o Luz = 3 (?)

De = 1.875

Tramos propuestos:

3 + 500 a 3 + 546

3 + 546 a 3 + 568

3 + 568 a 3 + 580.

tramo 3 + 500 a 3 + 546

Indice RMR

A1 = 4 (lutitas y margas)

A2 = RQD = 62.2 = 13

A3 = 8

A4 = 20

A5 = 15

Indice Q

Q = 62.2 (65 - 60)

Jn = 9

Jr = 1 (falla-lodol.)

Ja = 8 ( " " )

Jw = 1

SRF = 5 - 10 (N)

RMR(o) = 60

Corrección : Para la corrección, solo se considera a la estratificación, puesto que no se tiene información sobre la orientación de las fracturas. Asi tenemos que: estratificación: buz 0 - 20°

cond: desfavorable (-10).

RMR(c) = 60 - 10 = 50

Condición : Sostenimiento tipo "a".

Indice Q :

Q1 = 0.18

Q3 = 0.166

Q2 = 0.09

Q4 = 0.083

De = 1.875

Condición : Sostenimiento tipo 29 o 33

tramo 3 + 546 a 3 + 568

Indice RMR

A1 = 4 (lutitas y margas)

Indice Q

Q = 62.2 (65 - 60)

$A2 = RQD = 62.2 = 13$        $J_n = 15$   
 $A3 = 8$        $J_r = 1$  (falla-lodol.)  
 $A4 = 0$        $J_a = 8$  ( " " )  
 $A5 = 15$        $J_w = 1$   
     $SRF = 5 - 10$  (N)

RMR(o) = 40

Corrección : consideremos a la estratificación y al sistema de fallas (rumbo perpendicular, buz entre  $45^\circ - 90^\circ$ , avance contra el buzamiento, cond. regular = - 5)

Correc =  $3(-10) + 1(-5) / 4 = -11.25$

RMR(c) =  $40 - 11.25 = 28.75$

Condición : sostenimiento tipo f,g.

Indice Q :

$Q1 = 0.103$        $Q3 = 0.1$   
 $Q2 = 0.054$        $Q4 = 0.05$

De = 1.875

Condición : Sostenimiento tipo 29 o 33.

tramo 3 + 568 a 3 + 580

Indice RMR	Indice Q
$A1 = 4$ (lutitas y margas)	$Q = 62.2$ (65 - 60)
$A2 = RQD = 62.2 = 13$	$J_n = 9$
$A3 = 8$	$J_r = 1$ (falla-lodol.)
$A4 = 20$	$J_a = 8$ ( " " )
$A5 = 15$	$J_w = 1$
	$SRF = 5 - 10$ (N)

RMR(o) = 60

Corrección : Para la corrección, solo se considera a la estratificación, puesto que no se tiene información sobre la orientación de las fracturas. Así tenemos que:

estratificación: buz  $0 - 20^\circ$

condición: desfavorable (-10).

$$\text{RMR}(c) = 60 - 10 = 50$$

Condición : Sostenimiento tipo "a".

Indice Q :

$$Q1 : 0.18 \qquad Q3 : 0.16$$

$$Q2 : 0.09 \qquad Q4 : 0.083$$

$$De : 1.875$$

Condición : sostenimiento tipo 29 o 33.

Problema N° 4.-

Túnel N° 4 del Proyecto CHAVIMOCHIC, de 5.0 mt. de luz, labrado en rocas intrusivas graníticas muy duras en este tramo de fracturas espaciadas cada 0.50 mts y 0.30 mts entre 1 +500 y 1 + 542, posteriormente la roca es masiva, en la intersección del intrusivo con el dique - sill de andesita se presenta un flujo de agua de 10 lts/seg. presiones bajas.

$$\text{E.S.R.} = 1.6 (?)$$

$$\text{Diámetro} = 5 \text{ mts.}$$

$$De = 3.125$$

Tramos sugeridos:

$$1 + 500 \text{ a } 1 + 526$$

$$1 + 526 \text{ a } 1 + 542$$

$$1 + 542 \text{ a } 1 + 554$$

$$1 + 554 \text{ a } 1 + 580$$

Tramo 1 + 500 a 1 + 526

Indice RMR

$$A1 = 15$$

$$A2 = \text{RQD} = 98.5 = 20$$

$$A3 = 10$$

$$A4 = 0$$

$$A5 = 15$$

Indice Q

$$Q = 98.5 (100 - 95)$$

$$J_n = 15$$

$$J_r = 1$$


$$J_a = 8$$

$$J_w = 1$$


$$\text{SRF} = 5 (G)$$

<b>AVANCE DIARIO</b>						5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>		Roca intrusiva granitica muy dura, fracturas espaciadas cada 0.50 y 0.30 m. entre 1+500 a 1+542 despues es masivo, dique sill de andesita				6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (NGI)</b>		100-95/15 x 1/8 x 1/5 = 0.15 - 0.16	2.1 - 2.2	26.4	100/05-1 x 4/1 x 1/25 = 160 - 320	7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>		15+20+10+0+15-5 = 55	15+20+10+10+15 - 10 = 60	72	15+20+20+30+15-12 = 88	8
<b>PROGRESIVAS</b>		1+500	1+520	1+540	1+560	1+580
<b>MAPEO Geológico</b>						9
Fecha :						10
<b>SOPORTE TEMPORAL o INMEDIATO</b>						11
Fecha :						12
<b>SOPORTE DEFINITIVO o Revestimien</b>			Shocrete	Sin soporte		13
FECHA :						14


**SIMBOLOGIA**

-  GRANITO


---

-  ANDESITA


---

-  FRACTURA CON RELLENO DE CALCITA


---

-  FRACTURAS ABIERTAS CON RELLENO


---

-  GOTEO


---

-  PERNO


---

- 


---

- 


---

- 


---

- 

---

- 

---

- 

RMR(o) = 60

Corrección : Por efecto de los dos sistemas de fracturas

1.- Rumbo perpendicular al eje del túnel, buz. alto, avance favorable con el buz.condic: Muy favorable (0).

2.- Rumbo perpendicular al eje del túnel, buz bajo, avance en contra el buz. condic: Desfavorable (-10).

Correc:  $1(0) + 1(-10)/2 = -5$ .

RMR(c) =  $60 - 5 = 55$

Condición : Sostenimiento tipo a.

Indice Q :

Q1 = 0.166

Q2 = 0.158

De = 3.125

Condición : Sostenimiento tipo 30.

Tramo 1 + 526 a 1 + 542

Indice RMR

A1 = 15

A2 = RQD = 98.5 = 20

A3 = 10

A4 = 10

A5 = 15

Indice Q

Q = 98.5 (100 - 95)

Jn = 9

Jr = 1

Ja = 2

Jw = 1

SRF = 2.5 (F)

RMR(o) = 70

Corrección : fracturas rellenas con calcita, rumbo perpendicular al eje del túnel, buz. bajo, avance contra el buzamiento cond. desfavorable (-10).

RMR(c) =  $70 - 10 = 60$

Condición : Sostenimiento probable a.

Indice Q :

Q1 : 2.22

Q2 : 2.11

De : 3.125

Condición : sostenimiento tipo 21

Tramo 1 + 542 a 1 + 554

Indice RMR

Indice Q

A1 = 15

Q = 100

A2 = RQD = 100 = 20

Jn = 2

A3 = 20

Jr = 2

A4 = 20

Ja = 1

A5 = 7

Jw = 0.66

SRF = 2.5 (H)

RMR(o) = 82

Corrección : - 10. (idem tramo anterior)

RMR(c) = 82 - 10 = 72

Condición : no requiere sostenimiento.

Indice Q :

Q1 = 26.4

De = 3.125

Condición : No requiere sostenimiento.

Tramo 1 + 554 a 1 + 580

Indice RMR

Indice Q

A1 = 15

Q = 100

A2 = RQD = 100 = 20

Jn = 0.5 a 1.0

A3 = 20

Jr = 4

A4 = 30

Ja = 1

A5 = 15

Jw = 1

SRF = 2.5 (H)

RMR(o) = 100

Corrección : por efecto del sill, rumbo paralelo,  
buz.alto condc: desfavorable (-12).

RMR(c) = 100 - 12 = 88

Condición : No requiere sostenimiento.



Indice Q:

Q1 = 160

Q2 = 320

De = 3.125

Condición : No requiere sostenimiento.

## RESUMEN

	Progresiva	RMR	Q	Soporte Recomendado
1	1+100 a 1+120	a	29	II
	1+120 a 1+172	No	No	
	1+172 a 1+180	a	25 o 29	IIa
2	5+700 a 5+724	a	No	I
	5+724 a 5+727	f, g, h	No	II
	5+727 a 5+752	a	No	I
	5+752 a 5+780	No	No	I
3	3+500 a 3+546	a	29 o 33	II
	3+546 a 3+568	f, g	29 o 33	IIa
	3+568 a 3+580	a	29 o 33	II
4	1+500 a 1+526	a	30	II
	1+526 a 1+542	a	21	III
	1+542 a 1+554	No	No	
	1+554 a 1+580	No	No	

Tipo de sostenimiento:

Indice RMR:

a: generalmente sin refuerzo, empernado ocasional en las intersecciones de las discontinuidades.

f, g:  $es/ct(0.75) + shr(10)$

Indice Q :

21 :  $sh(3-5)$

25, 29, 30, 33 :  $es/ct(1.0) + shr(5)$

Comparando los resultados de ambas clasificaciones, procedemos a uniformizar los tipos de sostenimiento;

obteniendo de esta forma los siguientes tipos de sostenimiento.

<u>Tipo</u>	<u>Descripción</u>
I	empernado ocasional en las intersecciones de las discontinuidades.
II	$es/ct(1.0) + shr(5)$
IIa	$es/ct(1.0)$
III	$sh(3-5)$

A

## 7.0 ESTUDIO GEOLOGICO - GEOTECNICO DEL TUNEL PRINCIPAL DE LA MINA GRACIELA - CIA MINERA PERUBAR

### 7.1. Generalidades.-

#### 7.1.1 Introducción

El area de estudio, se encuentra situado en la zona de Corcona, distrito de Santa Cruz de Cocachacra, Provincia de Huarochirí, Departamento de Lima, a la altura del Km. 49 de la Carretera Central.

Su ubicación geográfica es :

Longitud	:	W 76° 34' 08"
Latitud	:	S 11° 54' 10"
Altitud	:	1250 m.s.n.m.

La zona donde se realizó el estudio, comprende la Rampa Principal (Graciela - Santa Cecilia) de la Cia. Minera Perubar S.A. llegando hasta el nivel 1107, con una longitud estimada de 1100 mts, incluyendo además el nivel 1130, con 200 mts. totalizando una distancia de 1300 mts.

#### 7.1.2 Objetivos y Alcances

El principal objetivo de este trabajo, es el de poner en práctica la metodología a seguir en el mapeo a arco rebatido, en el caso de excavaciones subterráneas, aspectos sobre el cual se desarrolla la presente tesis.

Como resultado del mapeo geológico-geotécnico

se recomendará el diseño del sostenimiento, en aquellas zonas que así lo requieran.

### 7.1.3 Metodología del Trabajo

El plan de trabajo que se desarrolló, fue el mismo que se le presentó a la Cia. y que se resume de la siguiente manera.

a) Revisión de informes existentes, recopilación y revisión de todo el material bibliográfico existente con el fin de lograr un conocimiento general de la mina (geología, métodos de explotación, etc).

b) Desarrollo del Mapeo a Arco Rebatido de la geología que se observa en el túnel, abarca los siguientes aspectos:

- Condiciones litológicas.
- Condiciones Estructurales.
- Sostenimiento preventivo utilizado.

c) Revisión del mapeo efectuado, establecimiento tentativo de dominios estructurales en base a condiciones litológicas, y elaboración de un programa de mapeo geotécnico.

d) Desarrollo detallado de la Clasificación Geomecánica de los macizos rocosos atravesados.

e) Revisión del trabajo efectuado hasta el momento, paralelo al diseño de sostenimiento.

f) Preparación de informe y diseño de

sostenimiento.

Complementando este estudio, se evaluó las condiciones de estabilidad de la Rampa de desarrollo Santa Cecilia y el sostenimiento que deberá utilizar.

## 7.2. Geología y Geotecnia.-

### 7.2.1 Geología

La mina, geológicamente esta ubicada en los Volcánicos del grupo Casma, la proximidad de estos hacia el batolito de la Costa (granodiorita) ha traído como consecuencia un proceso de metamorfismo.

El tipo de yacimiento que tenemos en la mina, es del tipo KUROKO (C. Vidal, 1987).

Como resultado del mapeo geológico efectuado por el método a arco rebatido, se identificó la siguiente litología:

Hornfels.- de color marrón oscuro (chocolate) a gris oscuro, de grano fino, de aspecto masivo, en algunos tramos se reporta la presencia de chert. Generalmente fresco a ligeramente alterado, con disseminaciones de py, cp, po, etc.

Los tramos donde se reporta la presencia de hornfels, son los siguientes:

Rampa Graciela - Santa Cecilia

tramos: 0 - 39 / 48 - 89

Nivel 1130.

Rampa Graciela - Santa Cecilia  
tramos: 109 - 118 + 6.60 mts.

### 7.2.2 Estructuras Principales

Las deformaciones en el area de estudio han consistido en su mayoría en sistemas de fracturas y fallas. La falla principal en la zona de la rampa la constituye la falla corte ladrones y el split corte ladrones. La descripción de estas se hace considerando el tipo de litología donde han sido reportados su presencia; incluyendo además en este acápite la presencia de los diques terciarios de diorita que cortan al eje del túnel.

Rampa Principal (Graciela - Santa Cecilia)

1.- Tramo 0 - 39 (Hornfels) el tipo de estructuras predominantes son fracturas, en su mayoría rellenas con calcita, presentan un rumbo perpendicular a subperpendicular al eje del túnel y una inclinación subvertical.

La presencia de diques es observada en los tramos 25 - 26/34 - 39 que cortan a la sección en forma subperpendicular y son casi verticales, de composición andesítica.

2.- Tramo 39 - 48 (flujos de lavas) Se tiene la presencia de fallas (45-46) con una orientación subperpendicular e inclinación subvertical, el material de relleno lo constituye el panizo y fragmentos de roca, el espesor varía entre 10 - 15 cm.

Las fracturas al igual que las fallas tienen la misma orientación y son subverticales, como relleno se tiene a la calcita.

3.- Tramo 48 - 89 (Hornfels) Tenemos las siguientes estructuras:

fracturas: con rumbo subperpendicular al eje del túnel y una inclinación que varía entre vertical y subvertical, con algunas excepciones de algunas que tienen una inclinación subhorizontal.

fallas : con rumbo subperpendicular al eje del túnel, la inclinación es muy variada tenemos desde verticales hasta subhorizontales pasando por las subverticales (tramos 51-51.20, 60-61, 78.50-79.30). El material de relleno está constituido por el panizo, fragmentos de roca, algo de calcita, etc.

diques : tenemos de dos tipos (según litología).

Dioríticos:

Tramos	dirección	Inclinación
65.5 al 66.5	perpendicular	vertical
68.0 al 69.0	"	"
69.5 al 70.0	"	"
71.5 al 72.0	"	"
75.5 al 77.0	subperpendicular	subvertical
77.5 al 78.5	"	"

verdes :

Tramos

67.0 al 68.0	subperpendicular	subvertical
68.5 al 69.5	"	"
84.5 al 85.0	perpendicular	vertical.



Sobre este tipo de roca se tiene la falla Corte de Ladrones (82 - 85) donde se ha colocado una malla metálica (malla de eslabones) con pernos y cerchas de acero, como parte del sostenimiento. Al final de esta falla se tiene el emplazamiento de un dique alterado.

4.- tramo 89 92 (flujos de lavas) las discontinuidades presentes en este tramo tienen un rumbo subperpendicular al eje del túnel y una inclinación vertical a subvertical, entre los tramos 92.5 al 95.0 se tiene una zona fallada donde se ha colocado una malla de eslabones con pernos tipo split set para evitar el colapso del material del techo.

5.- tramo 92 - 109 (Calcosilicatos) Los tipos de estructuras que se presentan en este tramo son :

Fracturas rellenas con calcita con rumbo perpendicular y subperpendicular al eje del túnel, son en su mayoría verticales.

Fracturas cerradas con rumbo perpendicular al eje del túnel, son verticales.(tramos 92-95, 102.40-104, 105-105.70).

Fallas con rumbo subperpendicular al eje del túnel y subverticales.

Casi en su totalidad este tramo presenta como sostenimiento en el techo, la malla metálica de eslabones con pernos tipo split set. En la zona que corresponde a la falla Split Corte de ladrones (tramo 96.0 - 97.5) se ha colocado cercha de acero

como parte del sostenimiento.

6.- Tramo 109.0 al 118 + 6.60 mts. (Cuerpo mineralizado) El contacto entre el calcosilicato y el cuerpo mineralizado esta definido por una falla de rumbo perpendicular al eje del túnel y de inclinación subvertical. las fracturas en su mayoría estan cerradas, tienen un rumbo perpendicular al eje del túnel y son verticales. Se ha colocado una malla de eslabones con pernos tipo split set a lo largo de todo el tramo excepto en los puntos 116.0 al 117.5.

Nivel 1130.

1.- Tramo 0 - 90 (Hornfels) La presencia de fallas en este tramo es significativa, asi tenemos lo siguiente:

tramo 0 - 10.- fallas con rumbos perpendicular al eje del túnel y buzamiento vertical.

tramo 10 40.- tenemos una falla con rumbo subperpendicular al eje del túnel e inclinación subvertical, paralela a esta falla tenemos un sistema de fracturas, que en su mayoría se encuentran abiertas. En este tramo tenemos la presencia de un dique.

tramo 45 - 60.- Un sistema de fallas, con rumbo subperpendicular, buzamiento vertical desfavorable con el avance del túnel.

tramo 80 - 90.- El contacto entre el hornfels y el calcosilicato está definido por una falla.

2.- Tramos 90 - 113 (Calcosilicatos) Hay una falla que se emplaza en el tramo 90 - 101, para lo cual se ha colocado como soporte cerchas de acero para contrarestar sus efectos.

3.- Tramo 113 al tope del nivel.- Nuevamente el contacto entre el calcosilicato y el hornfels lo define una falla, de rumbo perpendicular e inclinación vertical.

En el tramo 113 - 128, se tiene una zona fallada, donde las fallas tienen la misma característica de la falla contacto. A partir del tramo 130 - 170 tenemos una zona fracturada, donde las fracturas tienen un rumbo perpendicular a subperpendicular e inclinación vertical.

Al final de este nivel se tiene una falla con rumbo perpendicular con respecto al eje del túnel y de inclinación vertical.

### 7.2.3 Geotectónica

Se realizó un estudio microtectónico con el fin de determinar las direcciones de esfuerzos predominantes, para este fin se procedió a tomar los siguientes datos de las fallas: buzamiento, dirección de buzamiento, movimiento de la falla (tipo de falla), ángulo de inclinación de las estrías (pitch) de fallas y dirección de inclinación. Para el análisis posterior de estos datos se utilizó el programa de M.J. Mercier.

En el anexo 1, se presenta los resultados obtenidos.

#### 7.2.4 Dominios Estructurales

En este acápite se contempla la división del eje del túnel en dominios estructurales. El primer factor que se considero para esta división fue la litología, consiguiendose con esto limitar zonas; posteriormente en cada zona se procedió a realizar subdivisiones en función de

Calidad de la roca que atraviesa.

Estructuras geológicas de importancia (p.e. sistemas de discontinuidades, fallas, etc.)

Logrando con esto delimitar zonas que posean características que la diferencia de otras y que se ven reflejadas en los valores que son asignados tanto al índice RMR como al índice Q respectivamente .

#### 7.2.5 Línea de detalle

Para el desarrollo de este punto se estableció una serie de estaciones a lo largo del túnel, cuya ubicación se puede observar en el plano adjunto N° 1, registrandose un total de 09 estaciones con un mínimo de 50 mediciones y un máximo de 100. Para la ubicación de estas estaciones se consideró los siguientes aspectos:

Litología.

Dirección de labores con respecto al eje del túnel

Estructuras principales (fallas).

La información que se obtiene en cada estación, es la que esta descrita en el formato

de línea de detalle (ver formato N° 2). Con los datos de buzamiento y dirección de buzamiento se procedió a realizar la proyección de los polos en la red ortogonal, con lo cual obtendremos las ciclografías de las respectivas familias de discontinuidades.

En resumen las características que se toman de las discontinuidades son las siguientes:

- a) Tipo de discontinuidad (plano de estratificación, fractura, fallas, zonas de corte, grietas de relajamiento).
- b) Orientación (rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento de la discontinuidad).
- c) Espaciamiento (distancia entre dos planos de discontinuidades de un mismo sistema).
- d) Abertura (distancia entre las caras de una discontinuidad).
- e) Persistencia.
- f) Relleno (material en el interior de la discontinuidad).
- g) Alteración (grado de intemperismo de las paredes de la discontinuidad).
- h) Rugosidad (forma de las paredes de la discontinuidad).
- i) Presencia de humedad o flujo de agua.

#### 7.2.6 Clasificación geomecánica por tramos del túnel.

Con referencia a la calidad de la roca y al diseño de soporte más óptimo, se ha tomado para efecto de este trabajo, el sistema de clasificación geomecánica del CSIR, propuesto por

Bieniawski y el índice de la calidad de la masa rocosa o valor "Q" del NGI, propuesto por Barton, Lien y Lunde. Para determinar los parámetros respectivos de cada uno de estos sistemas se ha utilizado toda la información de campo obtenida en el mapeo.

En el anexo 2, podemos observar los valores que se asignaron a los parámetros, tanto para el índice RMR como para el índice Q, en los diferentes tramos del túnel.

### 7.3.- Interpretación de resultados.

#### 7.3.1 Proyección estereográfica

En base a las mediciones efectuadas en cada una de las 09 estaciones, utilizando la gráfica de concentración de polos, se obtuvieron los resultados para cada estación, donde se indica el rumbo y buzamiento de las principales familias de discontinuidades (ver anexo 3). Se incluye un composito con el total de las mediciones efectuadas (N° total 666).

#### 7.3.2 Microtectónica

Como resultado del análisis microtectónico, nos ha permitido determinar las direcciones de los esfuerzos predominantes (ver resultado) siendo las siguientes:

@1 = N355.8682  
@2 = N259.3918  
@3 = N92.48493

Al comparar ambos resultados, estaremos en la capacidad de reconocer, cual es la dirección de las fracturas de tensión y cuales son las de cizallamiento o de corte.

La información obtenida nos servirá para poder comprender el comportamiento de ciertos tramos del túnel, que presenten problemas de sostenimiento; así como las direcciones en la cual, el eje del túnel estará influenciado por una mayor o menor concentración de esfuerzos, información que se debe tener en cuenta en el momento de realizar el trazo del túnel para el caso de los proyectos de continuación de la rampa.

#### 7.4.- Diseño del Sostenimiento

##### 7.4.1 Tipos de sostenimiento

En base a los valores obtenidos, tanto de la clasificación del índice RMR como del índice Q (ver anexo 2), se obtuvieron las siguientes recomendaciones para el soporte.

Soporte - Clasificación RMR

Tipo	Descripción
a	empernado ocasional
b	es/cst (1.0)
c	es/cst (0.75)
d,f	es/cst (0.75) +sh (10)
e,h,j	es/cst (1.0) + rc (30)

Soporte - Clasificación NGI - Índice Q

Tipo	Descripción
21c	es/cst (1.0)
21a	es/cst (1.0) + sh (2-3)
17d, 21b, 30b	sh (3-5)
25b, 25c, 29b, 29c, 33a	es/cst(1.0) +shr (3-5)

El sostenimiento recomendado será una combinación de los soportes indicados en los cuadros anteriores. Así tenemos lo siguiente:

RMR	Q	Recomendado
a		I
b, c	21c	IIa
d, f	21a	IIb
	17d, 30b, 21b	III
e, h, j	25b, 25c, 29b, 29c, 33a	IV

En base a la aplicación de los dos sistemas de clasificación geomecánica, la experiencia obtenida en la excavación, el análisis de gastos y procedimiento operativo, se determinó el soporte que se recomienda en el capítulo de conclusiones y recomendaciones.

En la tabla N° 9 mostrada a continuación se indica el resumen del sostenimiento recomendado por tramos. El detalle de la ubicación y orientación de los pernos y concreto lanzado, se indican en el plano N° 1 y en las hojas de diseño (Anexo 4).



Tabla No 9 Recomendaciones de soporte por tramos

tramo		RMR	Sost.	Q	Sost.	Sost. Final
34.00	34.60	59.2	a	6.95		I
34.60	35.00	48.2	b	5.85	?	Ila
36.00	37.00	59.2	a	16.38		I
37.00	38.00	54.2	a	12.25		I
38.00	38.70	59.2	a	9.82		I
42.00	43.00	59.2	a	5.18		I
44.60	45.00	55.5	a	6.13		I
45.00	46.20	45.5	b	3.44	?	Ila
46.20	47.70	52.6	a	8.60		I
47.70	48.20	47.5	b	1.59	21c	Ila
50.70	51.50	45.5	b	3.60		Ila
53.00	53.60	58.5	a	21.33		I
61.00	61.50	52.5	a	8.63		I
78.50	79.30	51.5	a	8.19		I
79.30	80.00	45.5	b	15.55	?	Ila
80.00	80.50	59.5	a	18.85		I
80.50	81.00	33.0	c,d,e	7.30		Ilb
81.00	81.50	43.0	b	4.00	?	Ila
81.50	82.00	43.0	b	1.25	21c	Ila
82.00	84.70	33.0	c,d,e	0.10	30b-33a	IV
84.70	85.20	33.0	c,d,e	6.25		IV
85.20	86.20	41.0	b	0.33	29b	IV
86.20	87.00	46.0	b	0.41	25c	IV
87.00	88.00	46.0	b	2.45	?	Ila
88.00	89.00	36.0	c,d,e	0.41	25c	IV
92.00	93.60	48.0	b	9.80	?	Ila
93.60	94.00	33.0	c,d,e	0.03	33a	IV
94.00	95.00	53.0	a	2.45		I
96.00	97.50	33.0	c,d,e	0.42	25c	IV
97.50	100.00	50.2	a	1.07	21c	Ila
100.00	100.70	48.2	b	3.53	?	Ila
102.40	103.50	67.2		1.64	21a	Ilb
103.50	104.00	48.2	b	2.18	?	Ila
104.00	105.20	50.2	a	4.00		I
105.20	105.70	50.2	a	0.82	25c	IV
107.00	107.50	55.2	a	3.06		I
107.50	108.00	55.2	a	8.19		I
108.00	108.60	50.2	a	1.00	21b	III
108.60	109.20	30.2	d,e	1.63	21b	III
110.00	110.50	75.5		0.82	25b	IV
110.50	111.00	51.5	a	0.65	25b	IV
111.00	111.80	47.0	b	0.82	25b	IV
111.80	112.10	52.0	a	0.41	25b	IV
112.10	112.50	61.0		1.31	21b	III
112.50	113.00	60.0	a	0.33	29c	IV
113.00	114.00	64.0		1.37	21b	III
114.00	115.50	52.0	a	0.71	25b	IV
115.50	116.00	61.0		0.46	25b	IV
116.00	118.00	52.0	a	0.82	25b	IV
118.00	118.60	64.0		1.26	21b	III

Nivel 1130

tramo		RMR	Sost.	Q	Sost.	Sost. Final
0.00	4.00	25.2	f,h,j	0.38	29c	IV
4.00	10.00	35.2	c,d,e	0.41	25c	IV
10.00	30.00	51.0	a	0.55	25c	IV
30.00	30.60	45.0	b	4.08	?	Ila
30.60	45.00	57.0	a	10.25		I
45.00	60.00	38.0	d,e	1.63	21b	III
60.00	67.00	58.0	a	6.13		I
67.00	80.00	48.0	b	6.13	?	Ila
80.00	90.00	35.0	d,e	0.38	29c	IV
90.00	101.00	35.0	d,e	0.10	30b	IV
113.50	128.00	42.0	b	0.98	25c	IV
128.00	140.00	54.0	a	6.13		I
140.00	160.00	52.5	a	3.53		I
160.00	170.00	60.0	a	12.25		I
170.00	180.00	58.0	a	12.25		I
180.00	200.00	55.0	a	6.13		I
200.00	tope	35.0	d,e	0.41	25c	IV

## 7.4.2 Procedimientos y especificaciones constructivas

En este capítulo se dan las pautas para el control de calidad de los soportes recomendados.

