



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**CARACTERIZACION DE ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS
ARTIFICIALES. APLICACION A UN CASO CONCRETO.
(ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS. ASTURIAS II)**

APLICACION MINA VILLABONA

INFORME GEOTECNICO Y DE SUBSIDENCIA

**CONVENIO ESPECIFICO
ITGE - PRINCIPADO DE ASTURIAS**

1995



SECRETARIA GENERAL DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

01311

**CARACTERIZACION DE ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS
ARTIFICIALES. APLICACION A UN CASO CONCRETO.
(ESTRUCTURAS SUBTERRANEAS. ASTURIAS II)**

APLICACION MINA VILLABONA

INFORME GEOTECNICO Y DE SUBSIDENCIA

**CONVENIO ESPECIFICO
ITGE - PRINCIPADO DE ASTURIAS**

1995



INDICE

	<u>Pág.</u>
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1
3.- DOCUMENTACIÓN	2
4.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	2
4.1. Estratigrafía	2
4.2. Análisis de la documentación disponible	2
4.2.1. Sondeos mecánicos	2
4.2.2. Parámetros geomecánicos	3
4.3. Disposición general de cámaras y pilares	5
4.3.1. Regiones geotécnicas	6
4.3.2. Estimación del recubrimiento y altura de pilares	6
4.4. Estudio del macizo rocoso	8
4.4.1. Obtención del RMR	8
4.4.2. Parámetros geomecánicos del macizo rocoso	11
4.4.3. Familias de fracturación existentes	14
4.4.4. Propiedades mecánicas de las discontinuidades	16
4.5. Ensayos de laboratorio	18
4.6. Capacidad portante de los pilares	20
5.- ANALISIS DE LA ESTABILIDAD	21
5.1. Estabilidad de las cámaras y pilares	21
5.1.1. Método del área atribuida	22
5.1.2. Modelo numérico continuo	23
5.1.3. Comparación de resultados	27
5.2. Estabilidad del techo inmediato	27
5.3. Estabilidad del muro	29
5.4. Roturas dependientes de la estructura. Estudio de cuñas	31
5.5. Estabilidad en el tiempo de las excavaciones	37
6.- SUBSIDENCIA DEL TERRENO	39
7.- RESUMEN Y CONCLUSIONES	41



ANEJOS

- A.- PLANOS
- B.- ESTIMACIÓN DE LA ALTURA Y RECUBRIMIENTO DE PILARES (HOJA DE CÁLCULO)
- C.- DATOS CORRESPONDIENTES A CARACTERIZACIÓN DE DISCONTINUIDADES EN ESTACIONES DE MEDIDA
- D.- MÉTODO DEL AREA ATRIBUIDA. ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE PILARES (HOJA DE CÁLCULO)
- E.- ESTABILIDAD DEL MURO. ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE SEGURIDAD (HOJA DE CÁLCULO)
- F.- CÁLCULO VOLUMÉTRICO ESTIMATIVO DE CÁMARAS



RELACION DE CUADROS

- CUADRO N° 1. Datos correspondientes a sondeos
- CUADRO N° 2. Resumen de alturas y recubrimientos de pilares
- CUADRO N° 3. Clasificación de Bieniawski (1979)
- CUADRO N° 4. Estimación del RMR
- CUADRO N° 5. Parámetros geomecánicos del macizo rocoso
- CUADRO N° 6. Discontinuidades principales en las diez estaciones de medida
- CUADRO N° 7. Características geomecánicas de las discontinuidades
- CUADRO N° 8. Valores calculados de c y ϕ de las discontinuidades
- CUADRO N° 9. Coeficientes de seguridad de pilares
- CUADRO N° 10. Tensiones normales sobre pilares (zona 1)
- CUADRO N° 11. Tensiones normales sobre pilares (zona 2)
- CUADRO N° 12. Resultados del análisis de cuñas (Regiones I y II)
- CUADRO N° 13. Resultados del análisis de cuñas (Regiones III y IV)
- CUADRO N° 14. Valor del parámetro ESR para distintos tipos de excavación
- CUADRO N° 15. Ancho de cámara aceptable en función del ESR
- CUADRO N° 16. Volumen de cámaras