### Concreto lanzado

**Agregados.-** Los agregados empleados en la fabricación del concreto lanzado deben cumplir con las mismas especificaciones para agregados de concreto (ASTM C -33) y la gradación de los agregados finos y gruesos combinados será la siguiente:

Malla	% que pesa
1/2"	100 %
3/8"	90 - 100 %
4	70 - 85
8	50 - 70
16	35 - 55
30	20 - 35
50	8 - 20
100	2 - 10

Los agregados deben ser limpios, silíceos, resistentes a la abrasión, lustrosos : libres de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas suaves y escamosas, esquistos, pizarras, álcalis y materias orgánicas.

Se controla la materia orgánica por lo indicado en ASTM C-40 y la granulometría por ASTM C-136. ASTM C-17 y ASTM C-117.

**Agua.-** El agua a emplearse en la preparación del concreto lanzado en principio debe ser potable, fresca y limpia, libre de sustancias perjudiciales

como aceites, ácidos, álcalis, sales minerales, materias orgánicas, partículas de humus, fibras vegetales, etc.

Aditivos.- se permite el uso de aditivos tales como acelerantes de fragua, siempre y cuando sean de calidad reconocida y comprobada. A la llegada de cada lote de aditivo se ejecutan ensayos en las agujas de Gillmore para determinar los tiempos iniciales y finales de fragua, dichos ensayos confirman la calidad del lote de aditivo y son requisito indispensable para su aprobación de uso.

No se permite el uso de productos que contengan cloruros de calcio o nitratos.

Diseño de mezcla.- Todo concreto deberá alcanzar luego de 3 días una resistencia a la compresión uniaxial mínima de 15.3 MPa (150 Kg/cm<sup>2</sup>) y a los 7 días una compresión uniaxial mínima de 21 MPa (210 Kg/cm<sup>2</sup>).

El producto final deberá tener una densidad seca de 2,275 Kg/m<sup>3</sup> como mínimo y un máximo volumen de vacíos de 15 %.

Cada 100 m<sup>3</sup> de concreto aplicado se extraen muestras de campo en cajonetas de 60 cm. x 60 cm. x 10 cm., con el objetivo de obtener testigos cilíndricos, para ensayarlos a compresión uniaxial simple.

Procedimiento Constructivo.- Se requiere un desatado efectivo tanto para la seguridad del personal, como para reducir el concreto lanzado

"falso" que se produce al aplicarlo sobre rocas sueltas; luego del desatado debe limpiarse la superficie de roca con una mezcla de aire-agua a presión (5 bares) para extraer todo residuo de polvo que impediría una buena adherencia del concreto.

La distancia óptima entre la boquilla y la superficie de roca que se desea recubrir es de 1.0 a 1.2 m. A mayor o menor distancia se incrementa el rebote.

Se debe seguir un trazo controlado mientras se proyecta el concreto; si no se mantiene este movimiento, el concreto lanzado tendrá compactaciones y espesores desiguales.

El curado del concreto lanzado deberá comenzar a las pocas horas de haberse instalado y se debe mantener con abundante riego de agua por lo menos durante 10 días.

En la aplicación del concreto lanzado deben tomarse en cuenta problemas típicos como son:

- a.- Secuencia de aplicación.
- b.- Distancia y ángulo de proyección.
- c.- Recubrimiento de la malla metálica.
- d.- Concavidad de la excavación.

#### **Pernos cementados**

El diámetro y la longitud de los pernos dependen de las dimensiones de la excavación.

El material para los pernos está de acuerdo

con las especificaciones para varillas de acero al carbono, sujeto a los requisitos de propiedades mecánicas ASTM A-306, grado 60 ó su equivalente.

Los pernos tienen roscas con una longitud mínima de 15 cm. en el extremo y las placas de sujeción son de sección triangular (20 cm. cada lado) x 3/8" de espesor, debiendo ser prensadas de modo que el apoyo de la placa sea tres puntos; además cuentan con su respectiva tuerca y arandela semi-esférica.

Luego que el mortero ha fraguado (3 días aproximadamente) se coloca la placa triangular, la arandela semi-esférica y la tuerca.

La tuerca se ajusta contra la placa triangular con un movimiento torsional mínimo de 40 Kg-m, de modo que la placa se adhiera firmemente contra la superficie rocosa.

Cuando se instalan los pernos cementados previa a la colocación de la malla metálica de refuerzo del concreto lanzado, se debe tomar en cuenta que la placa triangular posteriormente servirá como anclaje de la malla metálica.

En la obra se debe contar con el equipo necesario para ejecutar pruebas de arranque de los pernos cementados, debiendo ensayarse (3) pernos cada sesenta (60) pernos instalados.

Durante el procedimiento constructivo se debe tener especial atención en:

- La orientación de los pernos cementados.
- El espaciamiento de los pernos cementados.
- El completo llenado del taladro con el mortero de cemento.

### **Malla metálica**

La malla metálica electrosoldada N° 8 ó la malla metálica de fierro corrugado (0 3/8") puede ser empleada como refuerzo del concreto lanzado; sin embargo, cuando no se emplea concreto lanzado se usa la malla metálica tipo gallinero junto con pernos cementados.

La malla metálica debe ser instalada y anclada sobre la superficie de la excavación mediante ganchos de fierro corrugado de diámetro 0: 1/2" en taladros de 50 cm. de longitud, utilizándose 2 ganchos por m<sup>2</sup> de malla.

La longitud de los traslapes entre mallas metálicas no será menor de 30 cm.; los empalmes horizontales en los hastiales de la excavación deben ser a no menos de 2 m. del piso.

## 8. Conclusiones y recomendaciones.

1.- Como resultado del mapeo geológico-geotécnico, se procedió a evaluar, los diferentes parámetros de la clasificación RMR y del índice Q, necesarios para poder determinar los diferentes tipos de sostenimiento que recomendaremos en aquellos tramos que lo requieran. Es así que presentamos en el plano adjunto el tipo de sostenimiento obtenido tanto por medio de la clasificación RMR y del Índice Q, en base a esta información, es que se elabora el siguiente cuadro del tipo de sostenimiento recomendado para cada caso.

I	Pernos ocasionales
IIa	Empernado sistemático (cementado) 1m de espaciamiento.
IIb	Empernado sistemático (cementado) 1m de espaciamiento, shocrete de 100 mm.
III	Shocrete de 3 a 5 cm de espesor.
IV	Empernado sistemático (cementado) 1m de espaciamiento, shocrete de 5 cm. con refuerzo de malla de acero.

2.- Comparando la información obtenida de las estaciones de medición de discontinuidades, con el análisis microtectónico, se ha procedido a identificar las direcciones de las fracturas de tensión (NS +/- 10°) y las de corte.

Asimismo, del composito de todas las estaciones, se reconoce tres sistemas de discontinuidades cuyas direcciones son:

1° N68°W/75°SW.

2° N41°E/85°SE.

3° N 4°W/78°NE.

3.- Del Análisis Microtectónico, se obtuvo que las direcciones de los esfuerzos son :

@1 = N 350.8682           Esfuerzo Principal (Compresión)

@2 = N 259.3918

@3 = N 92.4849

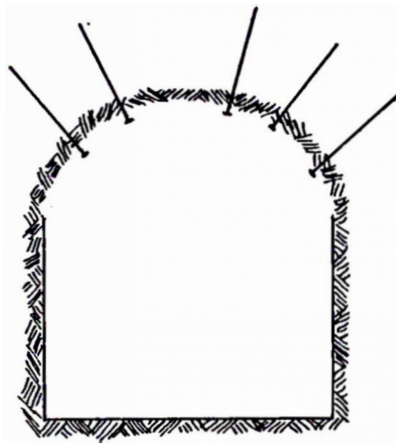
Esto nos lleva a la conclusión de que, los tramos donde la dirección del eje del túnel, sea perpendicular a subperpendicular a la dirección del esfuerzo principal, es probable que se presenten problemas de estabilidad. Un ejemplo de esta afirmación lo tenemos en el nivel 1106 (tramo 112 - al tope) que tiene una dirección E-W y que presentan problemas de sostenimiento.

4.- Con respecto al proyecto Santa Cecilia (Nivel 1086) continuación de la rampa, el eje del túnel tiene una dirección perpendicular a la del esfuerzo de compresión (@1), por lo que es de esperar que se presenten problemas de estabilidad. Es así que en base a la orientación de las discontinuidades que se presentan en este tramo y a la proyección de las condiciones de sostenimiento tanto en el nivel 1130 como en el 1106, es que se recomienda el siguiente tipo de sostenimiento:

Empernado sistemático, inmediatamente después de la voladura (por lo menos dos guardias) donde dependiendo del grado de fracturamiento de la roca, se



colocará conjuntamente con los pernos una malla metálica para evitar la caída de fragmentos de roca la forma de ser colocados los pernos es la siguiente.



## 8.0 Bibliografía

**Bieniawski, Z. T., (1989)** "Engineering Rock Mass Classifications A complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering". A Wiley - Interscience publication. John Wiley & Sons. United States.

**Gobitz, V. (1992)** "Sostenimiento de Túneles", Seminario sobre Tunelería - Universidad Católica del Perú.

**Hoek, E., Brown, E. (1980)** "Underground Excavations in Rock" Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980.

**N. Barton, Floret, R. Lien and Lunde ( 1974)** "Application of Q-System in design decisions concerning dimensions and appropriate support for underground installations.

**Piteau Associates Engineering LTD. (1986)** Field Manual for recording discontinuity observations.

**Saver, Gerhard Dr (1988)** When an innovation is something new: from practice to theory in tunnelling. Tunnels & Tunnelling. The International Journal of Underground Works - July 1988 Vol 20 No 7 pp 35 - 39.

**S.V.S. Ingenieros S.A. (1991)** "Estudio geológico geotécnico del túnel Tauli". Lima.

**S.V.S. Ingenieros S.A. (1992)** "Estudio de Mecánica de Roca de las zonas 17 y 18 de la Mina San Vicente". Marzo - 92 Lima.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

Ficher perubar3 sur disque a

1	221.0	75.0 se	45.0 se	nd	1
2	90.0	75.0 s	80.0 w	nd	2
3	85.0	77.0 se	18.0 ne	ns	3
4	170.0	70.0 sw	32.0 se	ns	4
5	190.0	70.0 nw	20.0 s	ns	5
6	216.0	58.0 se	30.0 sw	nd	6
7	360.0	50.0 w	62.0 s	ns	7
8	170.0	70.0 sw	30.0 se	nd	8
9	200.0	70.0 se	10.0 sw	nd	9

FCALC: VERSION 4.0  
programme du laboratoire de M.J.Mercier

Primer minimum est: -4.199705  
Deuxième minimum est: -5.209824  
Troisième minimum est: -3.966238  
Début de la minimisation sur le point de depart:  
Minimum est -5.966238

Les 5 composantes sont:

9.241923E-04	.5982778	-.126346	-.2099559
.4722021			

Résultat de la minimisation

Minimum est -6.803917

Les 5 composantes sont:

2.264716E-02	.6645682	-9.737788E-02
-5.805289E-02	-.2696642	

N°	(t.s)	Mod(t)	P(t)	Mv(t)	P(s)	Mv (s)	R	
1	35.8	0.3	170.0	i s	135.0	nd	-0.05	1
2	39.7	0.3	60.3	i d	100.0	nd	-1.63	2
3	68.0	0.4	94.0	i s	162.0	ns	-2.02	3
4	10.1	0.0	137.9	i s	148.0	ns	0.33	4
5	16.4	0.2	176.4	i s	160.0	ns	0.04	5
6	22.5	0.4	127.3	i s	150.0	nd	0.82	6
7	33.9	0.4	95.9	i s	62.0	ns	1.58	7
8	7.9	0.0	137.9	i s	130.0	nd	0.38	8
9	0.8	0.3	170.0	i s	170.0	nd	0.38	9

Les trois contraintes sont

$\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$

-.7071593      -5.596844E-02      .763128

Le rapport de forme R est : .4429005

Les directions des axes sont

(X Y) suivi de Ndir plond

-1.475454	9.178927	N	350.8682	4.174289	sigma 1
-6.953672	-1.302377	N	259.3918	19.44436	sigma 2
1.754689	-7.614934E-02	N	92.48493	70.077	sigma 3

## **ANEXO 2**

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	0.00 a 0.50	0.50 a 2.00	2.00 a 4.00	4.00 a 6.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	98.5	100.0	100.0	98.5
Jn	12	3	3	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	12.31	50.00	50.00	24.63
Parámetro de Resistencia	15	12	12	12
R.Q.D.	20	20	20	20
Espaciamiento	10	15	15	10
Estado de las discontinuid.	25	25	20	20
Aguas subter.	15	15	15	15
Orientación	12	12	12	12
RMR	73	75	70	65

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	6.00 a 8.00	8.00 a 9.00	9.00 a 10.00	10.00 a 11.0
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	100	82	100	91.9
Jn	4	4	2	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	37.5	30.75	75.0	22.98
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	20	17	20	20
Espaciamiento	10	8	10	10
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	15	15	15	15
Orientación	12	12	12	12
RMR	70	65	70	70



Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	11.00 a 12.00	12.00 a 13.50	13.50 a 15.00	15.00 a 16.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	62.2	95.2	75.4	98.5
Jn	4	3	9	9
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	26.3	47.6	12.57	16.42
Parámetro de Resistencia	12	12	12	15
R.Q.D.	13	20	17	20
Espaciamiento	8	10	8	10
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	15	15	15	15
Orientación	12	12	12	12
RMR	61.0	70.0	65	73



Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	16.00 a 17.00	17.00 a 18.00	18.00 a 20.00	20.00 a 21.70
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	100.0	95.2	75.4	85.3
Jn	12	4	12	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	12.5	35.7	9.43	21.33
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	20	20	13	17
Espaciamiento	10	10	8	10
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	15	15	15	15
Orientación	80.0	0.0	0.0	0.0
RMR	82	82	73	79

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	21.70 a 24.40	24.40 a 25.00	25.00 a 26.00	26.00 a 27.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	65.5	49	100	72.1
Jn	12	12	3	12
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	8.19	6.13	50.00	9.01
Parámetro de Resistencia	12	12	15	12
R.Q.D.	13	8	20	17
Espaciamiento	8	8	10	8
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	15	15	15	15
Orientación	0.0	0.0	0.0	0.0
RMR	73	68	85	77

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	27.00 a 28.00	28.00 a 28.50	28.5 a 29.20	29.2 a 30.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	49.0	85.3	100	98.5
Jn	9	6	3	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	8.17	21.3	50.0	24.6
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	8	17	20	20
Espaciamiento	8	10	10	10
Estado de las discontinuid.	25	20	20	25
Aguas subter.	15	10	10	15
Orientación	0.0	0.0	0.0	0.0
RMR	68	69	72	82

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

1. 8  
2. 3  
3. 0

Tramo	30.00 a 31.00	31.00 a 32.00	32.00 a Tran	32.00 a 33.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	91.9	91.9	75.4	95.2
Jn	4	18	12	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	34.4	7.6	9.43	23.8
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	20	20	13	20
Espaciamiento	10	10	10	10
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	15	10	15	10
Orientación	0.0	0.0	6.9	8.8
RMR	82	77	68.1	68.2

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	33.00 a 33.50	33.50 a 34.00	34.00 a 34.60	34.60 a 35.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	111	62.2	55.6	88.6
Jn	3	6	12	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	55.5	15.5	6.95	5.85
Parámetro de Resistencia	15	12	12	12
R.Q.D.	20	13	13	17
Espaciamiento	15	8	8	8
Estado de las discontinuid.	25	25	25	10
Aguas subter.	10	10	10	7
Orientación	8.8	8.8	8.8	8.8
RMR	76.2	59.2	59.2	45.2

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	35.00 a 36.00	36.00 a 37.00	37.00 a 38.00	38.00 a 38.70
Litología	Hornf - dq	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	82	65.5	49	58.9
Jn	4	6	6	9
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	30.75	16.38	12.25	9.82
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	17	13	8	13
Espaciamiento	10	8	8	8
Estado de las discontinuid.	25	25	24	25
Aguas subter.	10	10	10	10
Orientación	8.8	8.8	8.8	8.8
RMR	65.2	59.2	54.2	59.2

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	38.70 a 39.90	39.90 a 40.50	40.50 a 41.00	41.00 a 42.00
Litología	Hornfels	Hornfels	F. de lava	F. de lavas
R.Q.D.	75.4	88	85.3	91.1
Jn	6	6	4	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	18.5	22.0	31.9	22.7
Parámetro de Resistencia	12	12	15	15
R.Q.D.	17	17	17	20
Espaciamiento	8	10	10	8
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	15	15	10	15
Orientación	8.8	8.8	8.8	8.8
RMR	68.2	70.2	68.2	74.2



Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	42.00 a Trans.	42.00 a 43.00	43.00 a 44.00	44.00 a 44.60
Litología	F.de lavas	F.de lavas	F.de lavas	F.de lava
R.Q.D.	29.2	62.2	75.4	82
Jn	12	18	12	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	3.65	5.18	9.43	20.5
Parámetro de Resistencia	12	12	15	12
R.Q.D.	8	13	17	17
Espaciamiento	8	8	10	8
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	10	10	10	10
Orientación	8.8	8.8	7.6	7.6
RMR	54.2	59.2	69.5	64.4

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	44.60 a 45.00	45.00 a 46.20	46.20 a 47.70	47.70 a 48.20
Litología	F.de lavas	F.de lavas	F.de lavas	F.de lava
R.Q.D.	49	68.8	68.8	12.7
Jn	12	12	12	12
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	2.5	1	1
Índice Q	6.13	3.4	8.6	1.5
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	8	13	13	13
Espaciamiento	8	8	8	5
Estado de las discontinuid.	25	10	20	25
Aguas subter.	10	10	7	10
Orientación	7.6	7.6	7.6	7.6
RMR	55.4	45.4	52.5	47.4

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	48.20 a 48.70	48.70 a 49.20	49.20 a 50.00	50.00 a 50.70
Litología	Hornfels	hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	68.9	85.3	82	82.9
Jn	12	6	6	12
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	8.61	21.3	20.5	10.3
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	13	17	17	17
Espaciamiento	8	10	8	10
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	7	10	10	10
Orientación	7.6	7.6	7.6	7.6
RMR	57.4	66.4	64.4	66.4

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	50.70 a 51.50	51.50 a 53.00	53.00 a 53.60	53.60 a 54.30
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	72.1	85.6	85.3	82
Jn	12	12	6	12
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	3.6	10.7	21.3	10.2
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	13	17	17	17
Espaciamiento	8	10	10	10
Estado de las discontinuid.	10	25	20	25
Aguas subter.	10	15	7	10
Orientación	7.6	7.6	7.6	7.6
RMR	45.4	71.4	58.4	66.4

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	54.30 a 55.00	55.00 a 57.00	57.00 a 58.00	58.00 a 59.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	108.4	72.1	101.8	85.3
Jn	3	9	3	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	54.2	12.02	50.9	21.3
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	20	13	20	17
Espaciamiento	10	8	10	8
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	10	15	10	7
Orientación	7.6	7.6	7.6	7.6
RMR	69.4	65.4	69.4	64.4

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	59.00 a 59.50	59.50 a 60.00	60.00 a 61.00	61.00 a 61.50
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	68.8	82	75.4	34.5
Jn	9	3	12	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	11.47	41.00	9.43	8.63
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	13	17	17	8
Espaciamiento	8	8	8	5
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	10	10	10	10
Orientación	7.6	7.6	7.6	7.6
RMR	60.4	64.4	64.4	52.4

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	61.50 a 62.60	62.60 a 64.80	64.80 a 65.50	65.50 a 66.50
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Horn. - di
R.Q.D.	98.5	82	95.2	75.4
Jn	3	3	3	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	49.25	41.0	47.6	18.8
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	20	17	20	17
Espaciamiento	10	8	8	8
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	10	10	15	15
Orientación	7.6	7.6	7.6	7.6
RMR	69.4	64.4	72.4	69.4

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	66.50 a 68.00	68.00 a 69.00	69.00 a 70.00	70.00 a 71.50
Litología	Hornfels	Hornfels	diques	hornfels
R.Q.D.	55.6	85.3	102.8	85.3
Jn	9	6	3	4
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	9.2	21.3	51.4	31.9
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	13	17	20	17
Espaciamiento	8	10	10	10
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	15	15	10	10
Orientación	7.6	7.6	7.6	7.6
RMR	65.4	71.4	69.4	66.4



Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	71.50 a 72.00	72.00 a 73.00	73.00 a 74.00	74.00 a 75.20
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	78.7	95.2	98.5	62.1
Jn	6	6	6	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	19.6	23.8	24.6	15.5
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	17	20	20	13
Espaciamiento	10	10	10	8
Estado de las discontinuid.	25	25	25	25
Aguas subter.	10	10	10	10
Orientación	7.6	7.6	7.6	7.6
RMR	66.4	69.4	69.4	60.4

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	75.20 a 77.00	77.00 a 78.50	78.50 a 79.30	79.30 a 80.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	98.5	101.8	81.9	62.2
Jn	9	3	6	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	2.5	1
Índice Q	16.4	50.9	8.1	15.5
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	20	20	17	13
Espaciamiento	10	10	10	8
Estado de las discontinuid.	25	25	10	10
Aguas subter.	10	10	10	7
Orientación	7.6	7.6	7.6	7.6
RMR	69.4	69.4	51.4	42.4

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	80.00 a 80.50	80.50 a 81.00	81.00 a 81.50	81.50 a 82.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.G.D.	75.4	29.2	16	10
Jn	6	6	6	12
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	1	1	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	18.8	7.3	4.0	1.2
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.G.D.	17	8	3	3
Espaciamiento	8	5	5	5
Estado de las discontinuid.	20	10	25	25
Aguas subter.	10	10	10	10
Orientación	7.6	12	12	12
RMR	59.4	33	43	43

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	82.00 a 84.70	84.70 a 85.20	85.20 a 86.20	86.20 a 87.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	25	25	25	49
Jn	12	6	15	6
Jr	1	1.5	1	1
Ja	8	1	2	8
Jw	1	1	1	1
SRF	2.5	1	2.5	2.5
Índice Q	0.1	6.25	0.3	0.4
Parámetro de Resistencia	7	7	7	12
R.Q.D.	8	3	8	8
Espaciamiento	5	5	8	8
Estado de las discontinuid.	10	20	20	20
Aguas subter.	15	10	10	10
Orientación	12	12	12	12
RMR	33	33	41	46

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	87.00 a 88.00	88.00 a 89.00	89.00 a 91.00	91.00 a 92.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	49	49	62.2	82
Jn	6	6	6	6
Jr	1.5	1	1.5	1.5
Ja	2	8	2	1
Jw	1	1	1	1
SRF	2.5	2.5	2.5	2.5
Índice Q	2.45	0.41	3.11	20.5
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	8	8	13	17
Espaciamiento	8	8	8	8
Estado de las discontinuid.	20	10	25	25
Aguas subter.	10	10	10	10
Orientación	12	12	12	12
RMR	46	36	56	60

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	92.00 a 93.60	93.60 a 94.00	94.00 a 95.00	95.00 a 96.00
Litología	Hornfels	Calcosili	Calcosili.	Calcosili.
R.Q.D.	49	25	49	82
Jn	3	36	4	3
Jr	1.5	1	1	1.5
Ja	1	8	2	2
Jw	1	1	1	1
SRF	2.5	2.5	2.5	1
Índice Q	9.8	0.03	2.4	20.5
Parámetro de Resistencia	12	7	12	12
R.G.D.	8	8	13	17
Espaciamiento	5	5	5	8
Estado de las discontinuid.	25	10	20	25
Aguas subter.	10	15	15	15
Orientación	12	12	12	12
RMR	48	33	53	65

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	96.00 a 97.50	97.50 a 100.00	100.00 a 100.70	100.70 a 102.40
Litología	Calcosili.	Calcosili.	Calcosili.	Calcosili.
R.Q.D.	25	16	42.4	62.2
Jn	12	6	9	6
Jr	1	2	1.5	1.5
Ja	2	2	2	2
Jw	1	1	1	1
SRF	2.5	2.5	1	1
Índice Q	0.4	1.07	3.5	7.7
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	8	3	8	13
Espaciamiento	5	5	8	8
Estado de las discontinuid.	10	20	10	20
Aguas subter.	15	15	15	15
Orientación	12	4.8	4.8	4.8
RMR	33	50.2	48.2	63.2

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	102.40 a 103.50	103.50 a 104.00	104.00 a 105.20	105.20 a 105.70
Litología	Calcosili.	Calcosili.	Calcosili.	Calcosili.
R.Q.D.	98.5	65.5	16	49
Jn	3	6	3	3
Jr	1	1	1.5	1
Ja	8	2	2	8
Jw	1	1	1	1
SRF	2.5	2.5	1	2.5
Índice Q	1.6	2.2	4	0.8
Parámetro de Resistencia	7	12	12	12
R.Q.D.	20	13	3	8
Espaciamiento	10	8	5	5
Estado de las discontinuid.	20	10	20	20
Aguas subter.	15	10	15	10
Orientación	4.8	4.8	4.8	4.8
RMR	67.2	48.2	50.2	50.2



Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	105.70 a 107.00	107.00 a 107.50	107.50 a 108.00	108.00 a 108.60
Litología	Calcosili.	Calcosilic	Calcosili.	Calcosili.
R.Q.D.	82	49	65.5	16
Jn	3	12	6	12
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	2	2	2	2
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	20.5	3.1	8.2	1
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	17	8	8	8
Espaciamiento	8	5	5	5
Estado de las discontinuid.	20	20	20	20
Aguas subter.	10	15	15	15
Orientación	4.8	4.8	4.8	4.8
RMR	62.2	55.2	55.2	55.2

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	108.60 a 109.20	109.20 a 110.00	110.00 a 110.50	110.50 a 111.00
Litología	Calcosili.	C.Mineral.	C.Mineral	C. Mineral
R.Q.D.	32.5	65.5	49	39.1
Jn	6	9	9	9
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	2	1	2	2
Jw	1	1	1	1
SRF	2.5	1	5	5
Índice Q	1.6	10.9	0.8	0.6
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	8	13	17	8
Espaciamiento	5	8	10	5
Estado de las discontinuid.	0	20	25	20
Aguas subter.	10	15	15	10
Orientación	5	3.5	3.5	3.5
RMR	30	64.5	75.5	51.5

Túnel Principal de la Mina Graciela

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	111.00 a 111.80	111.80 a 112.10	112.10 a 112.50	112.50 a 113.00
Litología	C. Mineral	C. Mineral	C. Mineral	C. Mineral
R.Q.D.	49	49	78.7	58.9
Jn	9	18	9	27
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	2	2	2	2
Jw	1	1	1	1
SRF	5	5	5	5
Índice Q	0.82	0.41	1.31	0.3
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	8	8	17	13
Espaciamiento	5	5	10	8
Estado de las discontinuid.	20	20	20	20
Aguas subter.	15	10	10	15
Orientación	8	8	8	8
RMR	52	47	61	60

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	113.00 a 114.00	114.00 a 115.50	115.50 a 116.00	116.00 a 118.00
Litología	C. Mineral	C. Mineral	CC. Mineral	C. Mineral
R.Q.D.	82	42.4	82	49
Jn	9	9	27	9
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	2	2	2	2
Jw	1	1	1	1
SRF	5	5	5	5
Índice Q	1.3	0.7	0.4	0.8
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	17	8	17	8
Espaciamiento	8	5	5	5
Estado de las discontinuid.	20	20	20	20
Aguas subter.	15	15	15	15
Orientación	8	8	8	8
RMR	64	52	61	52

Túnel Principal de la Mina Graciela  
Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	118.00 a 118.60			
Litología	C.Mineral			
R.Q.D.	75.4			
Jn	9			
Jr	1.5			
Ja	2			
Jw	1			
SRF	5			
Índice Q	1.2			
Parámetro de Resistencia	12			
R.Q.D.	17			
Espaciamiento	8			
Estado de las discontinuid.	20			
Aguas subter.	15			
Orientación	8			
RMR	64			

Túnel Principal de la Mina Graciela

Nivel 1130

Clasificación Geomecánica, índice G y RMR

Tramo	0.00 a 4.00	4.00 a 10.00	10.00 a 30.00	30.00 a 36.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	45.7	49	65.5	49
Jn	6	6	6	6
Jr	1	1	1	1
Ja	8	8	8	2
Jw	1	1	1	1
SRF	2.5	2.5	2.5	1
Índice G	0.38	0.41	0.55	4.08
Parámetro de Resistencia	7	12	12	12
R.Q.D.	8	8	13	8
Espaciamiento	5	5	8	5
Estado de las discontinuid.	0	0	10	10
Aguas subter.	10	15	10	10
Orientación	4.8	4.8	2.0	0.0
RMR	25.2	35.2	51	45

Túnel Principal de la Mina Graciela

Nivel 1130

Clasificación Geomecánica, índice G y RMR

Tramo	36.00 a 45.00	45.00 a 60.00	60.00 a 67.00	67.00 a 80.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	82	49	49	49
Jn	6	9	6	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	2	2	2	2
Jw	1	1	1	1
SRF	1	2.5	1	1
Índice G	10.25	1.63	6.13	6.13
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	17	8	8	8
Espaciamiento	10	8	8	8
Estado de las discontinuid.	20	0	20	10
Aguas subter.	10	10	10	10
Orientación	10	0	0	0
RMR	59	38	58	48

Túnel Principal de la Mina Graciela

Nivel 1130

Clasificación Geomecánica, índice G y RMR

Tramo	80.00 a 90.00	90.00 a 101.00	101.00 a 113.50	113.50 a 128.00
Litología	Hornfels	Calcosilic	Calcosilic	Hornfels
R.Q.D.	45	25	71.9	78.7
Jn	6	12	6	4
Jr	1	1	3	1
Ja	8	8	4	8
Jw	1	1	1	1
SRF	2.5	2.5	1	2.5
Índice G	0.38	0.10	8.99	0.98
Parámetro de Resistencia	12	7	12	7
R.Q.D.	8	8	13	17
Espaciamiento	5	5	8	8
Estado de las discontinuid.	0	0	20	0
Aguas subter.	10	15	15	10
Orientación	0.0	0.0	2.7	0.0
RMR	35.0	35.0	65.3	42.0



Túnel Principal de la Mina Graciela

Nivel 1130

Clasificación Geomecánica, índice Q y RMR

Tramo	128.00 a 140.00	140.00 a 160.00	160.00 a 170.00	170.00 a 180.00
Litología	Hornfels	Hornfels	Hornfels	Hornfels
R.Q.D.	49	42.4	49	49
Jn	6	9	6	6
Jr	1.5	1.5	1.5	1.5
Ja	2	2	1	1
Jw	1	1	1	1
SRF	1	1	1	1
Índice Q	6.13	3.53	12.25	12.25
Parámetro de Resistencia	12	12	12	12
R.Q.D.	8	8	8	8
Espaciamiento	5	8	5	8
Estado de las discontinuid.	20	20	20	20
Aguas subter.	15	10	15	10
Orientación	5.5	5.5	0.0	0.0
RMR	54.50	52.5	60.0	58.0

Túnel Principal de la Mina Graciela

Nivel 1130

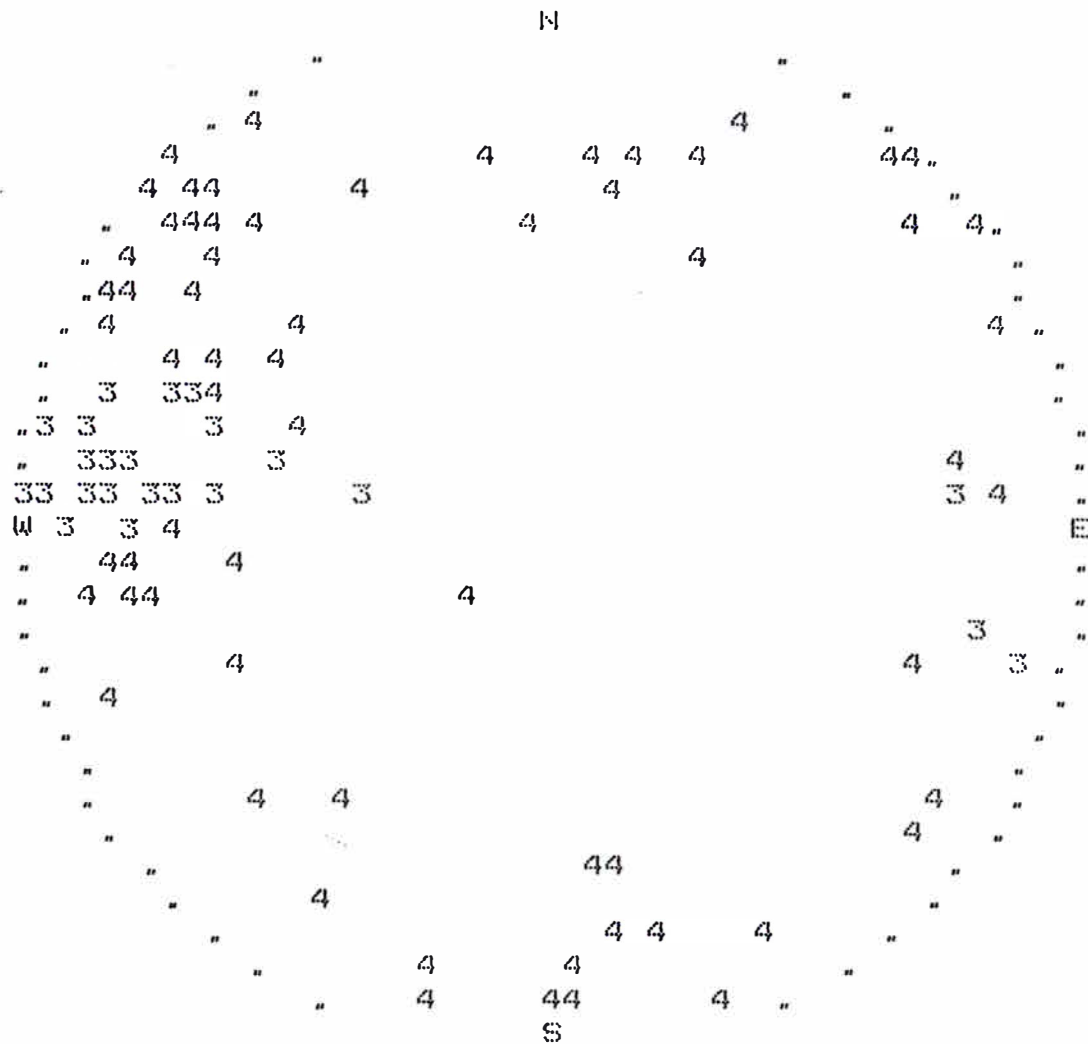
Clasificación Geomecánica, índice G y RMR

Tramo	180.00 a 200.00	200.00 a Tope		
Litología	Hornfels	Hornfels		
R.Q.D.	49	49		
Jn	6	6		
Jr	1.5	1		
Ja	2	8		
Jw	1	1		
SRF	1	2.5		
Índice G	6.13	0.41		
Parámetro de Resistencia	12	12		
R.Q.D.	8	8		
Espaciamiento	5	5		
Estado de las discontinuid.	20	0		
Aguas subter.	10	10		
Orientación	0.00	0.00		
RMR	55.00	35.00		

**ANEXO 3**

PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.

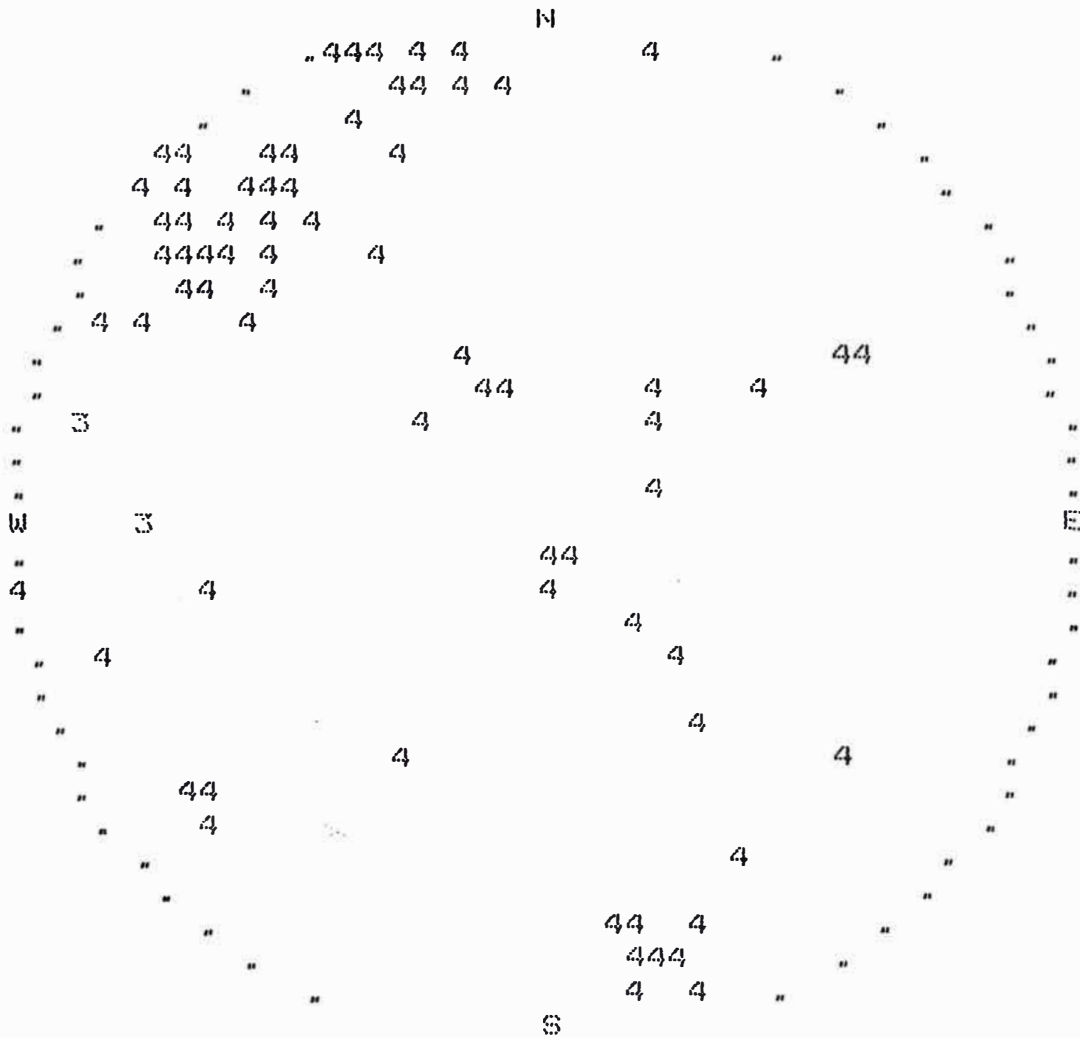
FERUBAR - RAMPA GRACIELA  
 Tramo No 1 : Azimut 213  
 - TRAMO1.INP  
 No DE POLOS = 100



SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.	SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.
1	FALLA	4	CORTE
2	ESTRATIFICACION	5	OTROS
3	TENSION		

PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

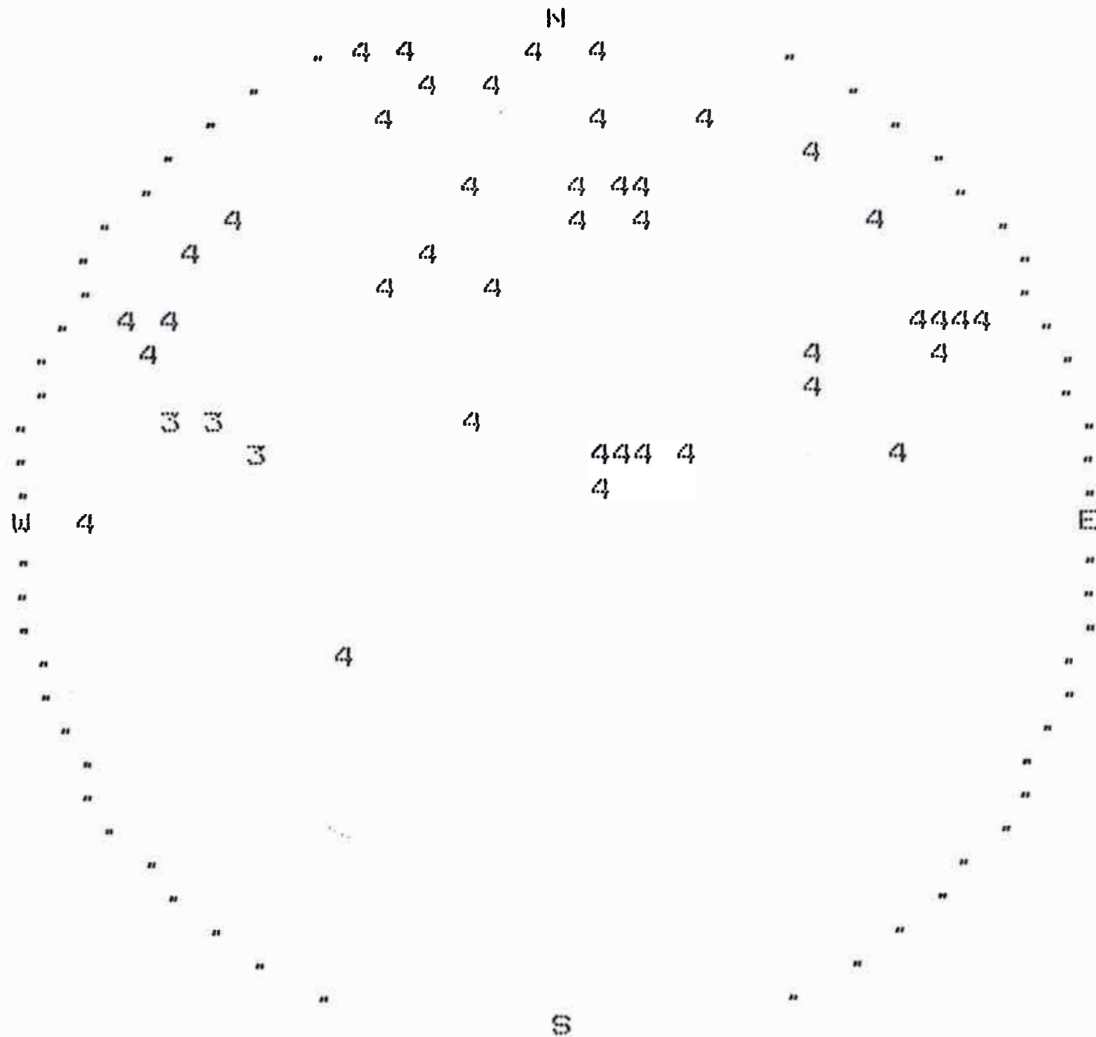
PERUBAR - RAMPA GRACIELA  
 Tramo No 2 : Azimut 142  
 - TRAMO2.INP  
 No DE POLOS = 80



SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.	SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.
1	FALLA	4	CORTE
2	ESTRATIFICACION	5	OTROS
3	TENSION		

PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

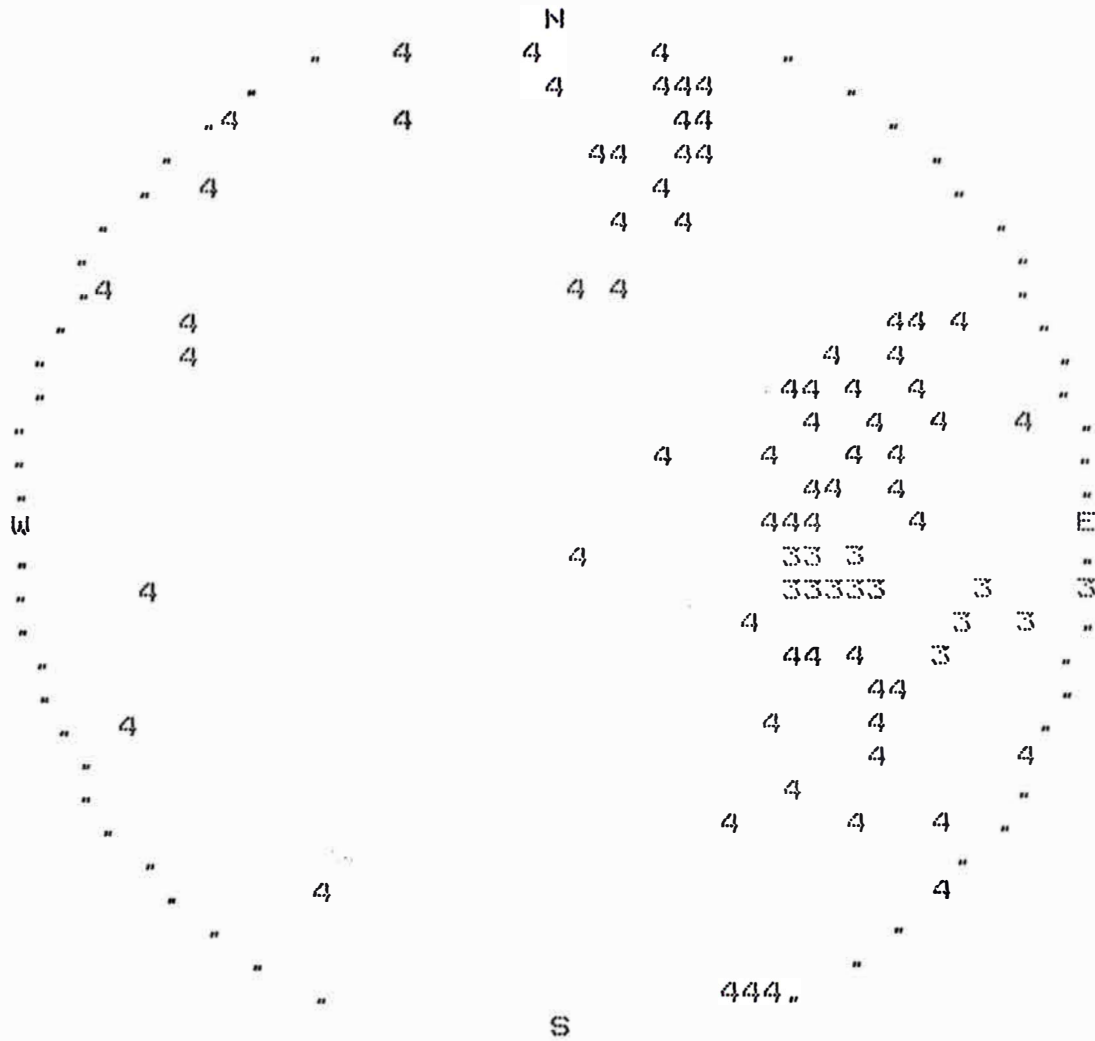
PERUBAR -- RAMPA GRACIELA  
 Tramo No 3 : Azimut 46  
 -- TRAMOS.INP  
 No DE POLOS = 50



SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.	SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.
1	FALLA	4	CORTE
2	ESTRATIFICACION	5	OTROS
3	TENSION		

PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.

PERUBAR - RAMPA GRACIELA  
 Tramo No 4 : Azimut 142  
 -- TRAMO4.INP  
 No DE POLOS = 100

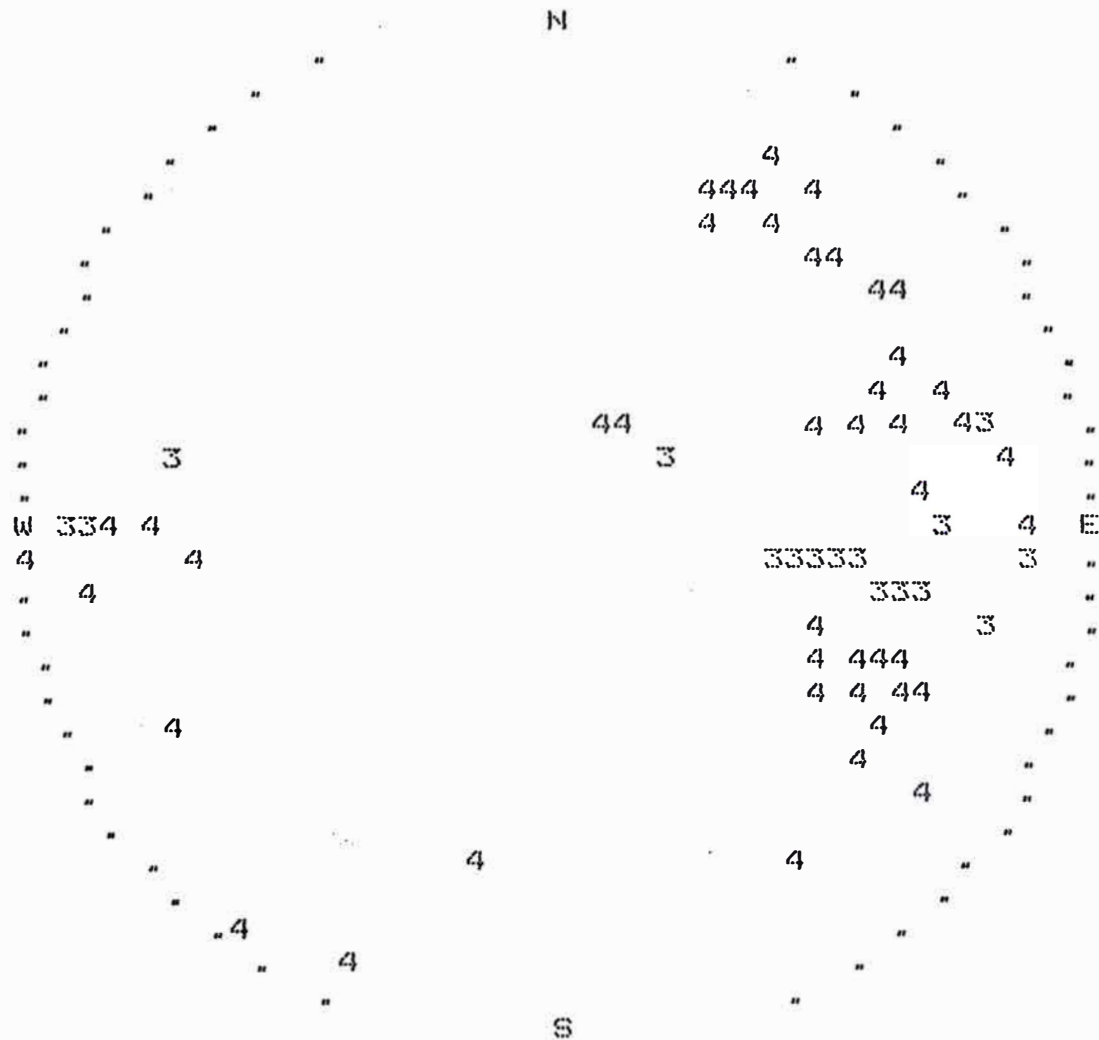


SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.	SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.
1	FALLA	4	CORTE
2	ESTRATIFICACION	5	OTROS
3	TENSION		

PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.

=====

PERUBAR - RAMPA GRACIELA  
 Tramo No 5 : Azimut 41  
 - TRAM05.INP  
 No DE POLOS = 66



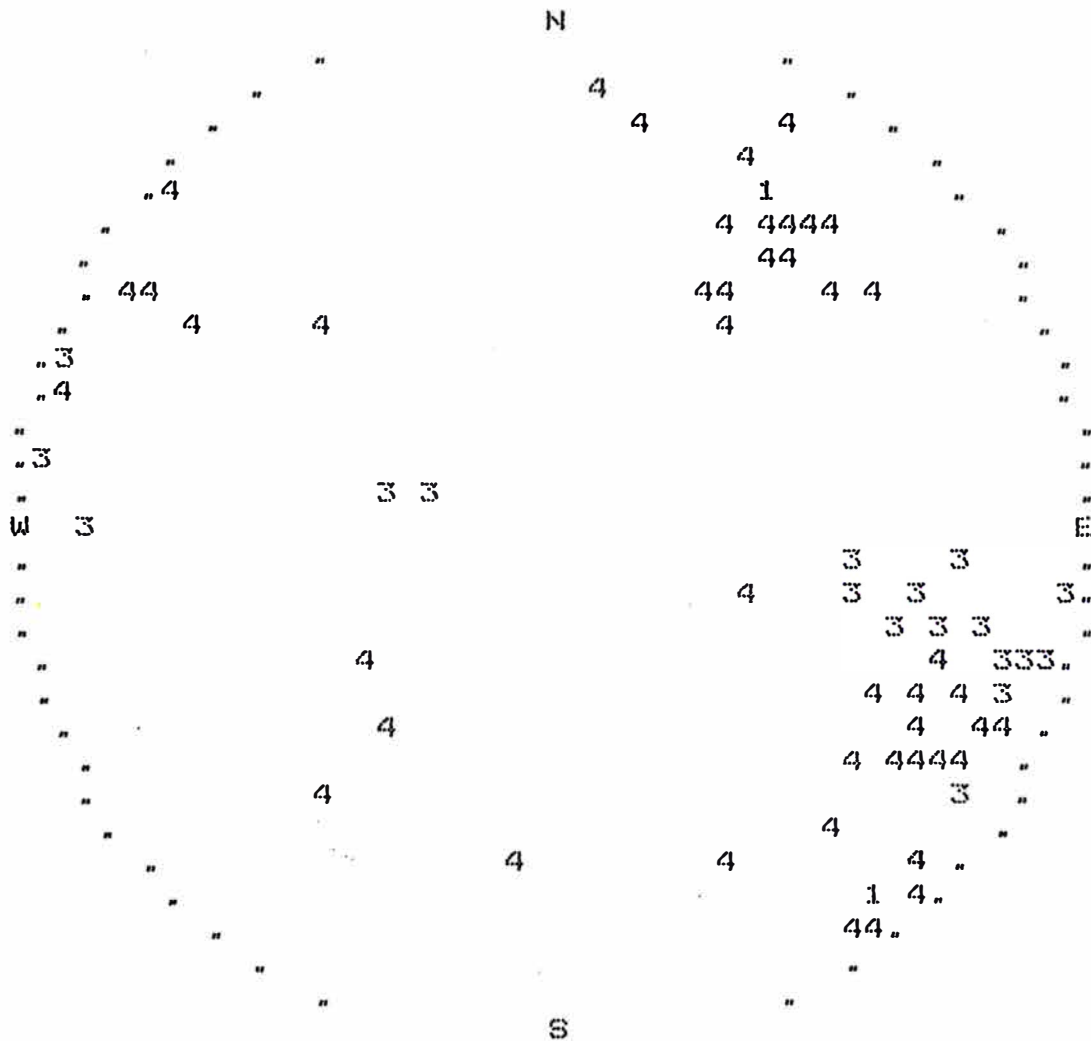
SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.	SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.
=====	=====	=====	=====
1	FALLA	4	CORTE
2	ESTRATIFICACION	5	OTROS
3	TENSION		



PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.