RELACION DE FIGURAS

- FIGURA Nº 1. *Diagrama equiareal de polos de discontinuidades (General)*
- FIGURA Nº 2. *Polos y planos de discontinuidades (General)*
- FIGURA Nº 3. *Diagrama de direcciones (General)*
- FIGURA Nº 4. *Teoría del área atribuida*
- FIGURA Nº 5. *Zona 1. Isolíneas de tensiones verticales (MPA)*
- FIGURA Nº 6. *Zona 1. Isolíneas de desplazamientos verticales (m)*
- FIGURA Nº 7. *Zona 1. Isolíneas de convergencias (m)*
- FIGURA Nº 8. *Zona 2 (ventana 1). Isolíneas de tensiones verticales (MPA)*
- FIGURA Nº 9. *Zona 2 (ventana 2). Isolíneas de tensiones verticales (MPA)*
- FIGURA Nº 10. *Zona 2 (ventana 1). Isolíneas de desplazamientos verticales (m)*
- FIGURA Nº 11. *Zona 2 (ventana 2). Isolíneas de desplazamientos verticales (m)*
- FIGURA Nº 12. *Zona 2 (ventana 1). Isolíneas de convergencias (m)*
- FIGURA Nº 13. *Zona 2 (ventana 2). Isolíneas de convergencias (m)*
- FIGURA Nº 14. *Tipos de cuñas de formación en el techo expuestas a caída libre*
- FIGURA Nº 15. *Zona de labores simplificada para el cálculo numérico de la subsidencia*
- FIGURA Nº 16. *Subsidencia. Isolíneas de hundimiento (m)*
- FIGURA Nº 17. *Subsidencia. Isolíneas de deformaciones según el eje OX (mm/m)*
- FIGURA Nº 18. *Subsidencia. Isolíneas de deformaciones según el eje OY (mm/m)*



RELACION DE PLANOS

PLANO Nº 1. Plano general de cámaras y pilares y áreas atribuidas

PLANO Nº 2. Mapa de isolíneas de cotas del terreno

PLANO Nº 3. Mapa de isolíneas de cotas de muro

PLANO Nº 4. Mapa de isolíneas de alturas de pilares

PLANO Nº 5. Plano de situación de regiones geotécnicas y estaciones de caracterización geomecánica

PLANO Nº 6. Plano de zonas modelizadas numéricamente



1.- INTRODUCCIÓN

En 1995, el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) y el Principado de Asturias firmaron un CONVENIO ESPECIFICO de colaboración para el desarrollo de un proyecto titulado "Caracterización de Estructuras Subterráneas Artificiales. Aplicación a un caso concreto. (Estructuras Subterráneas. Asturias II)", cuyo objetivo es estudiar y analizar, bajo la óptica de diferentes parámetros (geotécnicos, estructurales, hidrogeológicos, etc...), la posibilidad de utilizar los importantes huecos del subsuelo generados por la minería subterránea en Asturias, como recursos o espacios idóneos para el almacenamiento de residuos o sustancias susceptibles de uso posterior.

El proyecto, que en línea de continuidad con otro anterior sigue abriendo de forma integral una investigación en este campo y cuyo desarrollo de los trabajos, en este caso, se aplica directamente a una mina sin actividad, la mina subterránea de espato flúor de Espato de Villabona, S.A., consta de diversos estudios que forman parte de las ciencias de la tierra, entre los que se encuentran el de geotecnia, que se trata en este documento, y de otros, relacionados con la seguridad y control, el impacto ambiental, etc.

2.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La mina de fluorita de Espato de Villabona, S.A., se halla situada en el municipio de Llanera próxima a la localidad de Villabona, a unos 10 km al N. de la ciudad de Oviedo. El mineral ha sido explotado por el método de cámaras y pilares, con arranque por medio de explosivos y el acceso al interior se realiza a través de plano en rampa.

El área objeto del estudio se corresponde con la última zona explotada, situada al N. y NO. del yacimiento, profundidad media de 160 m y con potencia media de 3,25 m.

Con el estudio geotécnico se pretende alcanzar dos objetivos fundamentales:

- 1.- Conocimiento del comportamiento geomecánico del terreno, relacionado con la estabilidad de cámaras y pilares.
- 2.- Conocimiento de la subsidencia originada por las labores.



3.- DOCUMENTACIÓN

Se ha dispuesto, proporcionado por Espato de Villabona, S.A., de la siguiente documentación:

- Plano horizontal de Labores. Escala 1:1000. Espato de Villabona, S.A.
- Plano topográfico, escala 1:2000. Espato de Villabona, S.A.
- Columnas estratigráficas, escala 1:400, de los sondeos n^{os} 1-V, 2-V, 9-V, 81-1, 81-2, 81-3, 81-4, 81-5, 81-6, 90-2 y 90-3.
- Datos estratigráficos de los sondeos n^{os} 90-7, 90-8 y 90-9.
- Geología de la concesión, escala 1:5000. Espato de Villabona, S.A.
- Perfiles geológicos, escala 1:5000. Espato de Villabona, S.A.
- "Geología y mineralización del yacimiento de espato de Villabona". E. Embil Martínez y J. L. Liera López. Mayo 1995.

También se ha dispuesto del informe titulado "Estudio geotécnico y de subsidencia" (Aplicación a Mina Moscona), realizado por el ITGE en 1994 como parte del Convenio Específico con el Principado de Asturias para la realización del Proyecto "Estructuras Subterráneas. Inventario y caracterización. Aplicación a un caso concreto".

4.- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

4.1. Estratigrafía

Según se desprende del estudio geológico y de las columnas de sondeos, el yacimiento en la zona de estudio se encuentra en terrenos mesozoicos del Trías, y un corte estratigráfico de las capas, que buzcan muy ligeramente al NE., presenta las siguientes características generales:

- Recubrimiento de techo:
 - * Margas con pasadas de yesos (tramo margoso)



* Areniscas, conglomerados, margas y calizas (tramo detrítico)

- Capa mineralizada (tramo carbonatado)

- Muro

* Margocalizas con intercalaciones de areniscas y conglomerados (tramo margoso carbonatado).