=====

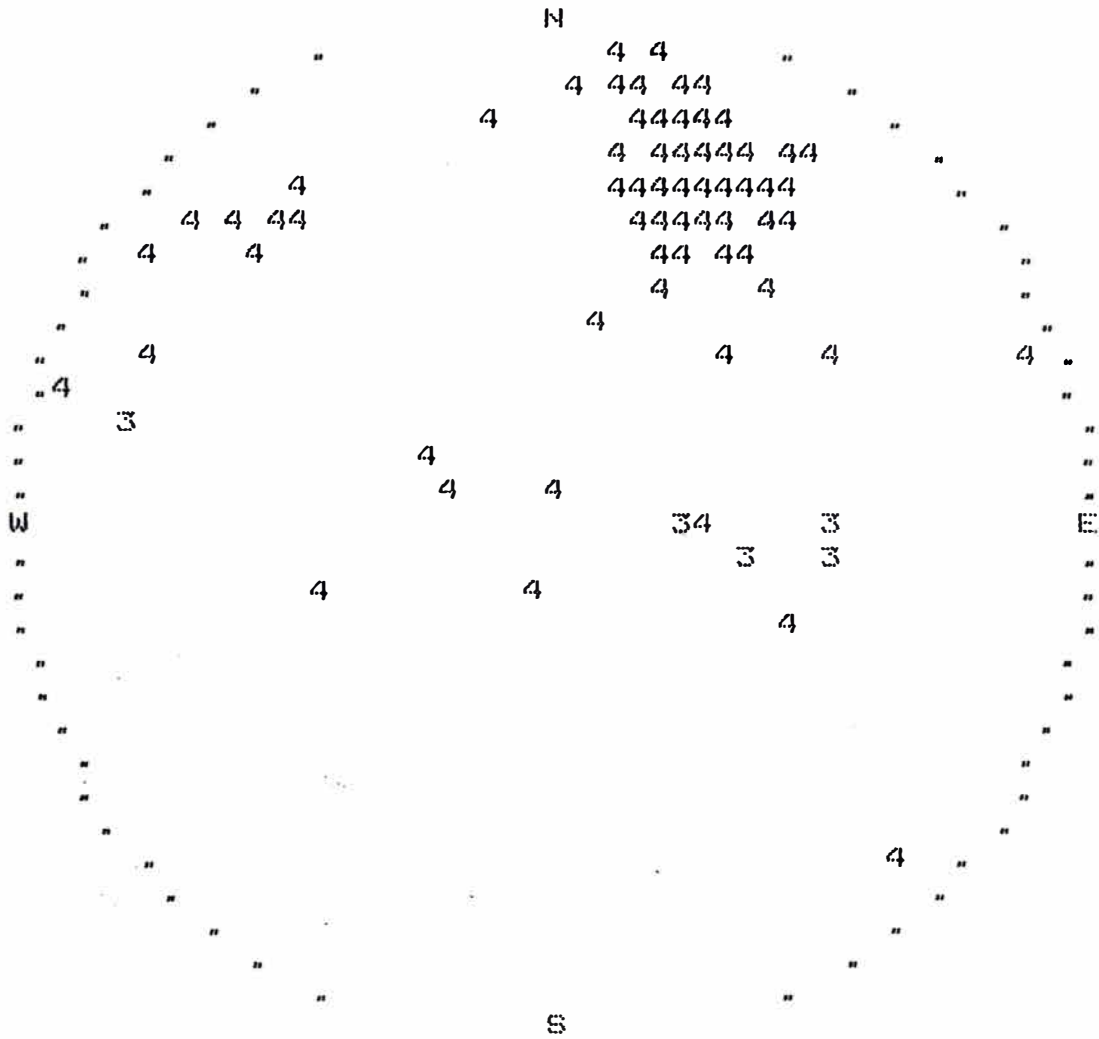
PERUBAR - RAMPA SANTA CECILIA  
 Tramo No 6 : Azimut 163  
 - TRAMO6.INP  
 No DE POLOS = 70



SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.	SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.
1	FALLA	4	CORTE
2	ESTRATIFICACION	5	OTROS
3	TENSION		

PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

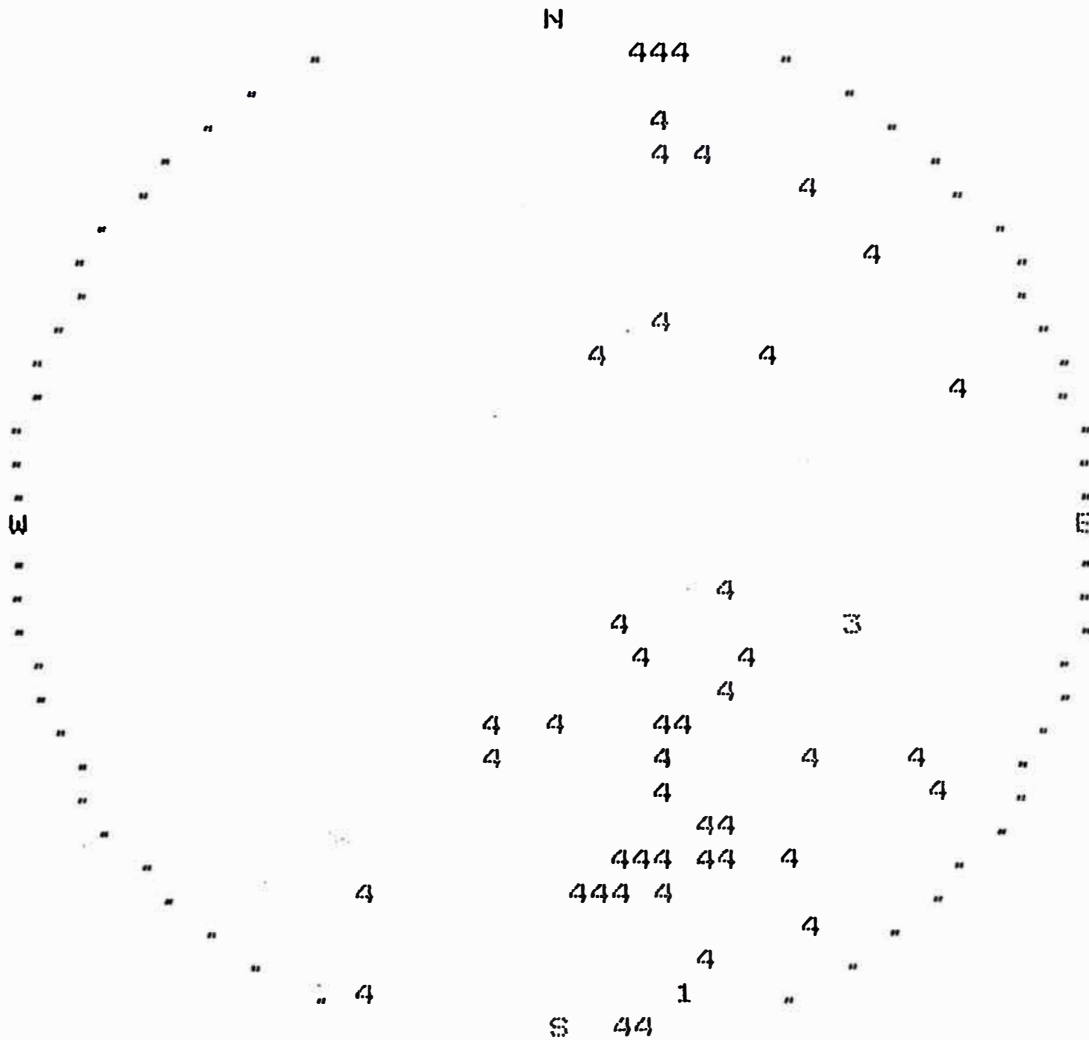
PERUBAR -- RAMPA SANTA CECILIA  
 Tramo No 7 : Azimut 163  
 - TRAMO7.INP  
 No DE POLOS = 100



SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.	SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.
1	FALLA	4	CORTE
2	ESTRATIFICACION	5	OTROS
3	TENSION		

PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

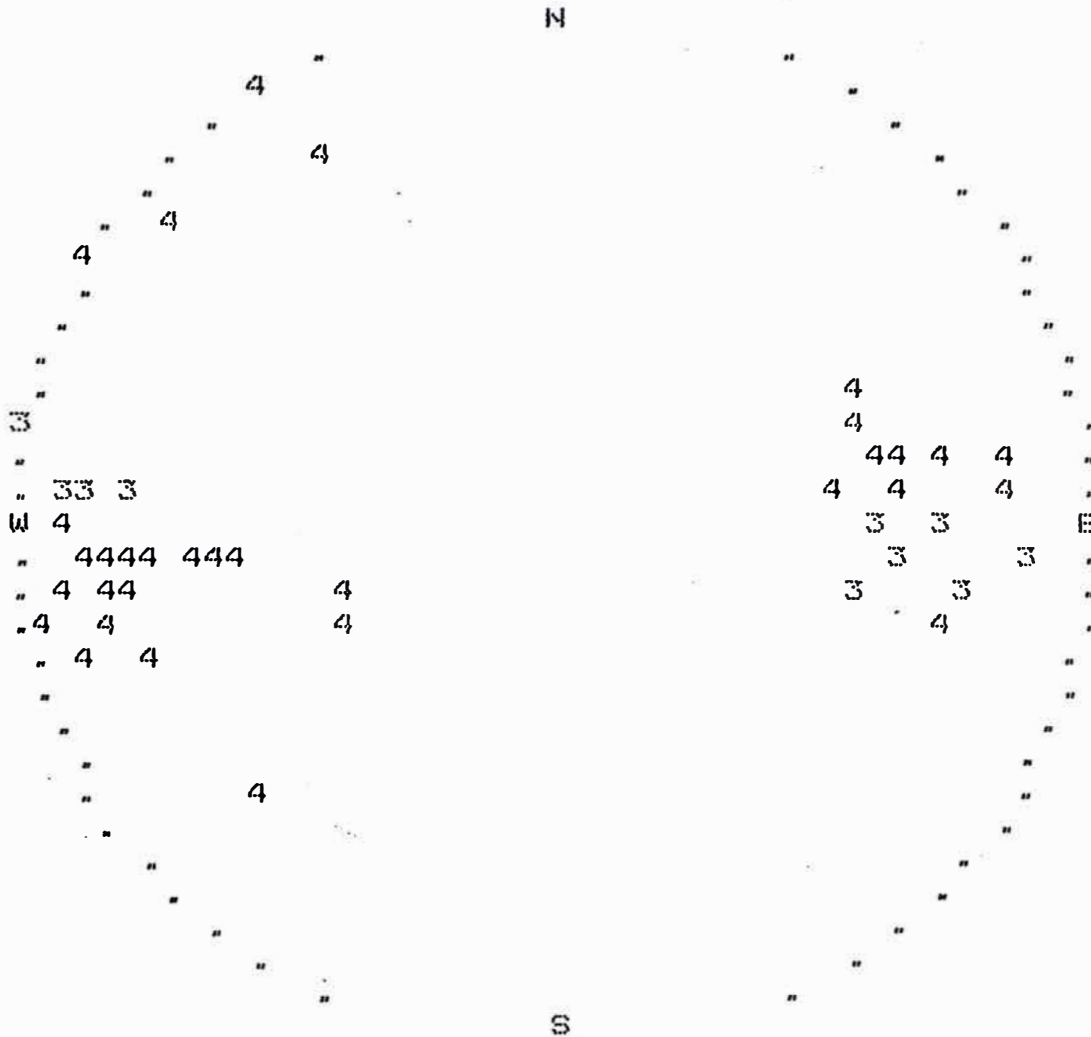
PERUBAR - RAMPA SANTA CECILIA  
 Tramo No 8 : Azimut 359  
 - TRAM08.INF  
 No DE POLOS = 50



SIMBOLO =====	TIPO DE DISCONT. =====	SIMBOLO =====	TIPO DE DISCONT. =====
1	FALLA	4	CORTE
2	ESTRATIFICACION	5	OTROS
3	TENSION		

PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

FERUBAR - RAMPA SANTA CECILIA  
 Tramo No 9 : Azimut 90  
 - TRAM09.INF  
 No DE POLOS = 50



SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.
1	FALLA
2	ESTRATIFICACION
3	TENSION

SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.
4	CORTE
5	OTROS

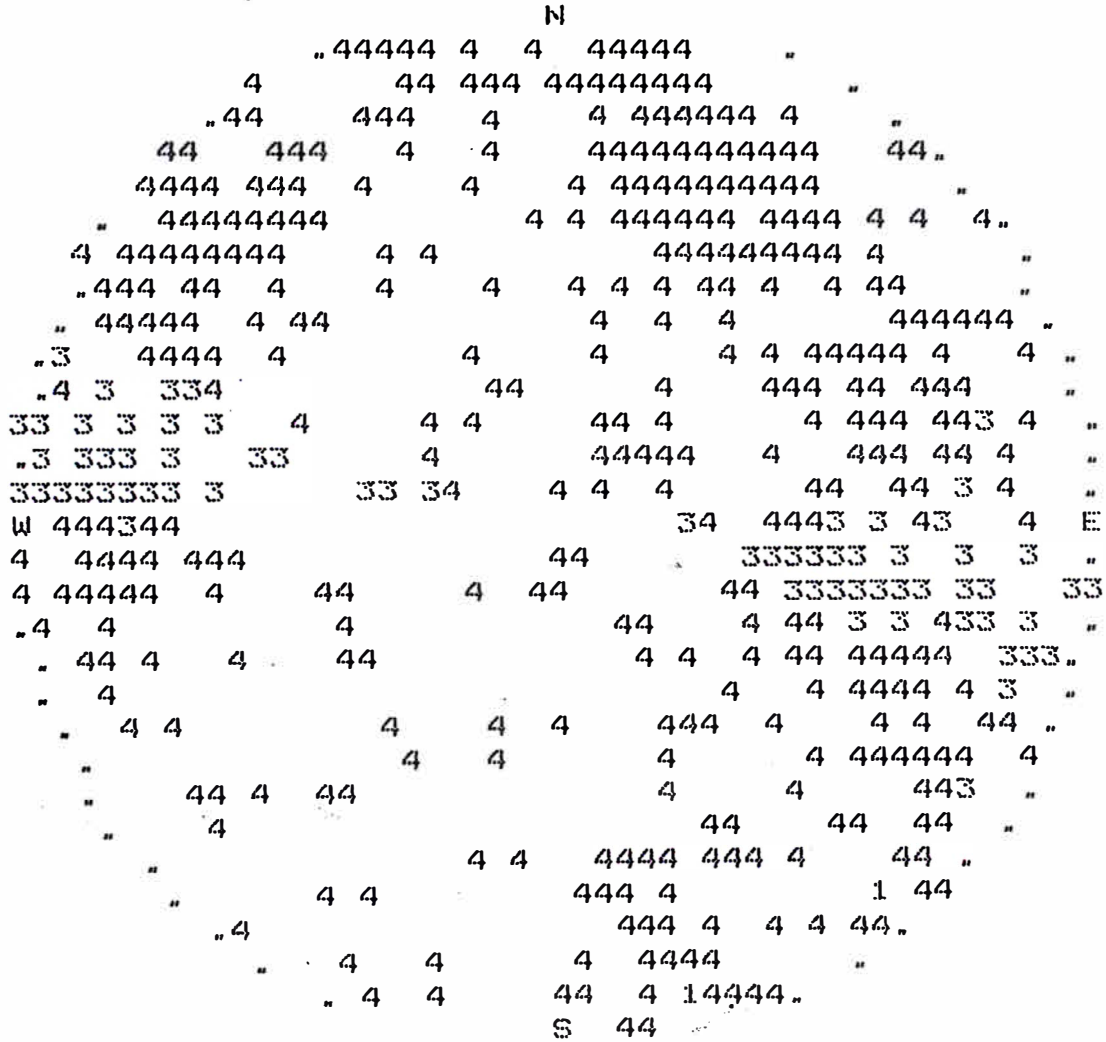
PROYECCION ESTEREOGRAFICA DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

FERUBAR - RAMPA SANTA CECILIA

Tramo No 9 : Azimut 90

- tramo1.inp - tramo2.inp - tramo3.inp - tramo4.inp - tramo5.inp -  
 .inp - tramo7.inp - tramo8.inp - tramo9.inp

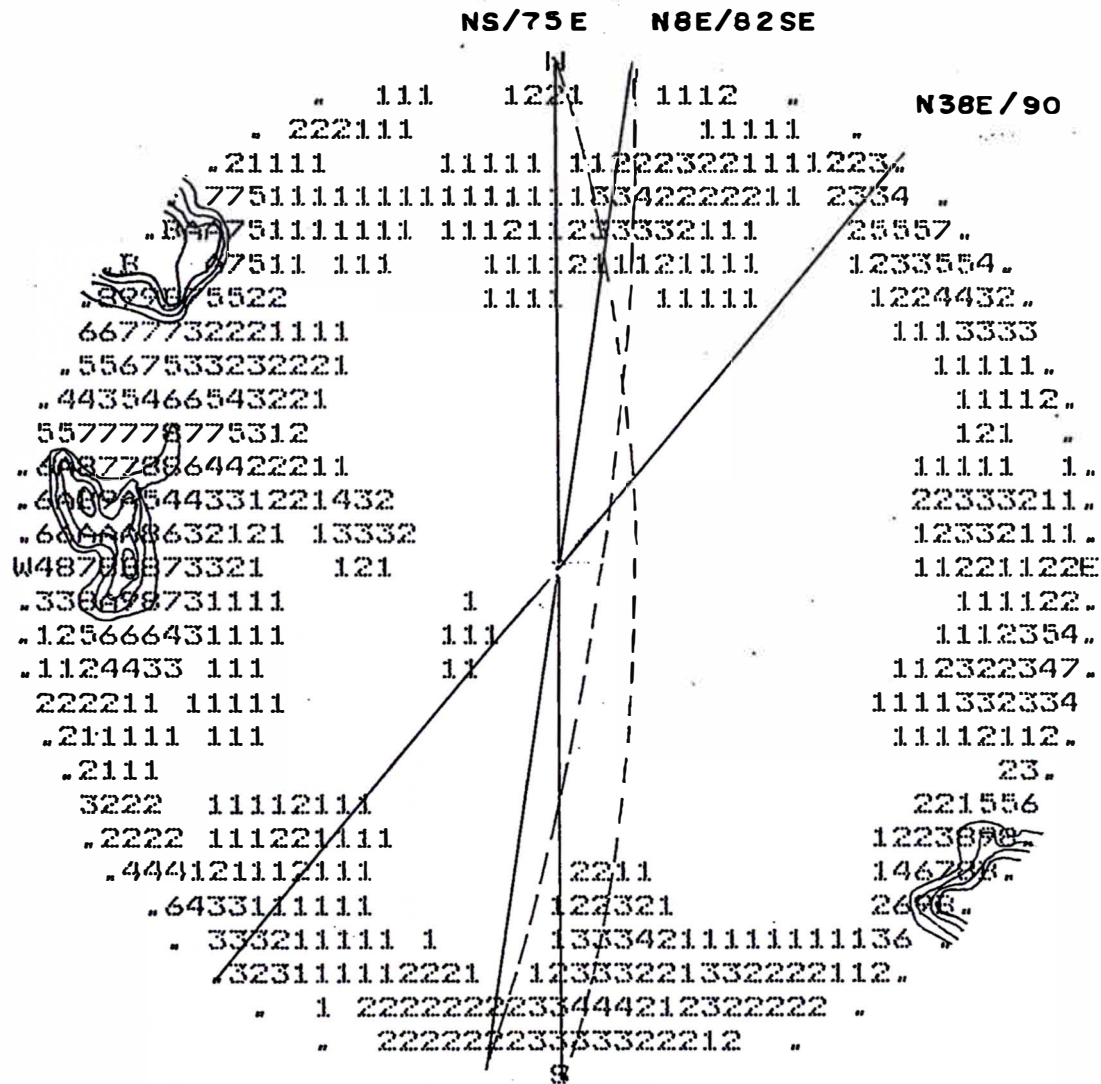
No DE POLOS = 666



SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.	SIMBOLO	TIPO DE DISCONT.
=====	=====	=====	=====
1	FALLA	4	CORTE
2	ESTRATIFICACION	5	OTROS
3	TENSION		

GRAFICA DE CONCENTRACION DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

PERUBAR - RAMPA GRACIELA  
 Tramo No 1 : Azimut 213  
 - TRAMO1.INF  
 No DE OBSERVACIONES = 100

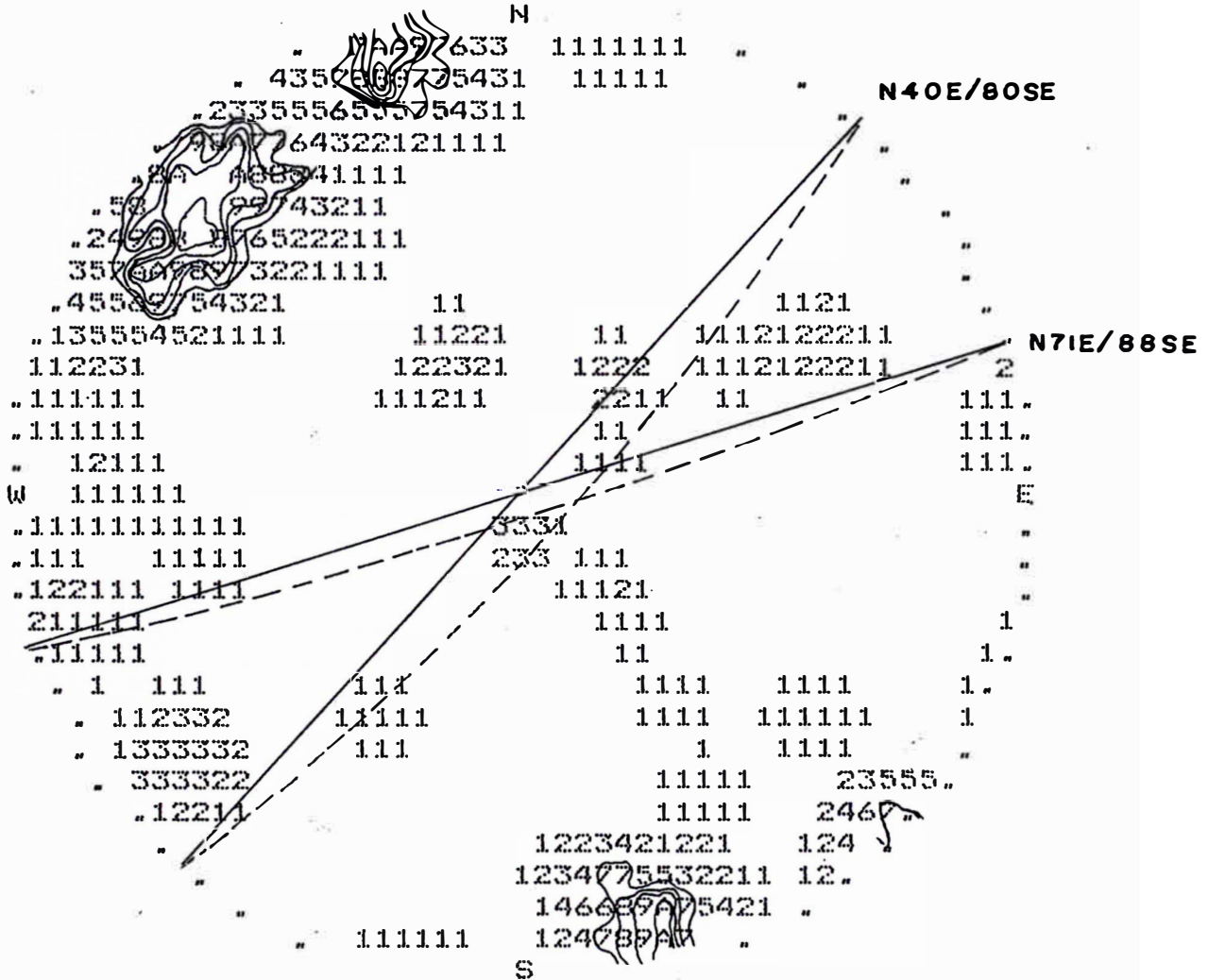


SIMBOLO	CUENTA EFECTIVA	PORCENTAJES
1	1 - 1	1.00 - 1.00
2	2 - 2	2.00 - 2.00
3	3 - 3	3.00 - 3.00
4	4 - 4	4.00 - 4.00
5	5 - 5	5.00 - 5.00
6	6 - 6	6.00 - 6.00
7	7 - 7	7.00 - 7.00
8	8 - 8	8.00 - 8.00
9	9 - 9	9.00 - 9.00
A	10 - 10	10.00 - 10.00
B	11 - 11	11.00 - 11.00