4.2. Análisis de la documentación disponible

4.2.1. Sondeos mecánicos

En la zona correspondiente al yacimiento de mineral de fluorita se realizaron por Espato de Villabona, S.A., 14 sondeos, con extracción de testigos, hasta las profundidades necesarias para atravesar la capa de mineral y seguir unos pocos metros más en el muro. Estos sondeos son los siguientes: 1-V, 2-V, 9-V, 81-1 a 81-6, 90-2, 90-3 y 90-7 a 90-9.

Con los datos correspondientes a sus columnas estratigráficas, se ha confeccionado el cuadro Nº 1, en el que se relacionan, para cada sondeo, datos correspondientes a valores de la cota de boca del sondeo (cota del terreno), coordenadas, cota de techo de capa, cota de muro y potencias de capa y de recubrimiento.

No obstante, la información facilitada por estos sondeos, la mayoría de ellos, a excepción de los 81-1 y 81-3 (ver plano Nº 3 en el Anejo A), se encuentran fuera de la zona de estudio.

Los valores límites hallados para la potencia de capa mineralizada son 1,60 m (sondeo 90-3) y 4,30 m (sondeo 81-5) y para la potencia de recubrimiento 76,40 m (sondeo 81-5) y 226,80 m (sondeo 81-6).

4.2.2. Parámetros geomecánicos

Por su interés en la elaboración de este estudio, se exponen a continuación los resultados obtenidos (valores medios) de los ensayos realizados por el Laboratorio del ITGE, sobre probetas obtenidas a partir de las muestras extraídas del techo, capa y muro de la Mina Moscona de fluorita, nivel 19:



Sondeo n°	Coordenadas		Cota terreno (*)	Cota de techo de capa (*)	Cota de muro (*)	Potencia de capa (m)	Potencia de recubrimiento (m)
	x	y					
1-V	2097	2151	245,10	107,65	103,90	3,75	137,45
2-V	1970	2349	220,34	11,19	8,59	2,60	209,15
9-V	1620	2339	228,89	119,96	117,50	2,46	108,93
81-1	1844	2299	239,92	57,92	53,92	4,00	182,00
81-2	1953	2303	236,93	42,33	39,43	2,90	194,60
81-3	1789	2352	236,69	83,09	80,09	3,00	153,60
81-4	1654	2357	220,71	110,21	107,21	3,00	110,50
81-5	1372	2327	230,63	154,23	149,93	4,30	76,40
81-6	1862	2631	185,69	-41,11	-43,91	2,80	226,80
90-2	1518	2408	210,78	110,68	108,73	1,95	100,10
90-3	1424	2443	199,70	110,40	108,80	1,60	89,30
90-7	1558	2514	183,38	78,98	75,23	3,75	104,40
90-8	1714	2634	181,39	21,54	19,49	2,05	159,85
90-9	1604	2617	166,24	44,66	42,36	2,30	121,58

(*) Metros sobre el nivel del mar

CUADRO N° 1. Datos correspondientes a sondeos

a) Peso específico aparente

- Techo (caliza arenosa): 2,65 t/m³
- Capa: 2,60 t/m³
- Muro (margocaliza): 2,66 t/m³

b) Resistencia a la tracción indirecta

- Techo (caliza arenosa): 23,10 MPa
- Capa: 18,10 MPa
- Muro (caliza compacta): 24,60 MPa

c) Resistencia a la compresión simple

- Capa: 70,6 MPa

d) Módulo de Young y coeficiente de Poisson:

- Techo (arenisca y caliza arenosa):

$$E = 2,8 \times 10^4 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,18$$

- Muro (margocaliza):

$$E = 4,3 \times 10^4 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,28$$



- Conjunto de techo y muro:

$$E = 3,3 \times 10^4 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,21$$

e) Resistencia a la compresión triaxial

- Techo (arenisca y caliza arenosa):

$$c = 5,05 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 70,4^\circ$$

- Capa:

$$c = 6,76 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 66,5^\circ$$

f) Corte directo

- Techo (arenisca y caliza arenosa):

$$c_r = 42 \text{ t/m}^2$$

$$\varphi_r = 64,5^\circ$$

Se completa esta información con algunos resultados obtenidos (valores medios) de los ensayos realizados por el Laboratorio del Departamento de Explotación y Prospección de Minas de la Universidad de Oviedo, sobre probetas obtenidas también a partir de las muestras extraídas del techo, capa y muro de la Mina Moscona.

a) Resistencia a la compresión simple:

- Capa: 65 MPa

- Techo: 82 MPa

- Muro: 91 MPa

b) Módulo de Young

- Capa: $1,4 \times 10^4$ MPa

4.3. Disposición general de cámaras y pilares

A partir del Plano de Labores de la zona de estudio, ha sido confeccionado el plano general de cámaras y pilares y área atribuidas (Plano Nº 1. Anejo A). Con la finalidad de poder localizar fácilmente los 181 pilares y macizos (en adelante pilares de forma genérica) existentes en esta zona, las cuadrículas de coordenadas mineras de 100 x 100 m que



interesan las labores, se han identificado mediante letras del alfabeto en un orden de izquierda a derecha y de arriba a abajo. Dentro de cada una de estas cuadrículas, se han numerado, de forma independiente y aproximadamente en el mismo orden indicado antes, cada uno de los pilares. De esta forma, cada pilar vendrá identificado por una letra mayúscula seguida de un número, que facilitará su búsqueda y localización en el plano.