EL NIVEL MAS ALTO DE CUENTA ES : 14

GRAFICA DE CONCENTRACION DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

PERUBAR - RAMPA GRACIELA  
 Tramo No 2 : Azimut 142  
 - TRAMO2.INP  
 No DE OBSERVACIONES = 80

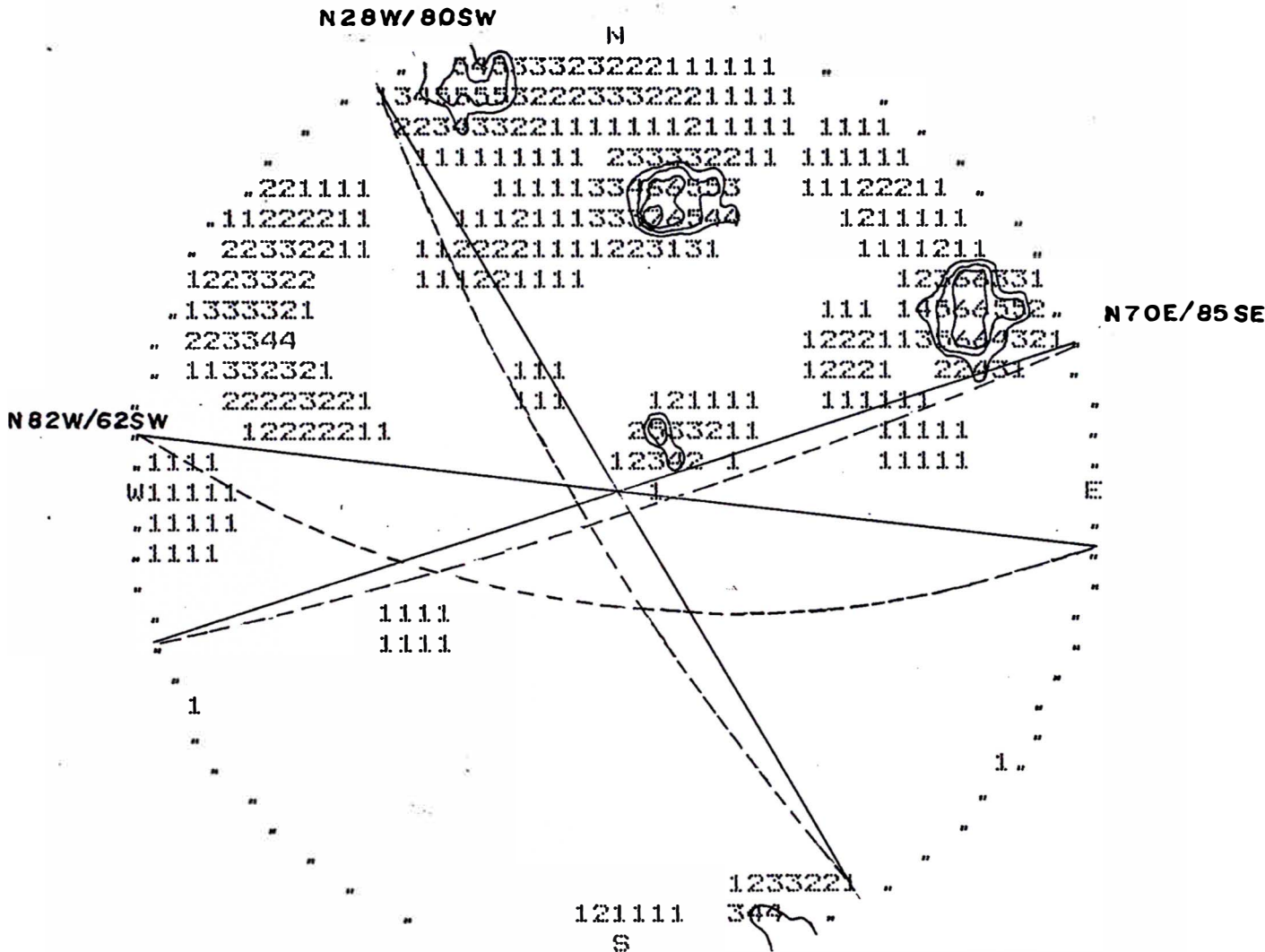


SIMBOLO	CUENTA EFECTIVA	PORCENTAJES
1	1 - 1	1.25 - 1.25
2	2 - 2	2.50 - 2.50
3	3 - 3	3.75 - 3.75
4	4 - 4	5.00 - 5.00
5	5 - 5	6.25 - 6.25
6	6 - 6	7.50 - 7.50
7	7 - 7	8.75 - 8.75
8	8 - 8	10.00 - 10.00
9	9 - 9	11.25 - 11.25
A	10 - 10	12.50 - 12.50
B	11 - 11	13.75 - 13.75

EL NIVEL MAS ALTO DE CUENTA ES : 14

GRAFICA DE CONCENTRACION DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

PERUBAR - RAMPA GRACIELA  
 Tramo No 3 : Azimut 46  
 - TRAMO3.INP  
 No DE OBSERVACIONES = 50



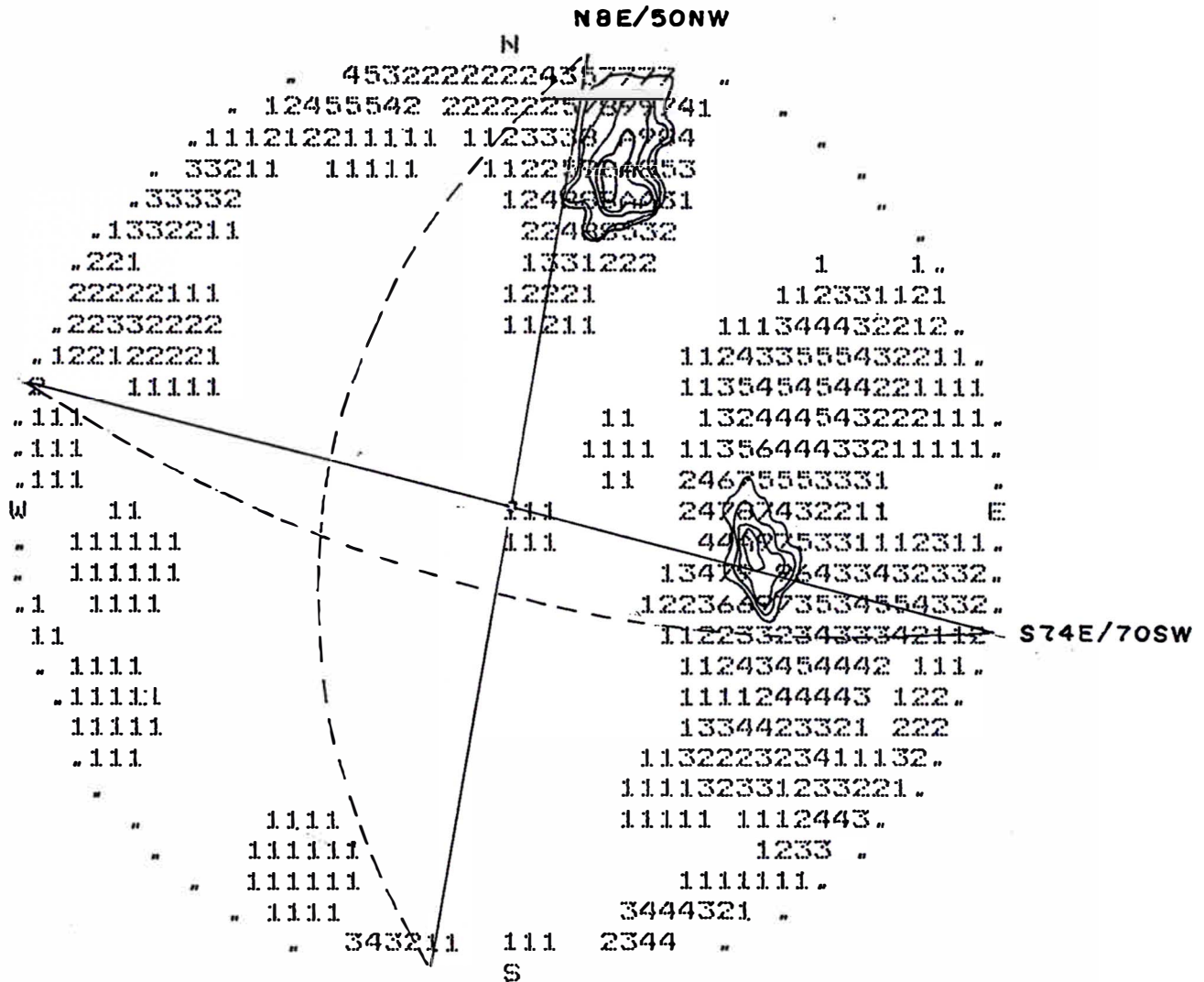
SIMBOLO	CUENTA EFECTIVA	PORCENTAJES
1	1 - 1	2.00 - 2.00
2	2 - 2	4.00 - 4.00
3	3 - 3	6.00 - 6.00
4	4 - 4	8.00 - 8.00
5	5 - 5	10.00 - 10.00
6	6 - 6	12.00 - 12.00
7	7 - 7	14.00 - 14.00

EL NIVEL MAS ALTO DE CUENTA ES # 7



GRAFICA DE CONCENTRACION DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

PERUBAR - RAMPA GRACIELA  
 Tramo No 4 : Azimut 142  
 - TRAMO4.INP  
 No DE OSERVACIONES = 100

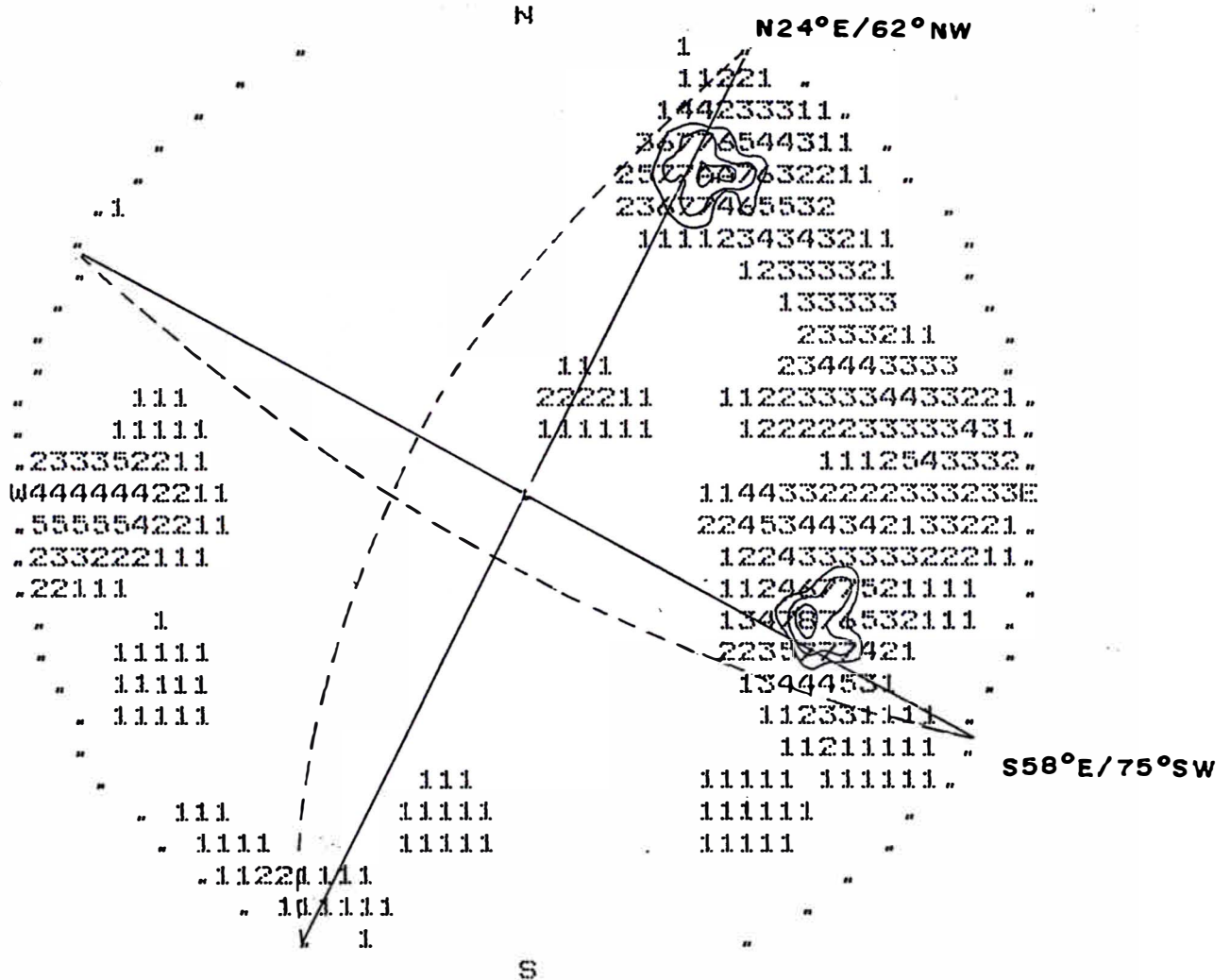


SIMBOLO	CUENTA EFECTIVA	FORCENTAJES
1	1 - 1	1.00 - 1.00
2	2 - 2	2.00 - 2.00
3	3 - 3	3.00 - 3.00
4	4 - 4	4.00 - 4.00
5	5 - 5	5.00 - 5.00
6	6 - 6	6.00 - 6.00
7	7 - 7	7.00 - 7.00
8	8 - 8	8.00 - 8.00
9	9 - 9	9.00 - 9.00
A	10 - 10	10.00 - 10.00
B	11 - 11	11.00 - 11.00

EL NIVEL MAS ALTO DE CUENTA ES : 12

GRAFICA DE CONCENTRACION DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

PERUBAR - RAMPA GRACIELA  
 Tramo No 5 : Azimut 41  
 - TRAMO5.INF  
 No DE OSERVACIONES = 66



SIMBOLO	CUENTA EFECTIVA	FORCENTAJES
1	1 - 1	1.52 - 1.52
2	2 - 2	3.03 - 3.03
3	3 - 3	4.55 - 4.55
4	4 - 4	6.06 - 6.06
5	5 - 5	7.58 - 7.58
6	6 - 6	9.09 - 9.09
7	7 - 7	10.61 - 10.61
8	8 - 8	12.12 - 12.12
9	9 - 9	13.64 - 13.64
A	10 - 10	15.15 - 15.15

EL NIVEL MAS ALTO DE CUENTA ES : 10

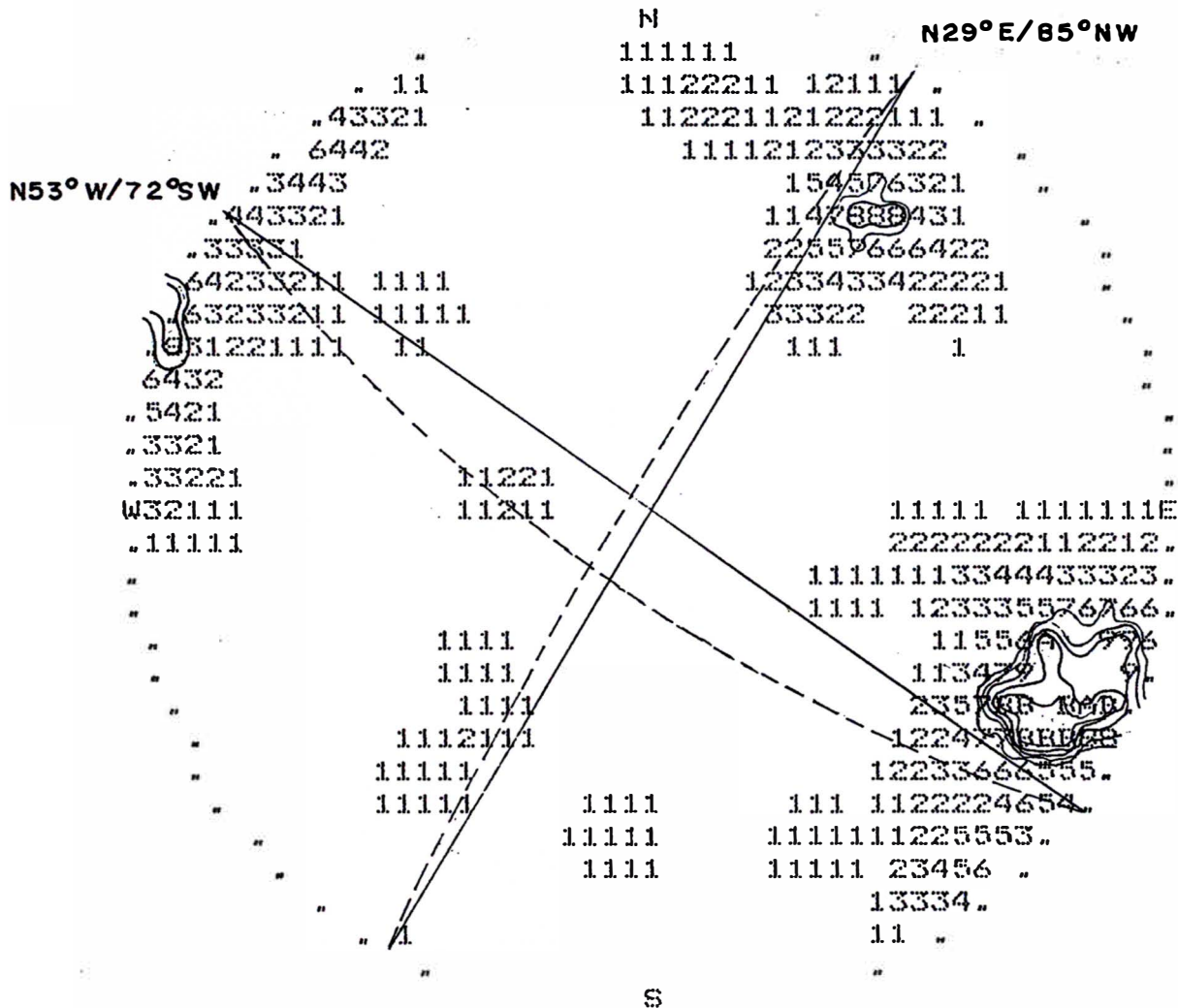
GRAFICA DE CONCENTRACION DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

PERUBAR - RAMPA SANTA CECILIA

Tramo No 6 : Azimut 163

- TRAMO6.INP

No DE OSERVACIONES = 70

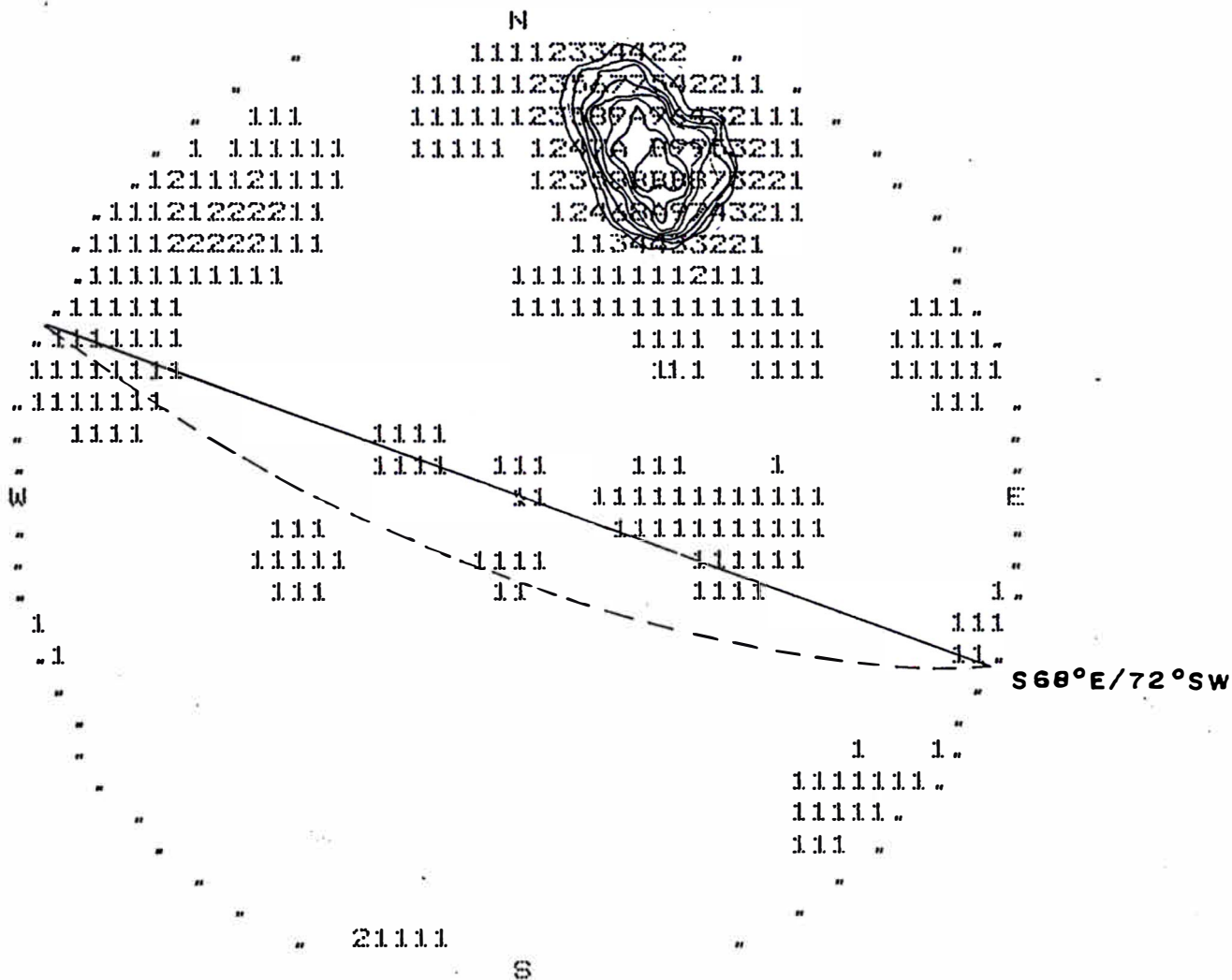


SIMBOLO	CUENTA EFECTIVA	PORCENTAJES
1	1 - 1	1.43 - 1.43
2	2 - 2	2.86 - 2.86
3	3 - 3	4.29 - 4.29
4	4 - 4	5.71 - 5.71
5	5 - 5	7.14 - 7.14
6	6 - 6	8.57 - 8.57
7	7 - 7	<u>10.00 - 10.00</u>
8	8 - 8	11.43 - 11.43
9	9 - 9	12.86 - 12.86
A	10 - 10	14.29 - 14.29
B	11 - 11	15.71 - 15.71

EL NIVEL MAS ALTO DE CUENTA ES : 14

GRAFICA DE CONCENTRACION DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.

PERUBAR - RAMPA SANTA CECILIA  
 Tramo No 7 : Azimut 163  
 - TRAMO7.INP  
 No DE OSERVACIONES = 100

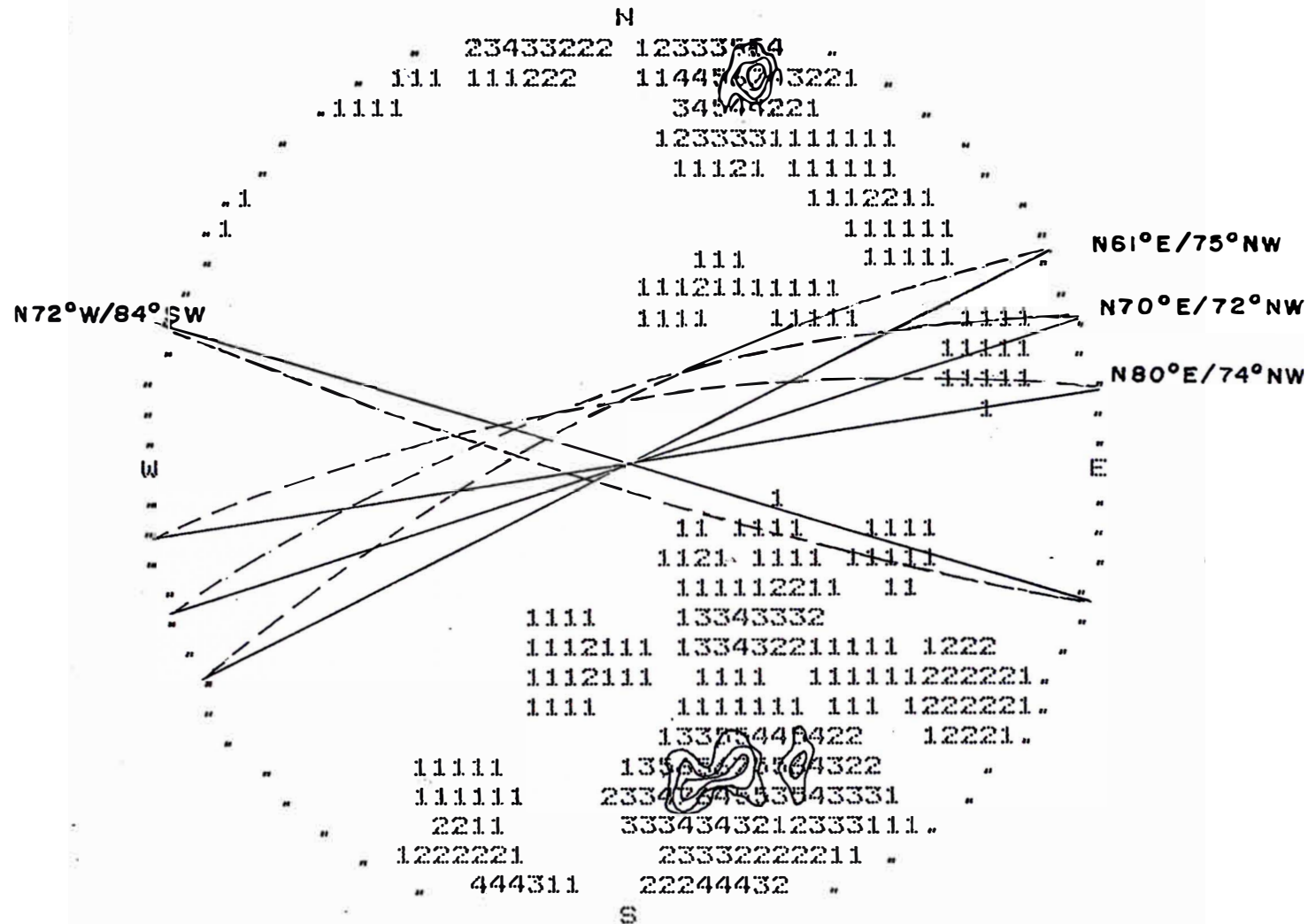


SIMBOLO	CUENTA EFECTIVA	PORCENTAJES
1	1 - 3	1.00 - 3.00
2	4 - 6	4.00 - 6.00
3	7 - 9	7.00 - 9.00
4	10 - 12	10.00 - 12.00
5	13 - 15	13.00 - 15.00
6	16 - 18	16.00 - 18.00
7	19 - 21	19.00 - 21.00
8	22 - 24	22.00 - 24.00
9	25 - 27	25.00 - 27.00
A	28 - 30	28.00 - 30.00
B	31 - 33	31.00 - 33.00

EL NIVEL MAS ALTO DE CUENTA ES : 36

GRAFICA DE CONCENTRACION DE FOLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

PERUBAR - RAMPA SANTA CECILIA  
 Tramo No 8 : Azimut 359  
 - TRAMOS.INF  
 No DE OSERVACIONES = 50

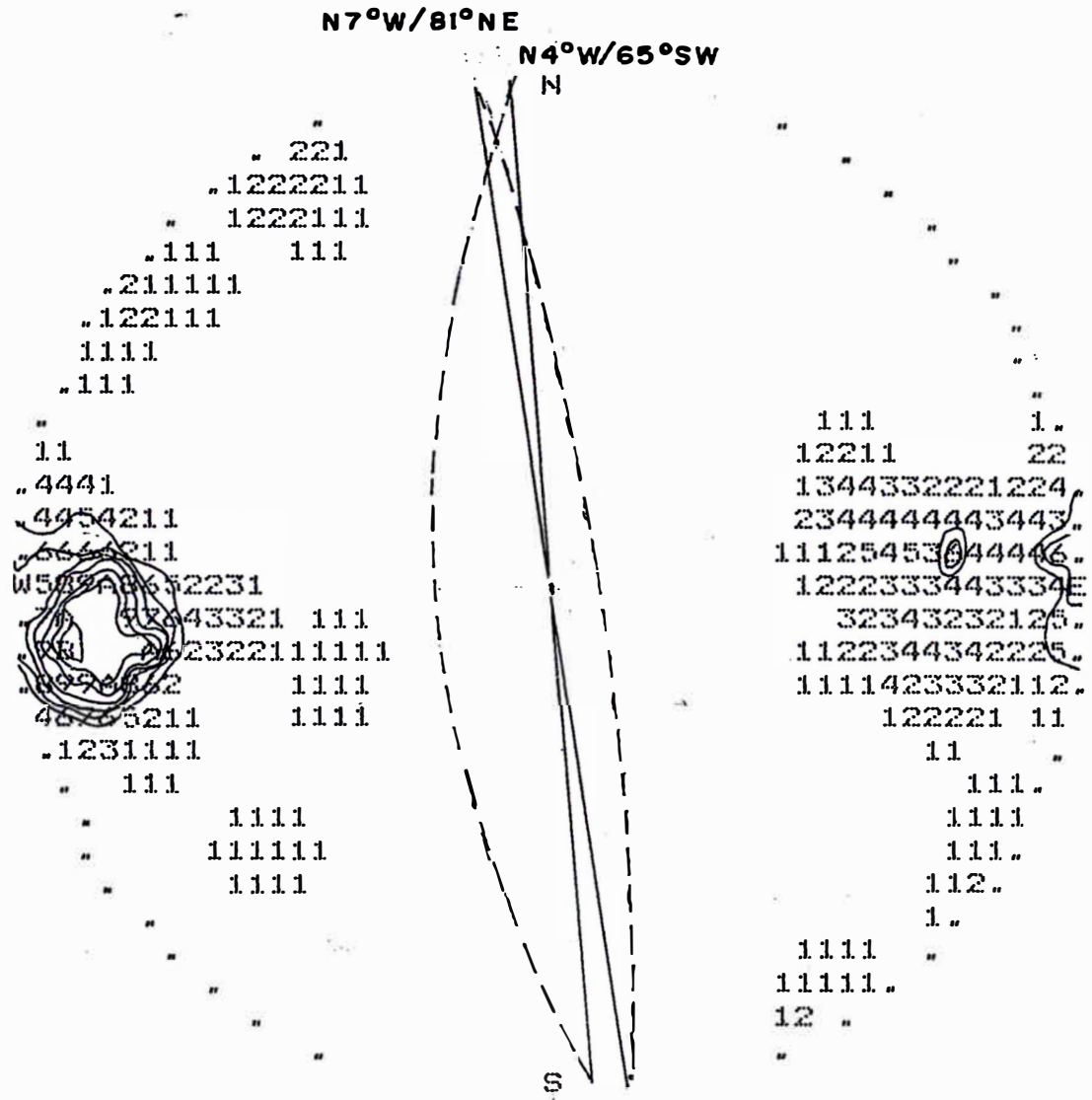


SIMBOLO	CUENTA EFECTIVA	PORCENTAJES
1	1 - 1	2.00 - 2.00
2	2 - 2	4.00 - 4.00
3	3 - 3	6.00 - 6.00
4	4 - 4	8.00 - 8.00
5	5 - 5	10.00 - 10.00
6	6 - 6	12.00 - 12.00
7	7 - 7	14.00 - 14.00

EL NIVEL MAS ALTO DE CUENTA ES : 7

GRAFICA DE CONCENTRACION DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.  
 =====

FERUBAR - RAMPA SANTA CECILIA  
 Tramo No 9 : Azimut 90  
 - TRAMO9.INP  
 No DE OSERVACIONES = .50



SIMBOLO	CUENTA EFECTIVA	PORCENTAJES
1	1 - 1	2.00 - 2.00
2	2 - 2	4.00 - 4.00
3	3 - 3	6.00 - 6.00
4	4 - 4	8.00 - 8.00
5	5 - 5	<u>10.00 - 10.00</u>
6	6 - 6	12.00 - 12.00
7	7 - 7	14.00 - 14.00
8	8 - 8	16.00 - 16.00
9	9 - 9	18.00 - 18.00
A	10 - 10	20.00 - 20.00
B	11 - 11	22.00 - 22.00

EL NIVEL MAS ALTO DE CUENTA ES : 14

GRAFICA DE CONCENTRACION DE POLOS  
 NET DE WULFF ( ANGULOS IGUALES )  
 Copyright : SVS INGENIEROS S.A.