Asimismo en él se han marcado todos aquellos sondeos mecánicos cuyas coordenadas caen dentro de la zona delimitada en el estudio, de acuerdo con las especificadas en el cuadro N° 1 (apartado 4.2.1.).

4.3.1. Regiones geotécnicas

Atendiendo a las características estructurales de primer orden, como son la presencia de fallamientos de cierta importancia que cruzan la zona en dirección NO-SE y E-O, habiendo producido sus movimientos marcadas discontinuidades en la capa de mineral, con notorias desnivelaciones del macizo rocoso, según se desprende del estudio estructural, se ha optado por considerar la zona diferenciada en cuatro regiones a efectos del estudio geotécnico.

La disposición de estas regiones, denominadas I, II, III y IV, puede verse en el plano N° 5 (Anejo A). Las regiones I y II se sitúan a occidente de la falla conocida como principal y las otras dos a oriente. Tanto las regiones I y II como las III y IV quedan a su vez separadas por fallas menores.

4.3.2. Estimación de la altura y recubrimiento de pilares

En el plano N° 2 del ANEJO A, está representado el mapa de isolíneas de cotas del terreno, que se ha obtenido a partir del plano topográfico, escala 1:2000 (apartado 3). La superposición sobre el plano de labores de la zona de estudio se ha realizado a través del programa AUTOCAD.

A partir del plano de labores, escala 1:1000 (apartado 3), donde figuran densamente repartidos, puntos de cotas de muro de la explotación, se han determinado a través de AUTOCAD las coordenadas de 263 de estos puntos, a las que se han añadido las correspondientes a 12 sondeos (todos los señalados en el cuadro N° 1, exceptuados los sondeos 81-5 y 90-3), totalizando 275 coordenadas de puntos con cotas conocidas. Con



ayuda del programa SURFER de Golden Software, Inc., se ha obtenido el mapa de isolíneas de cotas de muro (plano N° 3 del ANEJO A).

El mapa de isolíneas de alturas de pilares (plano N° 4 del ANEJO A) se ha realizado a partir de 21 medidas de alturas de pilares en el terreno, repartidas lo más homogéneamente posible en todo el área de explotación, y luego haciendo uso de los programas AUTOCAD (obtención de coordenadas) y SURFER (trazado de isolíneas).

A partir de estos mapas se han determinado, de forma individualizada para cada pilar, tanto la cota del terreno como la del muro que le corresponden, así como su propia altura, y con ayuda finalmente de la hoja de cálculo LOTUS 1-2-3 para Windows se han calculado las estimaciones de la cota de techo y recubrimiento de los 181 pilares (ver ANEJO B).

En el cuadro N° 2 se expone un resumen por regiones geotécnicas y general de la zona de estudio, de la estimación de alturas y recubrimiento de pilares.

REGION	ALTURA DE PILARES (m)			RECUBRIMIENTO DE PILARES (m)		
	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media
I	3,10	2,90	2,95	138,05	122,05	133,77
II	3,70	2,80	3,13	155,20	102,90	126,37
III	3,75	3,15	3,41	206,55	161,70	190,33
IV	3,45	3,35	3,42	212,60	196,50	203,18
GENERAL	3,75	2,80	3,26	212,60	102,90	161,74

CUADRO N° 2. Resumen de alturas y recubrimientos de pilares

Las mayores potencias de la capa mineralizada se presentan en las regiones III y IV, separadas de las dos primeras por la falla principal. También, en estas regiones III y IV se tienen los mayores recubrimientos de terreno.



4.4. Estudio del macizo rocoso

Ha sido realizado un detallado estudio de campo del estado de fracturación y otros condicionantes del macizo rocoso, para poder caracterizar el mismo (Índice RMR) y conocer las características de las discontinuidades (estratificación, diaclasado y fracturación en general) más relevantes.

Para ello, dentro de la zona se establecieron 10 estaciones, numeradas de E-1 a E-10 inclusive y repartidas como aparecen en el plano N° 5 del Anejo A (una en la región geotécnica I, cuatro en cada una de las II y III y otra en la IV). Cada estación comprende 4 pilares, siendo por tanto 40 los pilares estudiados (22% del total).

En cada estación se realizaron las necesarias medidas para: cálculo del índice de calidad del terreno (RMR - Rock Mass Ratio), y la caracterización de las discontinuidades, que en los apartados que siguen se describen y analizan.

4.4.1. Obtención del RMR

Para la caracterización del macizo rocoso se ha utilizado la conocida clasificación de BIENIAWSKI (1979), que permite asignar a cada tipo de terreno un índice de calidad, RMR, que depende de:

- * Resistencia a compresión simple de la roca matriz
- * Condiciones del diaclasado
- * Efecto del agua
- * Posición relativa de la excavación respecto al diaclasado

Para tener en cuenta la incidencia de estos factores, se definen una serie de parámetros, asignándoles unas determinadas valoraciones, cuya suma en cada caso proporcionará el índice de calidad RMR, cuyo rango de variación está comprendido entre 0 y 100.

La influencia de la disposición de las discontinuidades, se valora de distinta forma, según se trate de túneles, taludes o cimentaciones.

En el cuadro N° 3 se muestran los criterios de valoración para aplicar la clasificación de Bieniawski.



En función del RMR obtenido los macizos rocosos se clasifican en las cinco siguientes clases:

- I Roca muy buena RMR entre 81 y 100
- II Roca buena RMR entre 61 y 80
- III Roca media RMR entre 41 y 60
- IV Roca mala RMR entre 21 y 40
- V Roca muy mala RMR menor que 20

El RMR viene relacionado, según estudios experimentales de distintos autores, con los diversos parámetros mecánicos de los macizos rocosos (compresión simple, cohesión, ángulo de rozamiento, módulo de elasticidad, constantes m y s del criterio de rotura de HOEK-BROWN (1980), etc.).

En la investigación de campo se determinaron dos valores del RMR por pilar (en caras ortogonales), en total 80 medidas de este índice. Se empleó el esclerómetro o martillo Schmidt, modelo N, para la estimación de la resistencia de la compresión simple de la roca intacta, en función del valor del rebote R del martillo. El valor de R en cada ensayo se obtuvo, en todo caso, como el valor medio de los cinco valores más altos de rebote de una serie de 10 impactos en el entorno del punto ensayado.

En el cuadro N° 4, se muestran los resultados obtenidos en la estimación del RMR en los pilares (capa mineralizada), en el conjunto general de regiones geotécnicas.

LITOTIPO	RMR (1)	RMR (2 + 3)	RMR (4)	RMR (5)	RMR	
					RANGO	MEDIO
CAPA MINERALIZADA	7-2	24-12	20-8	15-4	55-39	47

CUADRO N° 4. Estimación del RMR



I) PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN

RMR (1) - RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA INTACTA							
VALOR (MPa)	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	< 1
VALORACIÓN	15	12	7	4	2	1	0

RMR (2 + 3) - ROD Y SEPARACIÓN ENTRE DIACLASAS																
JUNTAS POR METRO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
VALORACIÓN	40	34	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
JUNTAS POR METRO		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
VALORACIÓN		17	16	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9
JUNTAS POR METRO		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
VALORACIÓN		9	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6

RMR (4)	CONDICIONES DE LAS DIACLASAS				
PERSISTENCIA	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 -20 m	20 m
	6	4	2	1	0
ABERTURA	0	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1- 5 mm	5 mm
	6	5	4	1	0
RUGOSIDAD	MUY RUGOSA	RUGOSA	LIGER. RUGOSA	LISA	ESPEJO DE FALLA
	6	5	3	1	0
RELLENO	NO HAY	DURO CON ESPESOR < 5 mm	DURO CON ESPESOR > 5 mm	BLANDO CON ESPESOR < 5 mm	BLANDO CON ESPESOR > 5 mm
	6	4	2	2	0
GRADO DE METEORIZACIÓN	NO AFECTADO	LIGERO	MODERADO	ALTO	DESCOMPUESTO
	6	5	3	1	0

RMR (5)	EFECTO DEL AGUA				
ESTADO	SECO	LIGERAM. HÚMEDO	HÚMEDO	GOTEANDO	FLUYENDO
VALORACIÓN	15	10	7	4	0

II) CORRECCIÓN SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LA OBRA

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20° cualquier dirección
Excavación hacia buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	
Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	Buzam. 45-90	Buzam. 20-45			Buzam. 45-90
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavor.	Media	Media
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

CUADRO N° 3. Clasificación de Bieniawski (1979)



Estos resultados clasifican al macizo rocoso (capa mineralizada) como roca media. Dada la continuidad, en general, de las fracturas hacia el techo de las cámaras, este resultado del RMR podría hacerse extensivo al macizo más inmediato del techo, de forma conservadora. Lo mismo puede decirse respecto al macizo del muro. En todo caso pueden incrementarse ligeramente sus valores, en función del sumando RMR (1) dependiente del valor de la resistencia a compresión simple de la roca intacta.

Los valores del RMR obtenidos para las regiones geotécnicas I a IV han sido muy similares: 52, 48, 46 y 46, respectivamente. Por ello, se utilizará en lo que sigue como valor del RMR el valor indicado antes, 47 (cuadro N° 4), obtenido como media en el conjunto general de la zona de estudio.