PERUBAR - RAMPA SANTA CECILIA

Tramo No 9 : Azimut 90

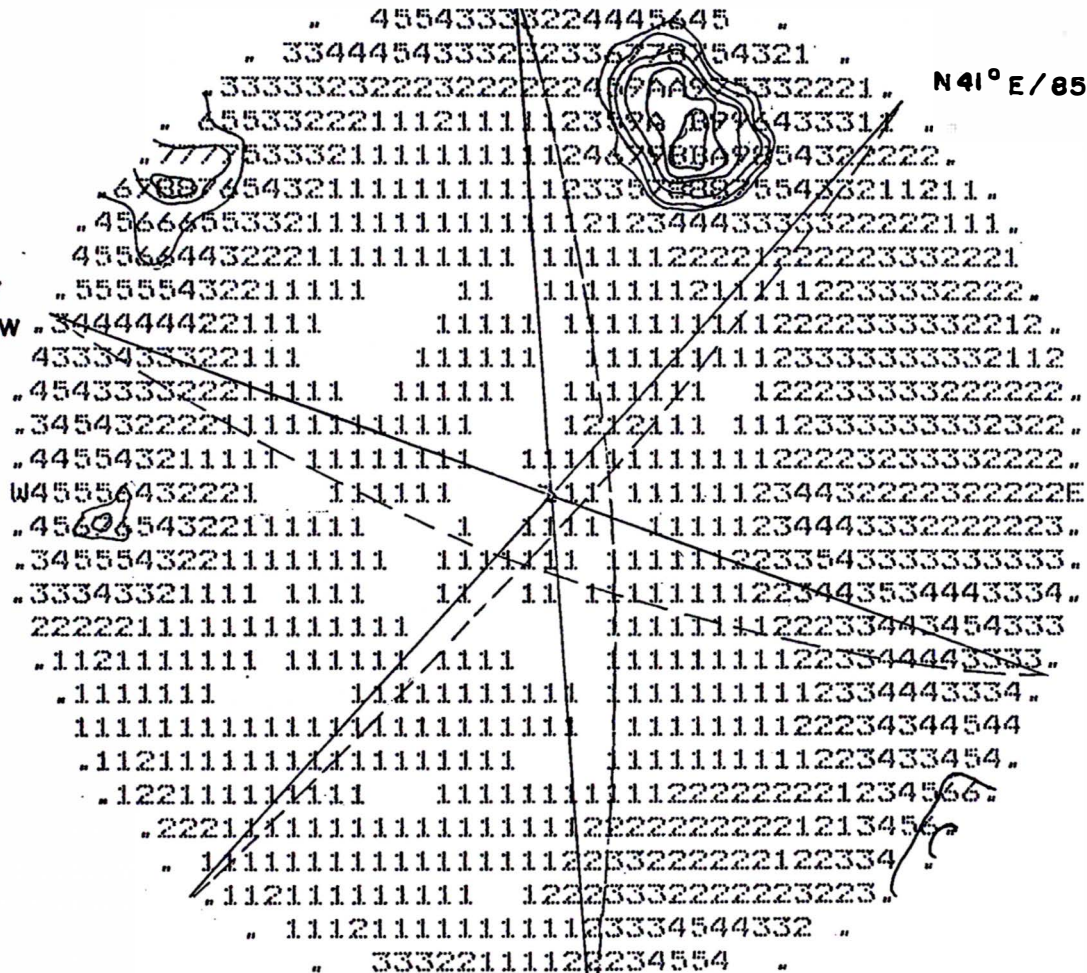
- tramo1.inp - tramo2.inp - tramo3.inp - tramo4.inp - tramo5.inp -  
 .inp tramo7.inp - tramo8.inp - tramo9.inp

No DE OBSERVACIONES = 666

N4°W/79°NE

N68°W/  
75°SW

N41°E/85°SE



SIMBOLO	CUENTA EFECTIVA	PORCENTAJES
1	1 - 5	0.15 - 0.75
2	6 - 10	0.90 - 1.50
3	11 - 15	1.65 - 2.25
4	16 - 20	2.40 - 3.00
5	21 - 25	3.15 - 3.75
6	26 - 30	3.90 - 4.50
7	31 - 35	4.65 - 5.26
8	36 - 40	5.41 - 6.01
9	41 - 45	6.16 - 6.76
A	46 - 50	6.91 - 7.51
B	51 - 55	7.66 - 8.26

EL NIVEL MAS ALTO DE CUENTA ES : 58

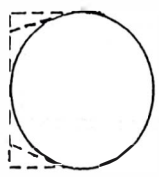
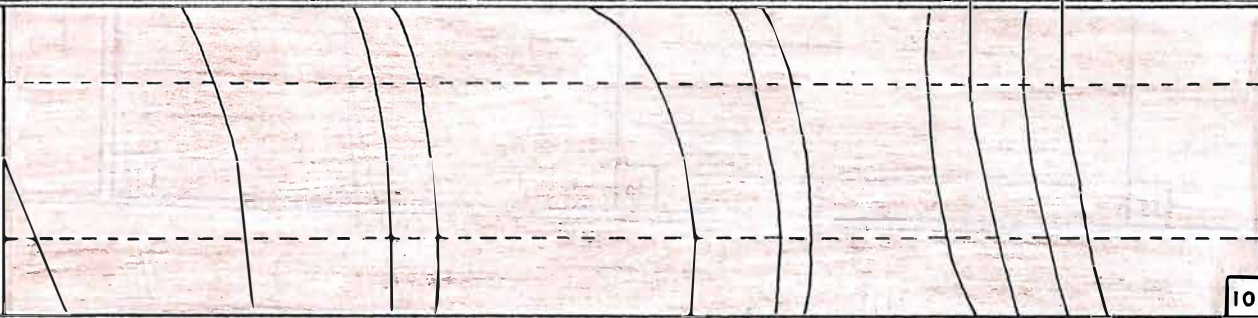
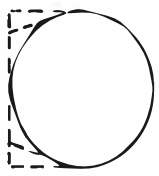
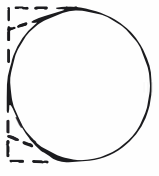
## **ANEXO 4**



<b>PROYECTO:</b> ALTO JAMIS	1	<b>TUNEL:</b> Principal	2	<b>EJECUTADO:</b> H.A.A.V.	3	<b>REVISADO:</b> C.V.C.	4
<b>AVANCE DIARIO</b>							5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA:</b>		Hornfels de color marrón agris con diseminaciones de pirita, de aspecto masivo, se encuentra ligeramente fracturado, el macizo es resistente.					6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)</b>		12.3	100/3 x 1.5/1 x 1/1 = 50	100/3 x 15/1 x 1/1 = 50			7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>		73	12 + 20 + 15 + 25 + 15 - 12 = 75	12 + 20 + 15 + 20 + 15 - 12 = 70			8
<b>PROGRESIVAS</b>		1	2	3			9
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>							10
<b>SOORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>							11
<b>SOORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>							12

<b>SIMBOLOGIA</b>	
	Hornfels
	Flujos de lavas
	Calcosilicatos
	Cuerpo mineralizado.
	Dique andesitico
	Dique dioritico
	Falla / fractura cerrada
	Fractura con relleno de calcita
	Goteo / flujo de agua
	Pernos
	Malla metalica
	Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:	1 TUNEL: Principal	2 EJECUTADO: H.A.A.V.	3 REVISADO: C.V.C.	4
AVANCE DIARIO				5
DESCRIPCION LITOLOGICA:	Hornfels de aspecto masivo color gris, disseminaciones de pirita ligeramente fracturado, manchas de oxidacion, resistente.			6
CLASIFICACION INDICE "Q" (N61)	$98.5 / 6 \times 1.5 / 1 \times 1 / 1 = 24.6$	$100 / 4 \times 1.5 / 1 \times 1 / 1 = 37.5$		7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"	$12 + 20 + 10 + 20 + 15 - 12 = 65$	$12 + 20 + 10 + 25 + 15 - 12 = 70$		8
PROGRESIVAS	5	6	7	9
MAPEO GEOLOGICO  Fecha:				10
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO  Fecha:				11
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO  Fecha:				12

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla / fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo / flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

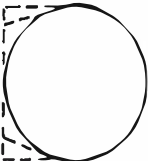
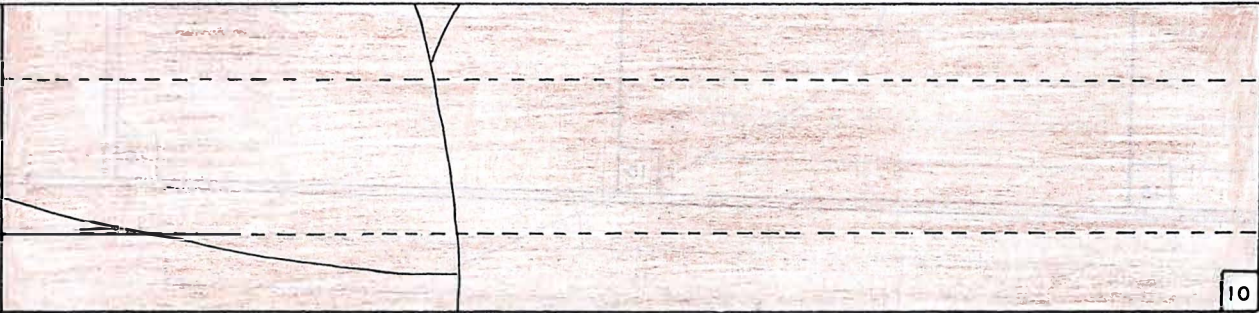
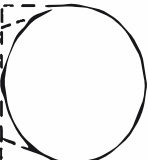
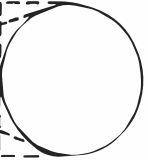
UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO: <b>ALBA JOQUIE</b>	1 TUNEL: Principal	2 EJECUTADO: H.A.A.V.	3 REVISADO: C.V.C.	4	
AVANCE DIARIO				5	
DESCRIPCION LITOLOGICA	Hornfels de características similares al tramo anterior, se encuentra seco.			6	
CLASIFICACION INDICE "Q" (Nº1)	30.75	$100/2 \times 15/1 \times 1/1 = 75$	$91.9/6 \times 15/1 \times 1/1 = 22.9$	$62.2/4 \times 15/1 \times 1/1 = 26.3$	7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"	12 + 17 + 8 + 25 + 15 - 12 = 65	12 + 20 + 10 + 25 + 15 - 12 = 70	12 + 20 + 10 + 25 + 15 - 12 = 70	12 + 13 + 8 + 25 + 15 - 12 = 61	8
PROGRESIVAS	9	10	11	9	
MAPEO GEOLOGICO Fecha:				10	
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO Fecha:				11	
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO Fecha:				12	













- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesítico
  - Dique diorítico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metálica
  - Cerchas

UNI - FIGMM

H.A.A.V. - ENERO 92

<b>PROYECTO:</b>		1 TUNEL: Principal	2 EJECUTADO: H.A.A.V.	3 REVISADO: C.V.C.	4	
<b>AVANCE DIARIO</b>						5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>		Igual que el anterior.				6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (N61)</b>		95.2/3 x 1.5/1 x 1/1 = 47.6	75.4/9 x 1.5/1 x 1/1 = 12.5	16.4		7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>		12 + 20 + 10 + 25 + 15 - 12 = 70	12 + 17 + 8 + 25 + 15 - 12 = 65	73		8
<b>PROGRESIVAS</b>		13	14	15	16	9
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>						10
						Fecha:
<b>SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>						11
						Fecha:
<b>SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>						12
						Fecha:

**SIMBOLOGIA**

-  Hornfels
-  Flujos de lavas
-  Calcosilicatos
-  Cuerpo mineralizado.
-  Dique andesitico
-  Dique dioritico
-  Falla/fractura cerrada
-  Fractura con relleno de calcita
-  Goteo/flujo de agua
-  Pernos
-  Malla metalica
-  Cerchas

UNI - FIGMM

H.A.A.V. - ENERO 92

<b>PROYECTO:</b>		1 <b>TUNEL:</b> Principal	2 <b>EJECUTADO:</b> H.A.A.V.	3 <b>REVISADO:</b> C.V.C.	4
<b>AVANCE DIARIO</b>					5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>		Hornfels resistente, con diseminaciones de pirita, el grado de fracturamiento varia de, ligeramente fracturado a fracturado, manchas de oxidación.			6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (N61)</b>		12.5	35.7	$75.4/12 \times 1.5/1 \times 1/1 = 9.43$	7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>		$12+20+10+25+15=82$	82	$12+13+8+25+15 = 73$	8
<b>PROGRESIVAS</b>		17	18	19	9
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>					10
	Fecha:				
<b>SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>					11
	Fecha:				
<b>SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>					12
	Fecha:				

- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesitico
  - Dique dioritico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metalica
  - Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:		1 TUNEL: Principal	2 EJECUTADO: H.A.A.V.	3 REVISADO: C.V.C.	4	
AVANCE DIARIO						5
DESCRIPCION LITOLOGICA:		Hornfels resistente de color marrón a gris con diseminaciones de pirita, manchas de oxidacion en las paredes de las discontinuidades				6
CLASIFICACION INDICE "Q" (McI)		85.3/6 x 1.5/1 x 1/1 = 21.3	65.5/12 x 1.5/1 x 1/1 = 8.19			7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		12 + 17 + 10 + 25 + 15 = 79	12 + 13 + 8 + 25 + 15 = 73			8
PROGRESIVAS		21	22	23		9
MAPEO GEOLOGICO						10
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO						11
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO						12

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla/fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo/flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

UNI - FIGMM

H.A.A.V. - ENERO 92

<b>PROYECTO:</b>		1 TUNEL: Principal		2 EJECUTADO: H.A.A.V.		3 REVISADO: C.V.C.		4	
<b>AVANCE DIARIO</b>									5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>		Hornfels de aspecto masivo, cortado por un dique de textura afanitica, a partir del punto 27 se observa manchas de oxidacion en las paredes de las discontinuidades, aumenta el grado de fracturamiento.							6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (N61)</b>		6.13	100/3 x 1.5/1 x 1/1 = 50	72.1/12 x 1.5/1 x 1/1 = 9.01	49/9 x 1.5/1 x 1/1 = 8.17				7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>		68	15+20+10+25+15 = 75	12+17+8+25+15 = 77	12+8+8+25+15 = 68				8
<b>PROGRESIVAS</b>		25		26		27		9	
<b>NAPEO GEOLOGICO</b> Fecha:									10
<b>SOORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b> Fecha:									11
<b>SOORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b> Fecha:									12

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla / fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo / flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

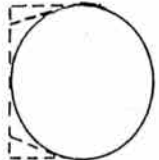
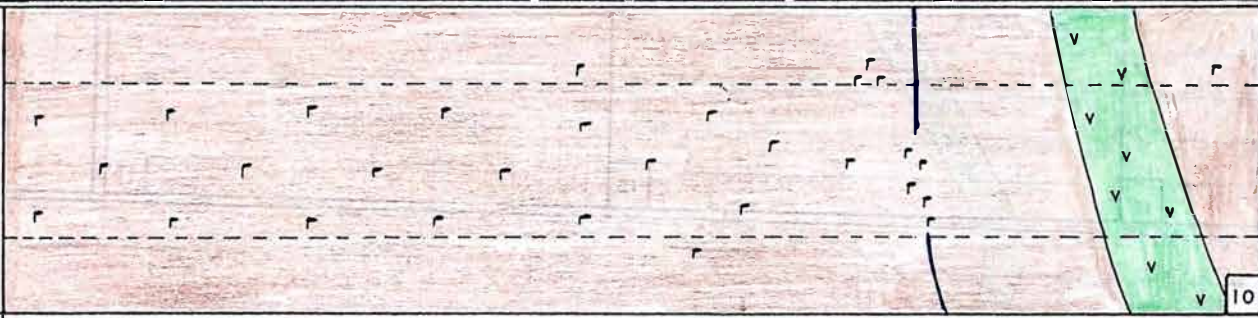
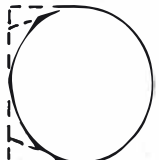
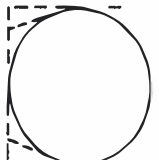
UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

<b>PROYECTO:</b> TUNEL: Principal	1	<b>EJECUTADO:</b> H.A.A.V.	2	<b>REVISADO:</b> C.V.C.	3	4		
<b>AVANCE DIARIO</b>						5		
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>	Hornéels de color gris con diseminaciones de piritas, resistente, ligeramente fracturado, presencia de agua y manchas de oxidación en las paredes de las discontinuidades.						6	
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (No 1)</b>	21.3	50	24.6	$91.9/4 \times 1.5/1 \times 1/1 = 34.6$	$91.9/18 \times 1.5/1 \times 1/1 = 7.6$		7	
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>	69	72	82	$12 + 20 + 10 + 25 + 15 = 82$	$12 + 20 + 10 + 25 + 10 = 77$		8	
<b>PROGRESIVAS</b>	29                      30                      31						9	
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>  Fecha:								10
<b>SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>  Fecha:		-----						11
<b>SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>  Fecha:		-----						12


- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesítico
  - Dique diorítico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metálica
  - Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92





PROYECTO:		1 TUNEL: Principal		2 EJECUTADO: H.A.A.V.		3 REVISADO: C.V.C.		4	
AVANCE DIARIO									5
DESCRIPCION LITOLOGICA		Hornfels de aspecto masivo, ligeramente fracturado, cerca al punto 35 se tiene una falla con relleno de panizo, se tiene un dique de textura afanitica fracturado.							6
CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)		95.2/6x1.5/1x1/1=	55.5	15.5	6.96	5.85	82/4x15/1x1/1=	7	
		23.8					30.7		
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		12+20+10+25+10-8.8	76.2	59.2	59.2	45.2	12+17+0+25+10-8.8	8	
		68.2					= 65.2		
PROGRESIVAS		33		34		35		9	
MAPEO GEOLOGICO									10
Fecha:									
SOORTE TEMPORAL O INMEDIATO									11
Fecha:									
SOORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO			I	I la				12	
Fecha:									13


**SIMBOLOGIA**
 Hornfels


 Flujos de lavas


 Calcosilicatos


 Cuerpo mineralizado.

 Dique andesitico

 Dique dioritico

 Falla / fractura cerrada

 Fractura con relleno de calcita

 Goteo / flujo de agua

 Pernos

 Malla metalica

 Cerchas

UNI - FIGMM

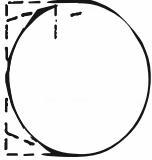
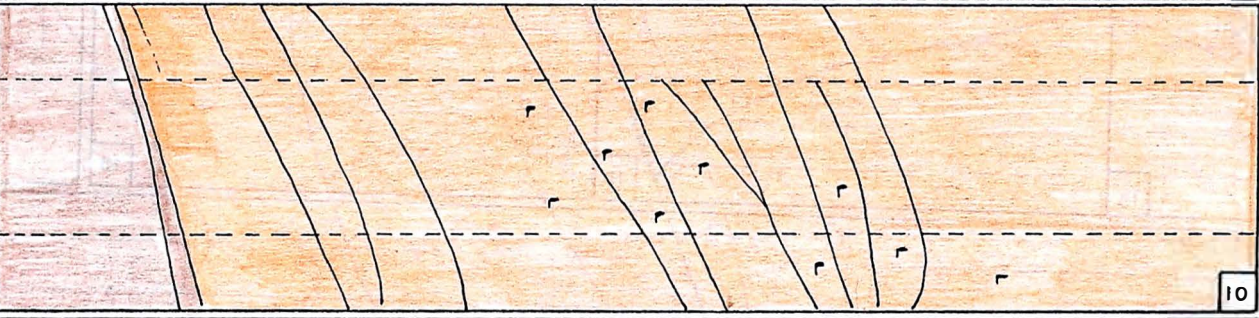
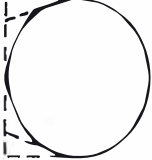
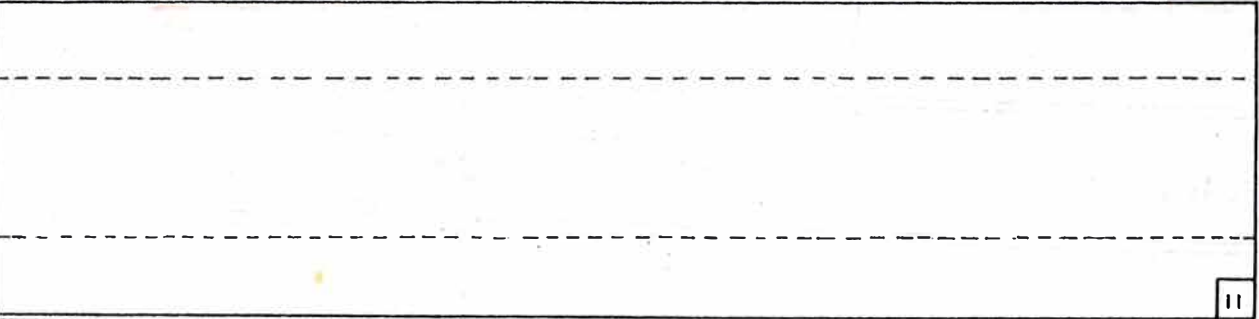
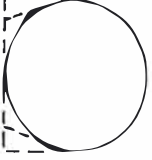
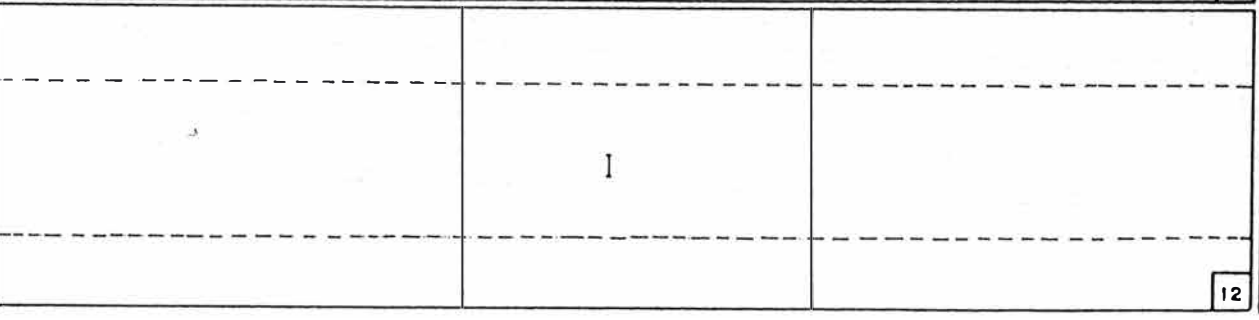
H.A.A.V. - ENERO 92

<b>PROYECTO:</b>	1 <b>TUNEL:</b> Principal	2 <b>EJECUTADO:</b> H.A.A.V.	3 <b>REVISADO:</b> C.V.C.	4	
<b>AVANCE DIARIO</b>					5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>	Hornfels de aspecto masivo resistente, ligeramente fracturado a fracturado, presencia de agua y de un dique de textura afanitica.				6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (N01)</b>	65.5/6 x 1.5/1 x 1/1 = 16.3	49.6/6 x 1.5/1 x 1/1 = 12.2	9.82	75.4/6 x 1.5/1 x 1/1 = 18.5	7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>	12 + 13 + 8 + 25 + 10 - 8.8 = 59.2	12 + 8 + 8 + 25 + 10 - 8.8 = 54.2	59.2	12 + 17 + 8 + 25 + 15 - 8.8 = 68	8
<b>PROGRESIVAS</b>	37	38	39		9
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>  Fecha:					10
<b>SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>  Fecha:	-----				11
<b>SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>  Fecha:	-----				12













**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla / fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo / flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

<b>PROYECTO:</b> 100 JORJIN	<b>1 TUNEL:</b> Principal	<b>2 EJECUTADO:</b> H.A.A.V.	<b>3 REVISADO:</b> C.V.C.	4		
<b>AVANCE DIARIO</b>					5	
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>	Flujo de lavas con presencia de calcosilicatos y lodolitas silicificadas, presenta una coloracion verde, ademas de fenos marrones en una pasta verde, resistente y esta fracturado.				6	
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (NOI)</b>	22	31.9	22.7	$62.2/18 \times 1.5/1 \times 1/1 = 5.1$	9.43	7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>	70.2	68.2	74.2	$12+13+8+25+10 - 8.8 = 59$	69.5	8
<b>PROGRESIVAS</b>	41      42      43      44				9	
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>  Fecha:						10
<b>SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>  Fecha:						11
<b>SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>  Fecha:						12

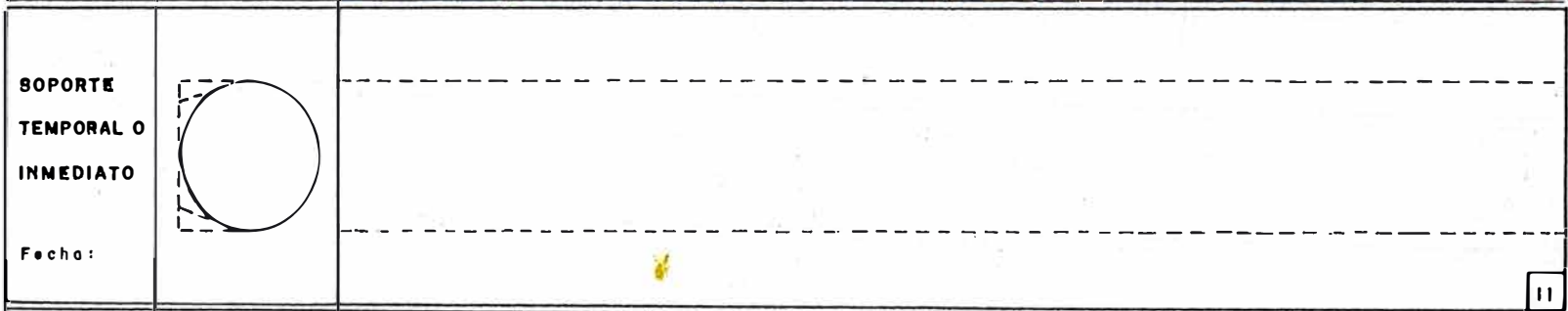
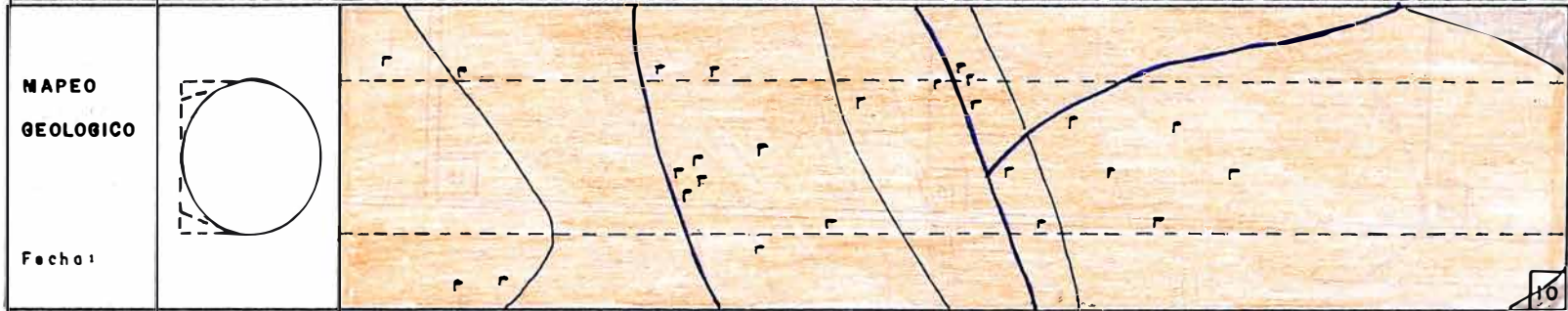
**SIMBOLOGIA**

-  Hornfels
-  Flujos de lavas
-  Calcosilicatos
-  Cuerpo mineralizado.
-  Dique andesitico
-  Dique dioritico
-  Falla / fractura cerrada
-  Fractura con relleno de calcita
-  Goteo / flujo de agua
-  Pernos
-  Malla metalica
-  Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO: **TUNEL: Principal** EJECUTADO: H.A.A.V. REVISADO: C.V.C.

<b>AVANCE DIARIO</b>					
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>	Flujos de lava con presencia de calcosilicatos, lodolitas silicificadas, nodulos de chert, fragmentos marrones en pasta verde, resistente presencia de agua : fracturada				
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (N61)</b>	20.5	6.13	$68.8/12 \times 1.5/1 \times 1/2.5 = 3.4$	$68.8/12 \times 1.5/1 \times 1/1 = 8.6$	1.5
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>	64.4	55.4	$12 + 13 + 8 + 10 + 10 - 7.6 = 45$	$12 + 13 + 8 + 20 + 7 + 7.6 = 52.6$	47.4
<b>PROGRESIVAS</b>	45                      46                      47				



**SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO**

Fecha:

I	Ila	I	II
---	-----	---	----

- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesitico
  - Dique dioritico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metalica
  - Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:		1 TUNEL: Principal		2 EJECUTADO: H.A.A.V.		3 REVISADO: C.V.C.		4
AVANCE DIARIO								5
DESCRIPCION LITOLOGICA		Hornfels de color marron oscuro, resistente, fracturado, ligeras manchas de oxidacion, es cortado por una falla en el punto 51						6
CLASIFICACION INDICE "Q" (NOI)		8.61	21.3	20.5	10.3	3.6	10.7	7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		57.4	66.4	64.4	66.4	45.4	71.4	8
PROGRESIVAS		49		50		51		9
MAPEO GEOLOGICO								10
Fecha:								
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO								11
Fecha:								
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO		IIa						12
Fecha:								

- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado
  - Dique andesitico
  - Dique dioritico
  - Falla/fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo/flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metalica
  - Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

<b>PROYECTO:</b>		1 TUNEL: Principal		2 EJECUTADO: H.A.A.V.		3 REVISADO: C.V.C.		4
<b>AVANCE DIARIO</b>								5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>		Hornfels de color marron a gris, resistente, manchas de oxidacion entre los puntos 52-54, el grado de fracturamiento aumenta conforme se avanza, presencia de agua (52 - 53.5)						6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)</b>		85.6/12×1.5/1×1/1 = 10.7	21.3	10.2	54.2	72.1/9 × 1.5/1 × 1/1 = 12.02		7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>		12+17+10+20+7-7.6 = 71.4	58.4	66.4	69.4	12+13+8+25+15-7.6 = 65.4		8
<b>PROGRESIVAS</b>		53		54		55		9
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>								10
Fecha:								
<b>SOORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>								11
Fecha:								
<b>SOORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>		I						12
Fecha:								

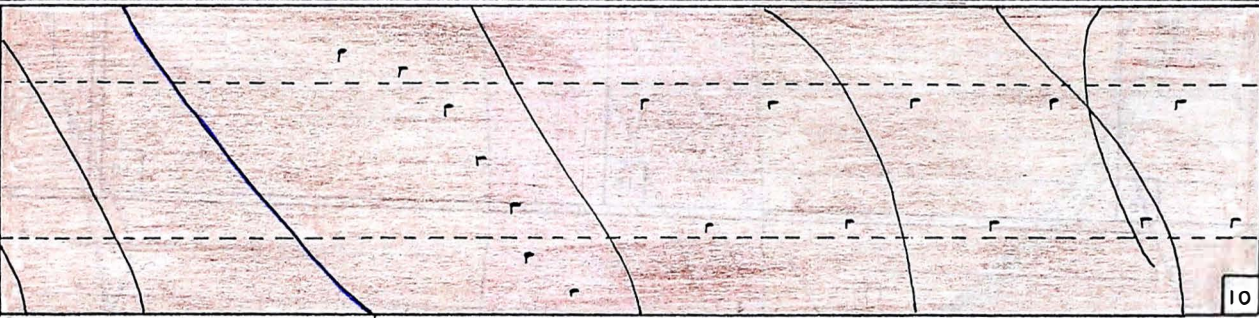
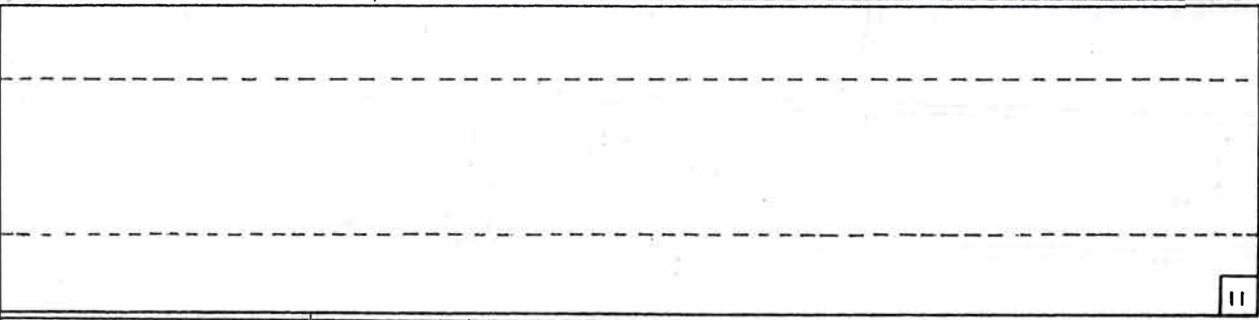
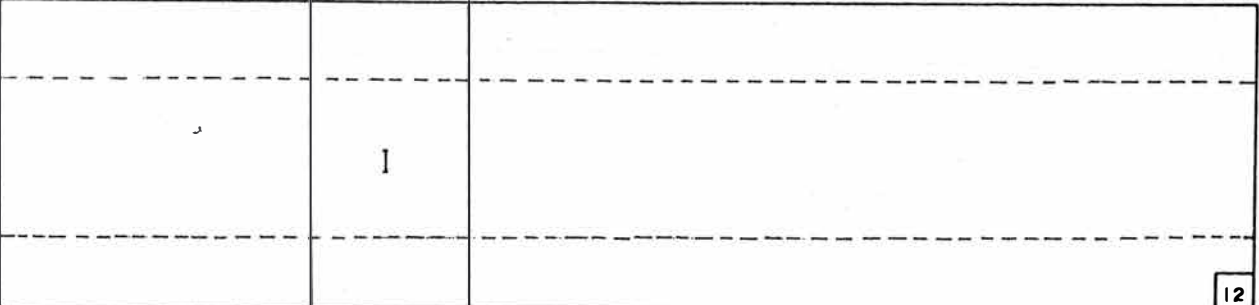
<b>SIMBOLOGIA</b>	
	Hornfels
	Flujos de lavas
	Calcosilicatos
	Cuerpo mineralizado
	Dique andesitico
	Dique dioritico
	Falla/fractura cerrada
	Fractura con relleno de calcita
	Goteo/flujo de agua
	Pernos
	Malla metalica
	Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

<b>PROYECTO:</b>		1 TUNEL: Principal		2 EJECUTADO: H.A.A.V.		3 REVISADO: C.V.C.		4
<b>AVANCE DIARIO</b>								5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>		Hornfels de color marron con presencia esporadica de fenos blancos, manchas de oxidacion, resistente, fracturado.						6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)</b>		101.4/3 x 1.5/1 x 1/1 = 50.9	85.3/6 x 1.5/1 x 1/1 = 21.3	68.8/9 x 1.5/1 x 1/1 = 11.47	41	9.43	7	
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>		12+20+10+25+7-7.6 69.4	12+17+8+25+7-7.6 64.4	12+13+8+25+10-7.6 60.4	64.4	64.4	8	
<b>PROGRESIVAS</b>		57		58		59		9
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>								10
Fecha:								
<b>SOORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>								11
Fecha:								12
<b>SOORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>								13
Fecha:								14

SIMBOLOGIA	
	Hornfels
	Flujos de lavas
	Calcosilicatos
	Cuerpo mineralizado.
	Dique andesitico
	Dique dioritico
	Falla/fractura cerrada
	Fractura con relleno de calcita
	Goteo/flujo de agua
	Pernos
	Malla metalica
	Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO: <b>TUNEL Principal</b>		EJECUTADO: H.A.A.V.		REVISADO: C.V.C.	4	
AVANCE DIARIO						5
DESCRIPCION LITOLOGICA		Hornfels de color marron oscuro con presencia esporadica de pequeños fenos blancos grado de fracturamiento: ligeramente fracturado a fracturado, manchas de oxidacion en las paredes de las discontinuidades.				6
CLASIFICACION INDICE "Q" (NOI)		75.4/12x1.5/1x1/1 9.43	8.63	98.5/3x1.5/1x1/1 = 49.25	82/3 x 1.5/1 x 1/1 = 47.6	7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		12+17+8+25+10-7.6 64.4	52.4	12+20+10+25+10-7.6 = 69.4	12+17+ 8 +25 +10 -7.6 = 64.4	8
PROGRESIVAS		61                      62                      63				9
MAPEO GEOLOGICO  Fecha:						10
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO  Fecha:						11
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO  Fecha:						12

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla/fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo/flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92



PROYECTO:		1 TUNEL: Principal	2 EJECUTADO: H.A.A.V.	3 REVISADO: C.V.C.	4	
AVANCE DIARIO						5
DESCRIPCION LITOLOGICA	Hornfels marrón oscuro, resistente, -fracturado.	dique microdiorítico oscuro.	Hornfels marrón en partes tonalidades verdosas, lig		6	
			manchas de oxidacion.			
CLASIFICACION INDICE "Q" (NOI)	41	47.6	$75.4/6 \times 1.5/1 \times 1/1 = 18.8$	$55.6/9 \times 1.5/1 \times 1/1 = 9.2$	7	
	64.4	72.4	$12+17+8+25+15-7.6 = 69.4$	$12+13+8+25+15-7.6 = 65.4$	8	
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"						
PROGRESIVAS	65		66	67	9	
MAPEO GEOLOGICO					10	
Fecha:						
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO					11	
Fecha:						
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO					12	
Fecha:						

SIMBOLOGIA	
	Hornfels
	Flujos de lavas
	Calcosilicatos
	Cuerpo mineralizado.
	Dique andesítico
	Dique diorítico
	Falla / fractura cerrada
	Fractura con relleno de calcita
	Goteo / flujo de agua
	Pernos
	Malla metálica
	Cerchas
13	

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

14

PROYECTO: <b>TUNEL: Principal</b>		EJECUTADO: H.A.A.V.		REVISADO: C.V.C.		4	
AVANCE DIARIO						5	
DESCRIPCION LITOLOGICA		Hornfels marron, seguido de un dique de textura afanitica, resistente a continuacion dique dioritico resistente y hornfels				6	
CLASIFICACION INDICE "Q" (N61)		$85.3/6 \times 1.5/1 \times 1/1 = 21.3$	$102.8/3 \times 1.5/1 \times 1/1 = 51.4$	$85.3/4 \times 1.5/1 \times 1/1 = 31.9$	19.6	7	
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		$12+17+10+25+15-7.6 = 71.4$	$12+20+10+25+10-7.6 = 69.4$	$12+17+10+25+10-7.6 = 66.4$	66.4	8	
PROGRESIVAS		69		70		71	
MAPEO GEOLOGICO						9	
Fecha:						10	
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO						11	
Fecha:						12	
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO						13	
Fecha:						14	

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla/fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo/flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

UNI - FIGMM

H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:		1 TUNEL: Principal		2 EJECUTADO: H.A.A.V.		3 REVISADO: C.V.C.		4
AVANCE DIARIO								5
DESCRIPCION LITOLOGICA:		Hornfels marron en partes tonalidades verdes resistente, ligeramente fracturado a fracturado, despues dique dioritico.						6
CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)		95.2/6 x 1.5/1 x 1/1 = 23.8	98.5/6 x 1.5/1 x 1/1 = 24.6	62.1/6 x 1.5/1 x 1/1 = 15.5	16.4		7	
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		12+20+10+25+10 - 7.6 = 69.4	12+20+10+25+10 - 7.6 = 69.4	12+13+8+25+10-7.6=60		69.4		8
PROGRESIVAS		73                      74                      75						9
MAPEO GEOLOGICO								10
Fecha:								
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO								11
Fecha:								
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO								12
Fecha:								

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla / fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo / flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:		1 TUNEL: Principal	2 EJECUTADO: H.A.A.V.	3 REVISADO: C.V.C.	4	
AVANCE DIARIO						5
DESCRIPCION LITOLOGICA		Hornfels marron cortado por diques dioriticos, aumenta la presencia de agua, ligeras manchas de oxidacion a partir de 79.3 mayor fracturamiento.				6
CLASIFICACION INDICE "Q" (NOI)		16.4	$101.8/3 \times 1.5/1 \times 1/1 = 50.9$	8.1	15.5	7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		69.4	$12 + 20 + 10 + 25 + 10 - 7.6 = 69.4$	51.4	42.4	8
PROGRESIVAS		77                      78                      79				9
MAPEO GEOLOGICO						10
Fecha:						
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO						11
Fecha:						
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO				I	IIa	12
Fecha:						

- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesitico
  - Dique dioritico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metalica
  - Cerchas

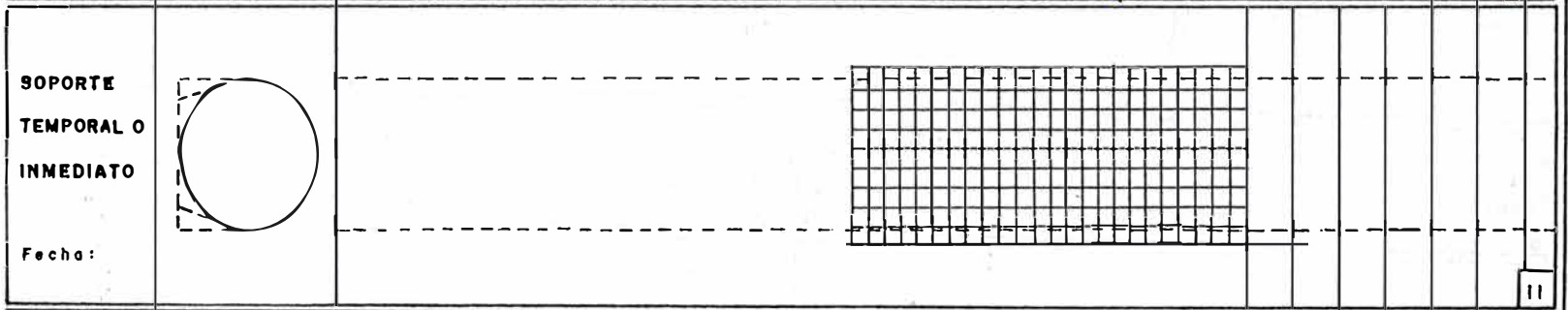
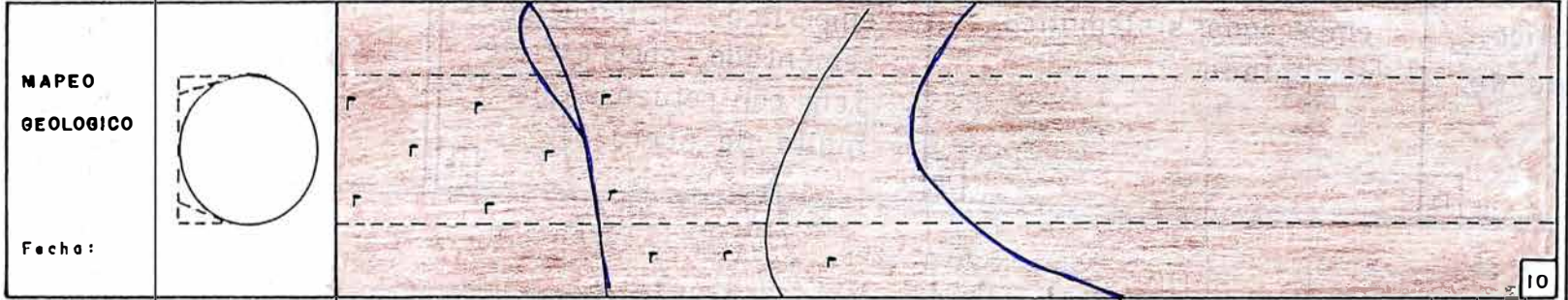
UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

**DESCRIPCION LITOLOGICA**  
 Hornfels marron con alto grado de fracturamiento, a partir de 82 zona de falla moderadamente resistente, muy fracturada, altamente alterada. 6

<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (No1)</b>	18.8	7.3	4.0	1.2	25/12 x 1/8 x 1/2.5 = 0.1	7
---------------------------------------	------	-----	-----	-----	---------------------------	---

<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>	59.4	33	43	43	7 + 8 + 5 + 10 + 15 - 12 = 33	8
-------------------------------------	------	----	----	----	-------------------------------	---

**PROGRESIVAS**  
81 82 83 9



**SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO**  
 Fecha:

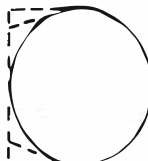
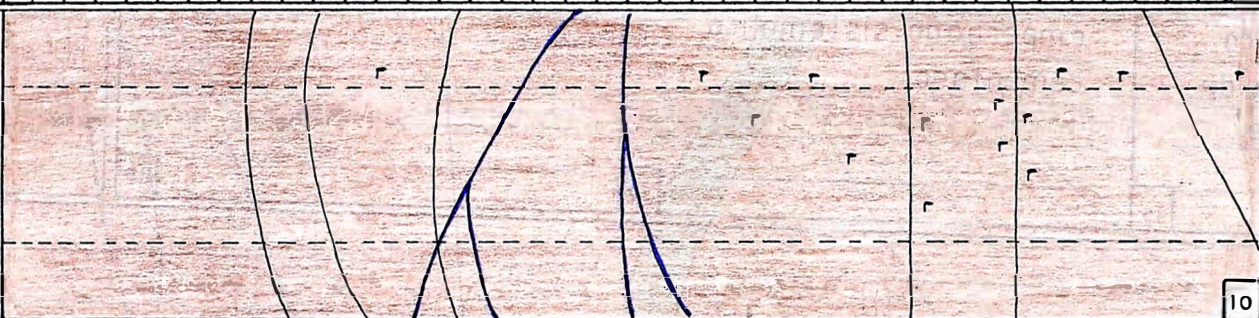
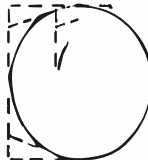
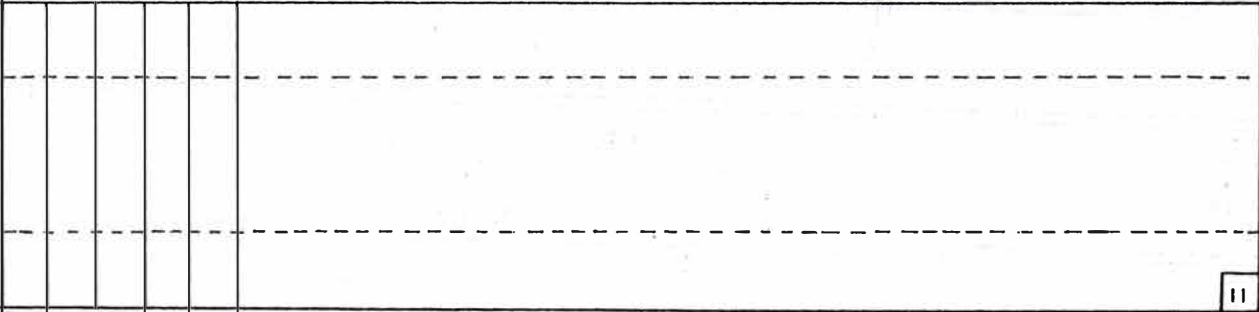
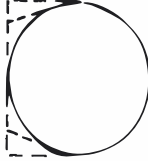
I	IIb	IIa	IV
---	-----	-----	----













12

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla / fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo / flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

13

<b>PROYECTO:</b> A100 08H12		1 <b>TUNEL:</b> Principal		2 <b>EJECUTADO:</b> H.A.A.V.		3 <b>REVISADO:</b> C.V.C.		4
<b>AVANCE DIARIO</b>								5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>	Zona de falla.	dique muy fracturado	Hornfels marron ligeramente alterado muy fracturado, a partir de 87 la roca desprende olor desagradable presencia de agua					6
	<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (N61)</b>	0.1	6.25	$25/15 \times 1/2 \times 1/2.5 = 0.3$	0.4	$49/6 \times 1.5/2 \times 1/2.5 = 2.45$		7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>	33	33	$7+8+8+20+10+12=41$	46	$12+8+8+20+10+12=46$			8
	<b>PROGRESIVAS</b>		85	86	87			
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>	 Fecha:							10
		<b>SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>	 Fecha:					
<b>SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>	 Fecha:			IV			IIa	

- SIMBOLOGIA**
-  Hornfels
  -  Flujos de lavas
  -  Calcosilicatos
  -  Cuerpo mineralizado.
  -  Dique andesitico
  -  Dique dioritico
  -  Falla / fractura cerrada
  -  Fractura con relleno de calcita
  -  Goteo / flujo de agua
  -  Pernos
  -  Malla metalica
  -  Cerchas

UNI - FIGMM  
 H.A.A.V. - ENERO 92

<b>PROYECTO:</b>		1 <b>TUNEL: Principal</b>	2 <b>EJECUTADO: H.A.A.V.</b>	3 <b>REVISADO: C.V.C.</b>	4
<b>AVANCE DIARIO</b>					5
<b>DESCRIPCION LITOLÓGICA</b>	Zona de falla	Zona que presenta fragmentos marrones en una pasta verde, presencia de un dique, el tramo se encuentra muy fracturado			6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (NOI)</b>	$49/6 \times 1/8 \times 1/2.5 = 0.4$	$62.2/6 \times 1.5/2 \times 1/2.5 = 3.11$	$82/6 \times 1.5/1 \times 1/1 = 20.5$		7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>	$12+8+8+10+10-12=36$	$12+13+8+25+10-12=56$	$12+17+8+25+10-12=60$		8
<b>PROGRESIVAS</b>		89	90	91	9
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>					10
	Fecha:				
<b>SOORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>					11
	Fecha:				
<b>SOORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>		IV			12
	Fecha:				

- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesitico
  - Dique dioritico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metalica
  - Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:		1 TUNEL: Principal		2 EJECUTADO: H.A.A.V.		3 REVISADO: C.V.C.		4
AVANCE DIARIO								5
DESCRIPCION LITOLOGICA		Idem tramo anterior.		Zona de calcosilicatos de color verde de muy fracturado a extremadamente, ligeramente alterada.				6
CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)		$49/3 \times 1.5/1 \times 1/2.5 = 9.8$		0.03 $49/4 \times 1/2 \times 1/2.5 = 2.4$		$82/3 \times 1.5/2 \times 1/1 = 20.5$		7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		$12 + 8 + 5 + 25 + 10 - 12 = 48$		33		$12 + 13 + 5 + 20 + 15 - 12 = 53$		8
PROGRESIVAS		93		94		95		9
NAPEO GEOLOGICO Fecha:								10
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO Fecha:								11
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO Fecha:		IIa		IV		I		12

- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesitico
  - Dique dioritico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metalica
  - Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92



<b>PROYECTO:</b> TUNEL Principal		<b>EJECUTADO:</b> H.A.A.V.		<b>REVISADO:</b> C.V.C.		4
<b>AVANCE DIARIO</b>		Zona de falla		Calcosilicatos extremadamente fracturado		5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>						6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (No.1)</b>		$25/12 \times 1/2 \times 1/2.5 = 0.4$		$16/6 \times 2/2 \times 1/2.5 = 1.07$		7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>		$12+8+5+10+15-12 = 33$		$12+3+5+20+15 = 4.8 = 50.2$		8
<b>PROGRESIVAS</b>		97		98		9
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>  Fecha:						10
						11
<b>SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>  Fecha:						11
						12
<b>SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>  Fecha:		IV		II a		13
						14

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla/fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo/flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