4.4.2. Parámetros geomecánicos del macizo rocoso

Con los parámetros disponibles de la roca intacta para los distintos litotipos (apartados 4.1. y 4.2.2.) y los resultados del RMR se ha preparado el cuadro N° 5; parámetros geomecánicos del macizo rocoso, que deben ser considerados generales, estimativos y "a priori", a falta de los resultados de ensayos de laboratorio, y cuya metodología seguida para su obtención se describe seguidamente.

Las características geomecánicas del macizo rocoso vienen determinadas por el criterio de rotura de HOEK-BROWN (1980). Dicho criterio relaciona las tensiones σ_1 (principal mayor) y σ_3 (principal menor) correspondientes a un estado de rotura, mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m\sigma_c\sigma_3 + s\sigma_c^2}$$

en donde σ_c es la resistencia a la compresión simple de la roca intacta y m y s son constantes que dependen de la litología de la roca y del estado del macizo rocoso. Si se trata de un material rocoso en el laboratorio o de un macizo sin fisuración, s = 1.



	ROCA INTACTA		MACIZO ROCOSO								
	σ_c (MPa)	m_i	RMR	E (MPa)	ν	m	s	σ_{cm} (MPa)	σ_{tm} (MPa)	c (MPa)	ϕ (°)
Techo	82	10,7	48 ⁽¹⁾	8 910	0,2	1,67	0,003096	4,56	0,15	0,57	62,0
Capa	65	7,0	47	8 410	0,2	1,05	0,002770	3,42	0,17	0,52	56,5
Muro	91	8,5	49 ⁽¹⁾	9 440	0,2	1,38	0,003459	5,35	0,23	0,75	58,5

⁽¹⁾ Valores estimativos obtenidos por extensión de los calculados en capa. Deben ser considerados valores conservadores.

CUADRO N° 5. Parámetros geomecánicos del macizo rocoso



Esta dependencia viene dada para un macizo rocoso confinado por las expresiones de PRIEST y BROWN:

$$m = m_1 \rho^{\frac{RMR-100}{28}}$$
$$s = \rho^{\frac{RMR-100}{9}}$$

siendo m_1 un parámetro que depende de la litología de la roca y su valor puede tomarse, en primera aproximación, de la bibliografía. Se puede determinar, en cada caso concreto, a partir de ensayos de laboratorio.

En el caso de taludes o macizos rocosos sin confinar las expresiones de PRIEST y BROWN toman la forma:

$$m = m_1 \rho^{\frac{RMR-100}{14}}$$
$$s = \rho^{\frac{RMR-100}{8}}$$

Los programas de cálculo utilizados, como es el caso del BESOL, tienen la posibilidad de utilizar el criterio de rotura de Hoek y Brown, sin embargo, gran parte de los programas de cálculo disponibles, así como de las fórmulas analíticas utilizan el criterio de Mohr-Coulomb, definido por la cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso.

Una vez estimados m y s se pueden calcular los valores de la cohesión y fricción del macizo rocoso, en función de estas constantes y de la resistencia a la compresión simple de la roca intacta σ_c , para la condición de que la resistencia a la compresión simple del macizo rocoso sea la misma tanto para el criterio de Hoek-Brown como para el de Mohr-Coulomb. Las expresiones utilizadas son las siguientes:

$$c = [2s\sigma_c / (4\sqrt{s}+m)] (\sqrt{1+m/2\sqrt{s}} - \operatorname{tg}\varphi)$$
$$\varphi = 90 - \operatorname{arcsen} [4\sqrt{1+m/2\sqrt{s}} / (4+m/\sqrt{s})]$$

La resistencia a compresión simple del macizo rocoso σ_{cm} viene dada, a partir de la de la roca intacta σ_c y el parámetro s de Hoek y Brown, por la fórmula:

$$\sigma_{cm} = \sqrt{s} \sigma_c$$



El módulo de elasticidad se puede estimar, a falta de ensayos "in situ" y cuando el RMR < 50, a partir de la expresión de SEFARIM Y PEREIRA (1983):

$$E = 10^{(RMR-10)/40}$$

La resistencia a la tracción del macizo rocoso σ_m viene dada, a partir de la resistencia a compresión simple de la roca intacta σ_c y los parámetros m y s de Hoek y Brown, por la expresión:

$$\sigma_m = \sigma_c (m - \sqrt{m^2 + 4s}) / 2$$

El coeficiente de Poisson se estima en base a la experiencia en este tipo de materiales, tomándose habitualmente el mismo que el determinado en ensayos de laboratorio para la roca intacta.

4.4.3. Familias de fracturación existentes

Para el análisis de la fracturación existente se han utilizado los programas DIPS de la Universidad de Toronto (Canadá) y ROCKWORKS de Golden Software, Inc., que permiten realizar análisis estereográficos de los planos de discontinuidad.

Los datos correspondientes a las 10 estaciones de medida, referenciadas en el apartado 4.4., se presentan en el Anejo C. En cada estación de medida se han tomado, por término medio, la dirección y buzamiento de unas 40 discontinuidades, disponiéndose, de este modo, de 402 medidas estructurales. El conjunto de estas medidas ha sido analizado, proporcionando los resultados que se muestran en las figuras 1, 2 y 3.