UNI - FIGMM

H.A.A.V. - ENERO 92

<b>PROYECTO:</b>		1 <b>TUNEL: Principal</b>		2 <b>EJECUTADO: H.A.A.V.</b>		3 <b>REVISADO: C.V.C.</b>		4
<b>AVANCE DIARIO</b>								5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>		Calcosilicatos se encuentra muy fracturado entre 102.4 y 103.5 presencia de fallas, el tramo es resistente a moderadamente resistente.						6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (N61)</b>		3.5	$62.2 / 6 \times 1.5 / 2 \times 1 / 1 = 7.7$	$98.5 / 3 \times 1 / 8 \times 1 / 2.5 = 1.6$	2.2			7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>		48.2	$12 + 13 + 8 + 20 + 15 - 4.8 = 63.2$	$7 + 20 + 10 + 20 + 15 - 4.8 = 67.2$		48.2		8
<b>PROGRESIVAS</b>		101		102		103		9
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>  Fecha:								10
<b>SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>  Fecha:								11
<b>SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO</b>  Fecha:		IIa	IIb		IIa			12

- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesitico
  - Dique dioritico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metalica
  - Cerchas

UNI - FIGMM

H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO: 1 TUNEL: Principal 2 EJECUTADO: H.A.A.V. 3 REVISADO: C.V.C. 4

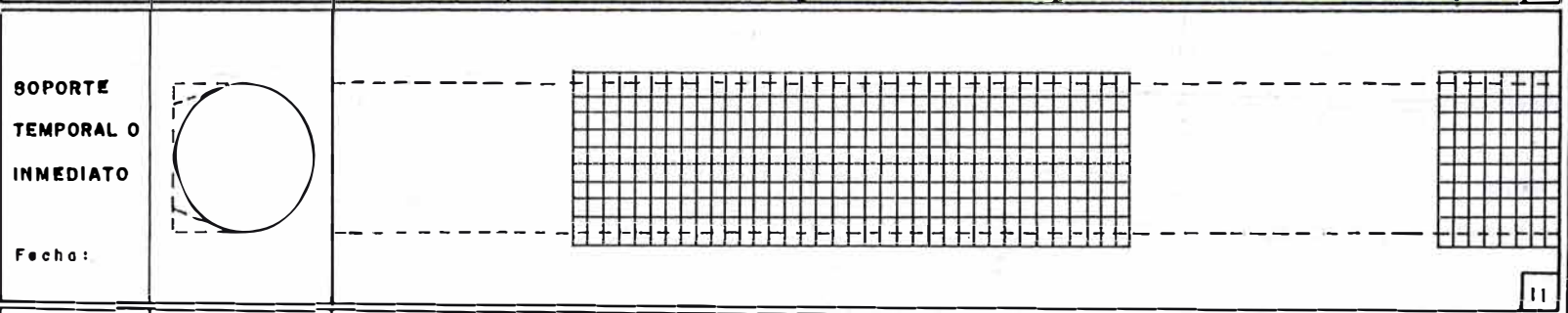
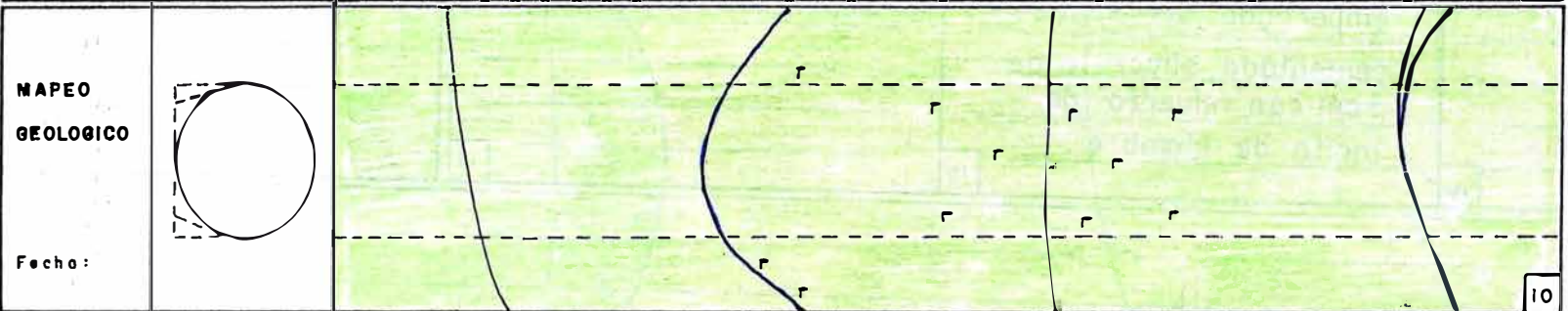
AVANCE DIARIO 5

DESCRIPCION LITOLOGICA: De características similares al tramo anterior presencia de agua 6

CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)	16/3 × 1.5/2 × 1/1 = 4	0.8	82/3 × 1.5/2 × 1/1 = 20.5	3.1	8.2
					<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7</span>

CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"	12+3+5+20+15-4.8 = 50.2	50.2	12+17+8+20+10-4.8 = 62.2	55.2	55.2
					<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">8</span>

PROGRESIVAS: 105 106 107 9



SOORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO

Fecha:

I	IV	I
---	----	---

12

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesítico
- Dique diorítico
- Falla/fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo/flujo de agua
- Pernos
- Malla metálica
- Cerchas

13

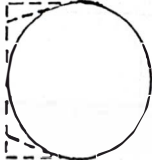
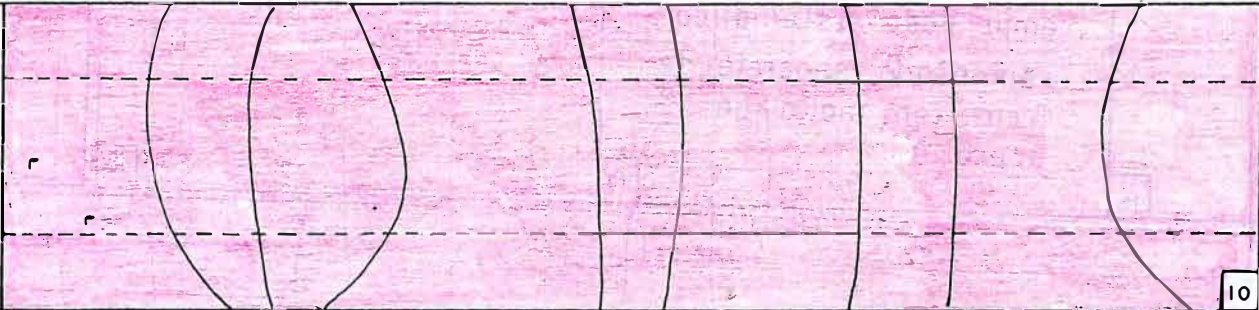
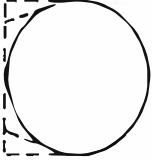
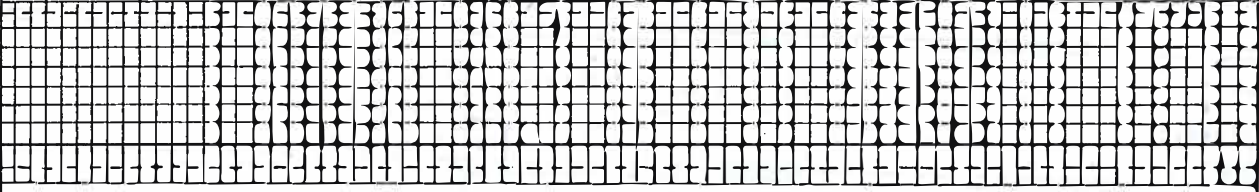
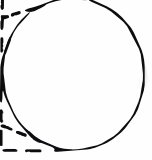
UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

14













PROYECTO:		1 TUNEL: Principal	2 EJECUTADO: H.A.A.V.	3 REVISADO: C.V.C.	4			
AVANCE DIARIO						5		
DESCRIPCION LITOLOGICA	Calcosilicatos		Zona del cuerpo mineralizado			6		
						7		
CLASIFICACION INDICE "Q" (No1)	1	1.6	10.9	0.8	0.6	0.82	0.41	8
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"	55.2	30	64.5	75.5	51.5	52	47	9
PROGRESIVAS	109		110	111				10
MAPEO GEOLOGICO							10	
Fecha:								
SOORTE TEMPORAL O INMEDIATO							11	
Fecha:								
SOORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO		III		IV			12	
Fecha:								

- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesítico
  - Dique diorítico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metálica
  - Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:		1 TUNEL: Principal		2 EJECUTADO: H.A.A.V.		3 REVISADO: C.V.C.		4
AVANCE DIARIO								5
DESCRIPCION LITOLOGICA		Cuerpo mineralizado, resistente						8
CLASIFICACION INDICE "Q" (NOI)		1.31	0.3	$82/9 \times 1.5/2 \times 1/5 = 1.3$	$42.4/9 \times 1.5/2 \times 1/5 = 0.7$	0.4		7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		61	60	$12+17+8+20+15-8 = 64$	$12+8+5+20+15-8 = 52$	61		8
PROGRESIVAS		113		114		115		9
MAPEO GEOLOGICO								10
Fecha:								
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO								11
Fecha:								
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO		III	IV	III	IV			
Fecha:								12

**SIMBOLOGIA**

-  Hornfels
-  Flujos de lavas
-  Calcosilicatos
-  Cuerpo mineralizado.
-  Dique andesitico
-  Dique dioritico
-  Falla / fractura cerrada
-  Fractura con relleno de calcita
-  Goteo / flujo de agua
-  Pernos
-  Malla metalica
-  Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

13  
14

PROYECTO: **1** TUNEL: Principal **2** EJECUTADO: H.A.A.V. **3** REVISADO: C.V.C. **4**

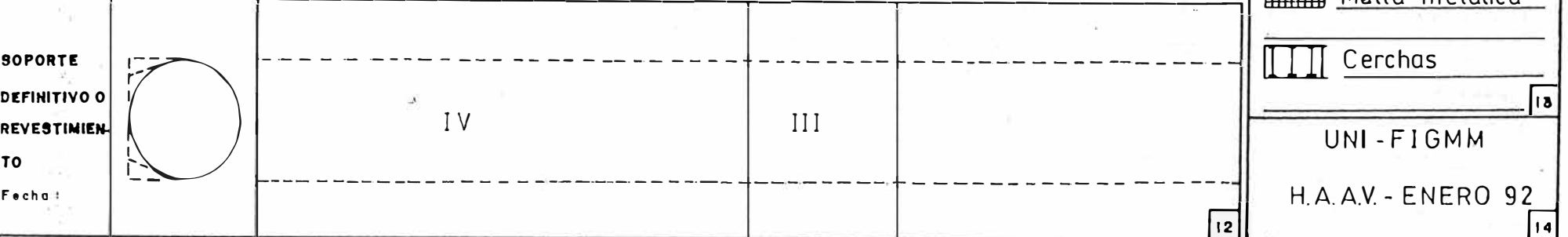
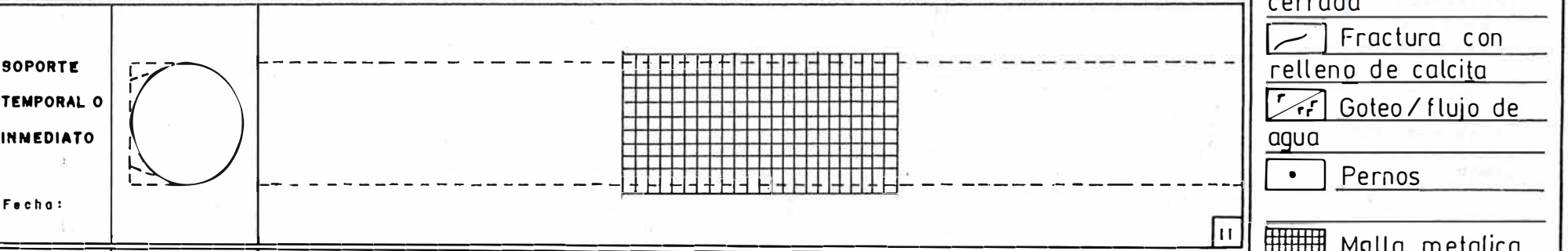
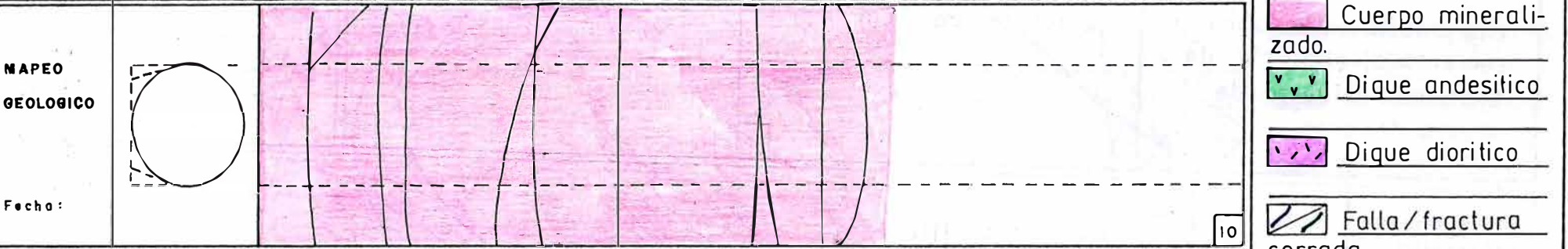
AVANCE DIARIO **5**

DESCRIPCION LITOLOGICA: Cuerpo mineralizado, resistente **6**

CLASIFICACION INDICE "Q" (No1):  $49/9 \times 1.5/2 \times 1/5 = 0.8$  1.2 **7**

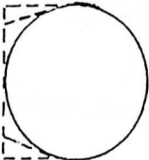
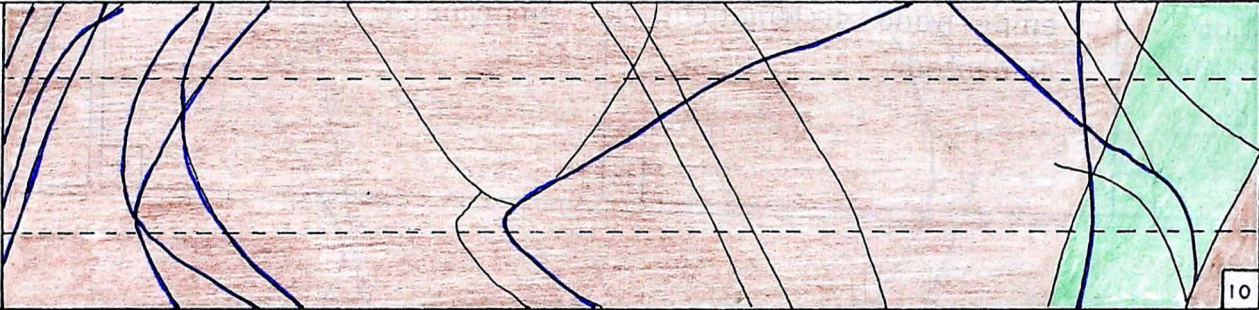
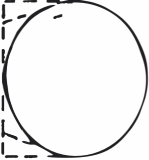
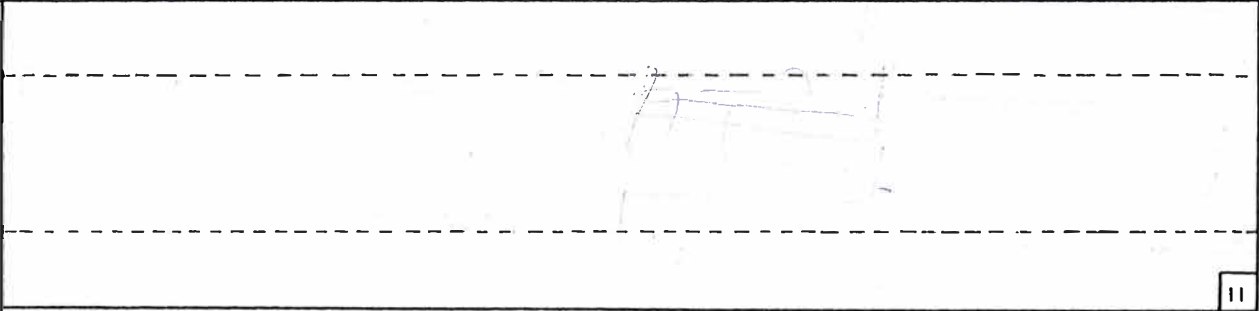
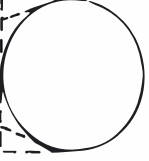

CLASIFICACION SISTEMA "CSIR":  $12 + 8 + 5 + 20 + 15 - 8 = 52$  64 **8**

PROGRESIVAS: 117 118 **9**



- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesitico
  - Dique dioritico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metalica
  - Cerchas
- 13**

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92 **14**

<b>PROYECTO:</b>		1 TUNEL: Principal		2 EJECUTADO: H.A.A.V.		3 REVISADO: C.V.C.		4
<b>AVANCE DIARIO</b>								5
<b>DESCRIPCION LITOLOGICA</b>		Hornfels gris de textura fina se encuentra fracturado, dique. manchas de oxidacion en las paredes de las discontinuidades, diseminaciones de pirita						6
<b>CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)</b>		0.38	0.41	$65.5 / 6 \times 1/8 \times 1/2.5 = 0.55$		4.08		7
<b>CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"</b>		25.2	35.2	$12 + 13 + 8 + 10 + 10 - 2 = 451$		45		8
<b>PROGRESIVAS</b>		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <span>10</span> <span>20</span> <span>30</span> </div>						9
<b>MAPEO GEOLOGICO</b>  Fecha:								10
								11
<b>SOORTE TEMPORAL O INMEDIATO</b>  Fecha:		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <span>IV</span> <span>IIa</span> <span>I</span> </div>						12
								13

- SIMBOLOGIA**
- Hornfels
  - Flujos de lavas
  - Calcosilicatos
  - Cuerpo mineralizado.
  - Dique andesitico
  - Dique dioritico
  - Falla / fractura cerrada
  - Fractura con relleno de calcita
  - Goteo / flujo de agua
  - Pernos
  - Malla metalica
  - Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:		1 TUNEL: Principal		2 EJECUTADO: H.A.A.V.		3 REVISADO: C.V.C.		4
AVANCE DIARIO								5
DESCRIPCION LITOLOGICA		Hornfels gris resistente cortado por fallas con panizo, presencia de agua, se encuentra fracturado.						6
CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)		10.25	$49/9 \times 1.5/2 \times 1/1 = 1.63$	6.13	$49/6 \times 1.5/2 \times 1/1 = 6.13$			7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		59	$12 + 8 + 8 + 0 + 10 - 0 = 38$	58	$12 + 8 + 8 + 10 + 10 - 0 = 48$			8
PROGRESIVAS		50                      60                      70						9
MAPEO GEOLOGICO								10
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO								11
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO		I	III	I	I Ia			12
Fecha:								13
Fecha:								14

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla / fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo / flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

UNI - FIGMM

H.A.A.V. - ENERO 92



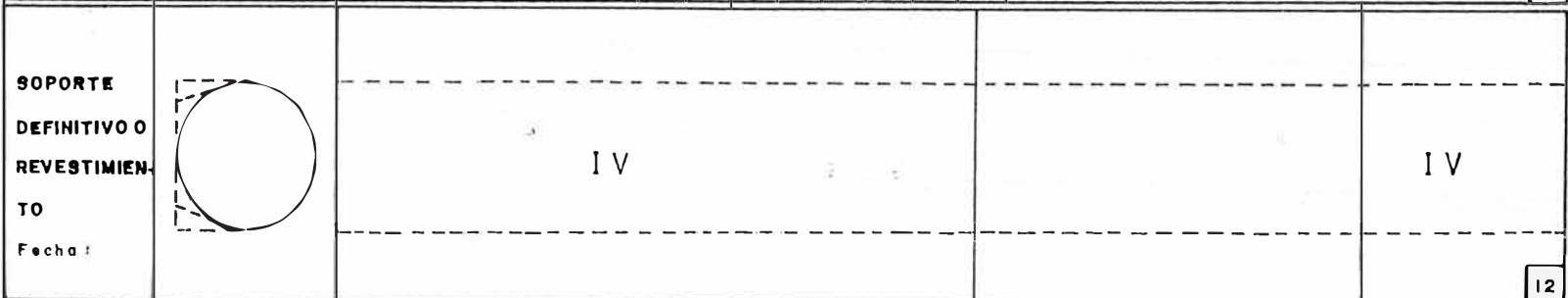
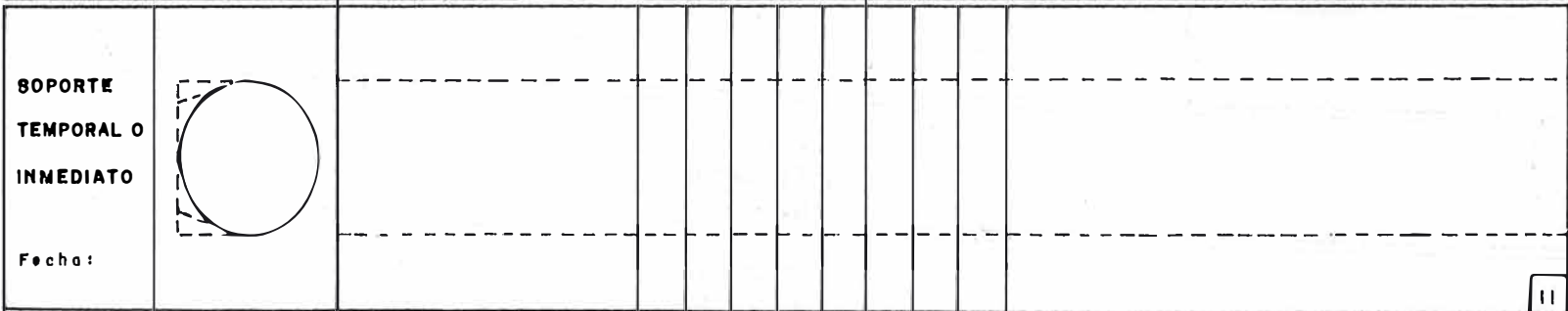
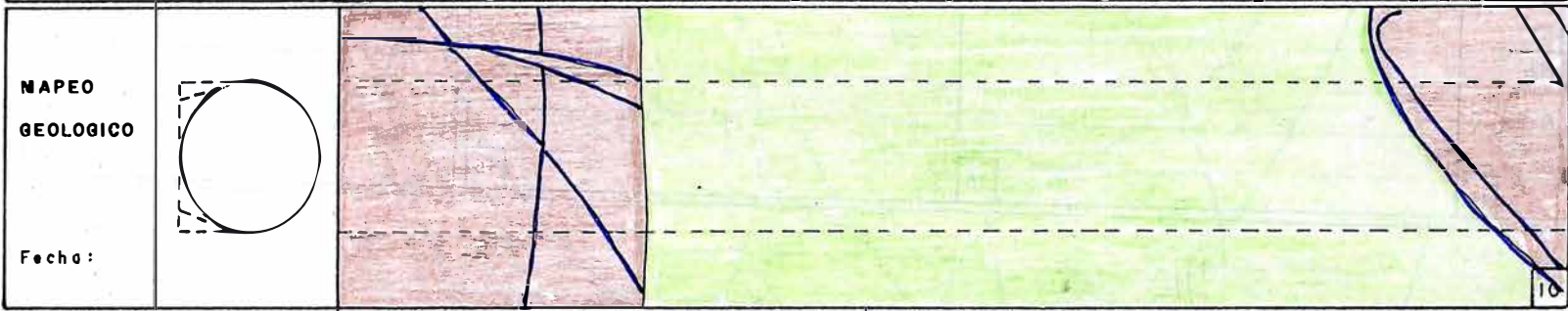
PROYECTO: 1 TUNEL: Principal 2 EJECUTADO: H.A.A.V. 3 REVISADO: C.V.C. 4

AVANCE DIARIO 5

DESCRIPCION LITOLOGICA	Hornfels	Calcosilicatos afectado por fallas, en partes se indenta a picota, ligeramente alterado.	Hornfels.
CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)	$45/6 \times 1/8 \times 1/2.5 = 0.38$	$25/12 \times 1/8 \times 1/2.5 = 0.1$	$71.9/6 \times 3/4 \times 1/1 = 8.9$ 0.98
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"	$12 + 8 + 5 + 0 + 10 = 35$	$7 + 8 + 5 + 0 + 15 - 0 = 35$	$12 + 13 + 8 + 20 + 15 - 2.7 = 65.3$ 42
PROGRESIVAS	90	100	110

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla / fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo / flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas



UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:		1 TUNEL: Principal	2 EJECUTADO: H.A.A.V.	3 REVISADO: C.V.C.	4
AVANCE DIARIO					5
DESCRIPCION LITOLOGICA		Hornfels gris textura fina, resistente se encuentra fracturado			6
CLASIFICACION INDICE "Q" (No1)		0.98	$49 / 6 \times 1.5 / 2 \times 1 / 1 = 6.13$	$42.4 / 9 \times 1.5 / 2 \times 1 / 1 = 3.53$	7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		42	$12 + 8 + 5 + 20 + 15 - 5.5 = 54$	$12 + 8 + 8 + 20 + 10 - 5.5 = 52.5$	8
PROGRESIVAS		130	140	150	9
NAPEO GEOLOGICO					10
Fecha:					
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO					11
Fecha:					
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO		IV	I		12
Fecha:					

**SIMBOLOGIA**

- Hornfels
- Flujos de lavas
- Calcosilicatos
- Cuerpo mineralizado.
- Dique andesitico
- Dique dioritico
- Falla / fractura cerrada
- Fractura con relleno de calcita
- Goteo / flujo de agua
- Pernos
- Malla metalica
- Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:		1 TUNEL: Principal	2 EJECUTADO: H.A.A.V.	3 REVISADO: C.V.C.	4	
AVANCE DIARIO						5
DESCRIPCION LITOLOGICA		Idem tramo anterior				6
CLASIFICACION INDICE "Q" (Noi)		12.25	12.25	$49/6 \times 1.5/2 \times 1/1 = 6.13$	7	
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		60	58	$12 + 8 + 5 + 20 + 10 = 55$	8	
PROGRESIVAS		170	180	190	9	
MAPEO GEOLOGICO						10
Fecha:						
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO						11
Fecha:						
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO						12
Fecha:						

SIMBOLOGIA	
	Hornfels
	Flujos de lavas
	Calcosilicatos
	Cuerpo mineralizado
	Dique andesitico
	Dique dioritico
	Falla/fractura cerrada
	Fractura con relleno de calcita
	Goteo/flujo de agua
	Pernos
	Malla metalica
	Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92

PROYECTO:		1 TUNEL: Principal	2 EJECUTADO: H.A.A.V.	3 REVISADO: C.V.C.	4
AVANCE DIARIO					5
DESCRIPCION LITOLOGICA					6
CLASIFICACION INDICE "Q" (Nº1)		$49/6 \times 1/8 \times 1/2.5 = 0.41$			7
CLASIFICACION SISTEMA "CSIR"		$12 + 8 + 5 + 0 + 10 = 35$			8
PROGRESIVAS		210 220			9
MAPEO GEOLOGICO					10
Fecha:					
SOPORTE TEMPORAL O INMEDIATO					11
Fecha:					
SOPORTE DEFINITIVO O REVESTIMIENTO		IV			12
Fecha:					

SIMBOLOGIA	
	Hornfels
	Flujos de lavas
	Calcosilicatos
	Cuerpo mineralizado
	Dique andesitico
	Dique dioritico
	Falla / fractura cerrada
	Fractura con relleno de calcita
	Goteo / flujo de agua
	Pernos
	Malla metalica
	Cerchas

UNI - FIGMM  
H.A.A.V. - ENERO 92