Se han caracterizado en conjunto seis familias, cuyo buzamiento y dirección de buzamiento son (entre paréntesis direcciones y buzamientos):

J₁: 76/236 (146/76 SO)

J₂: 61/223 (133/61 SO)

J₃: 84/141 (51/84 SE)

J₄: 85/323 (53/85 NO)

J₅: 27/037 (127/27 NE)

J₆: 82/076 (166/82 NE)

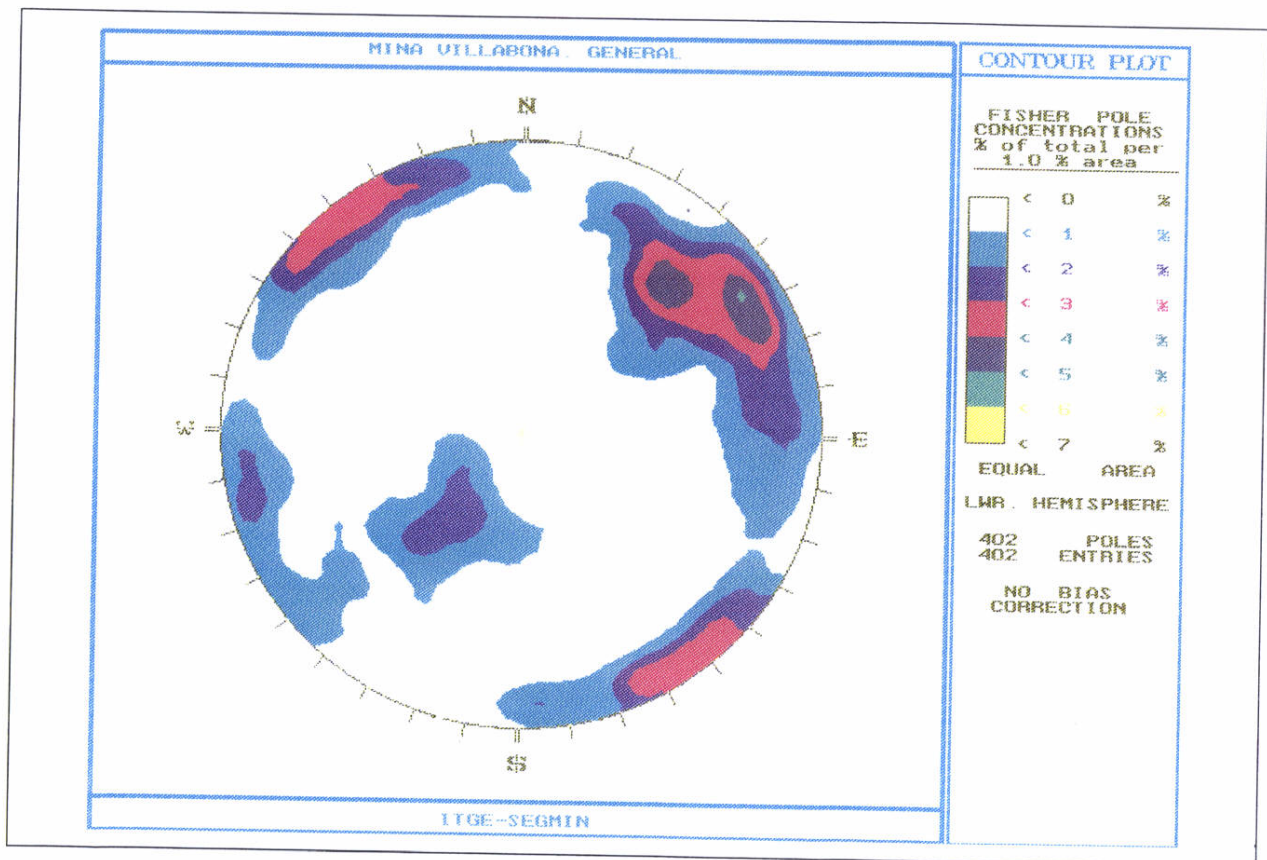


FIGURA Nº 1. Diagrama equiareal de polos de discontinuidades (General)

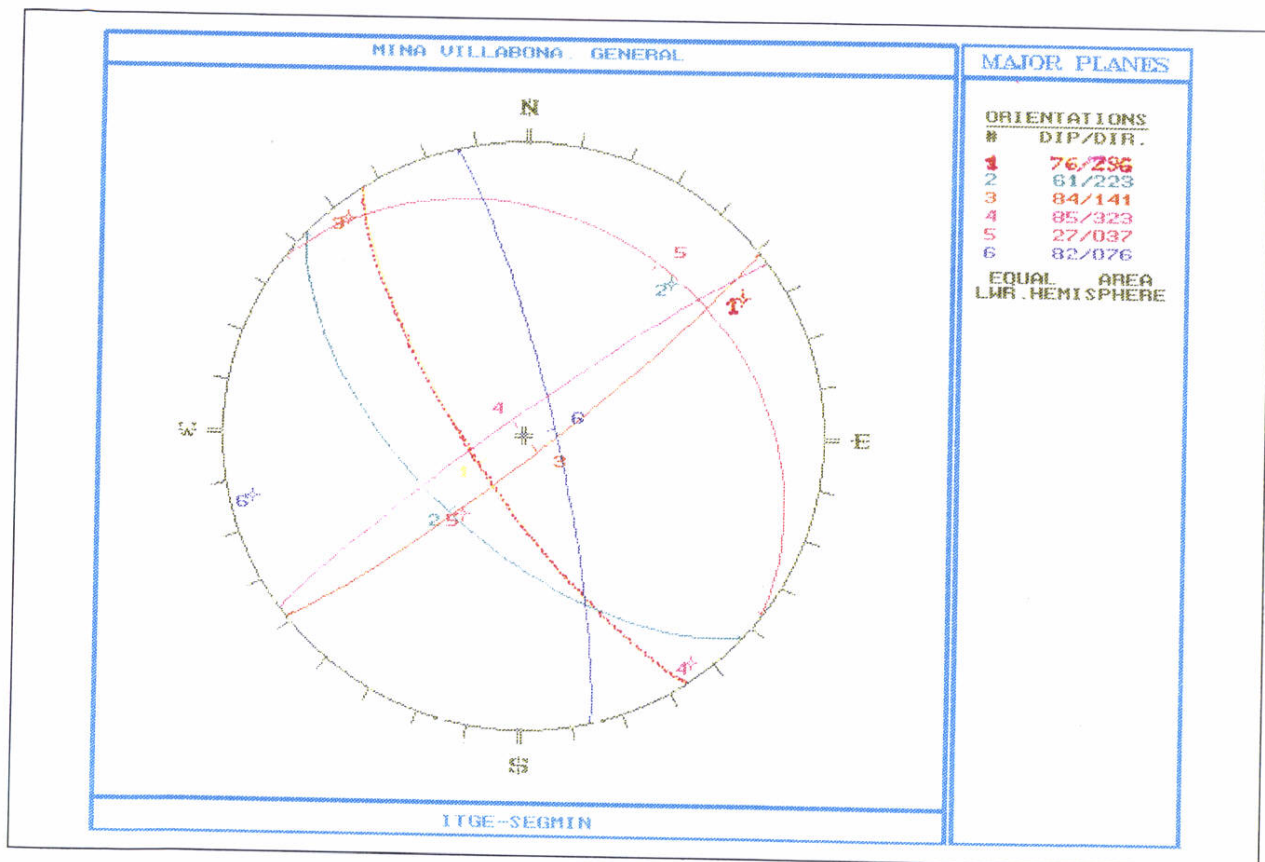
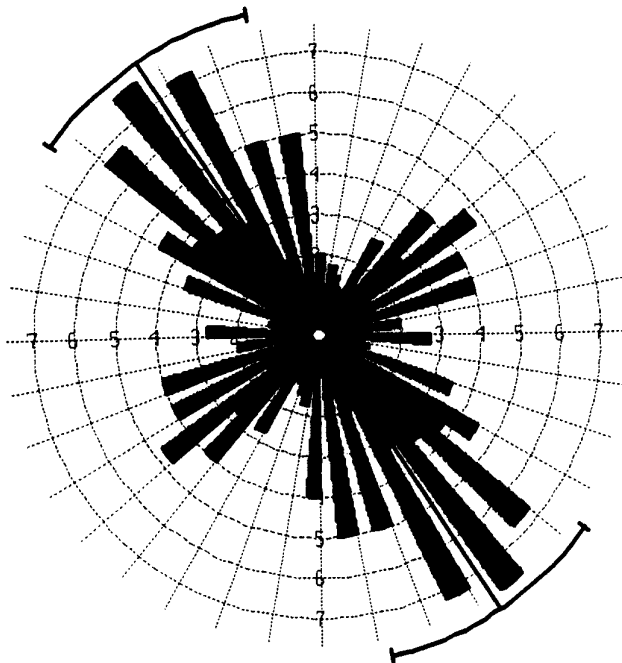


FIGURA Nº 2. Polos y planos de discontinuidades (General)



DISCONTINUIDADES (GENERAL)
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 402
 Maximum Percentage ... 7.7 Percent
 Mean Percentage 2.8 Percent
 Standard Deviation ... 1.92 Percent
 Vector Mean 327.13 Degrees
 Confidence Interval .. 20.83 Degrees
 R-mag 0.19

FIGURA Nº 3. *Diagrama de direcciones (General)*



Además de este análisis, que responde a las familias de fracturación existentes en la zona estudiada, se han realizado análisis parciales correspondientes a las 10 estaciones de medida. Las representaciones gráficas de estos análisis, pueden verse en el Anejo C. No obstante, en el cuadro N° 6 se muestran los principales resultados obtenidos.

ESTACIÓN	S ₀	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆
1	15/40	79/229	43/235	80/143	--	34/034	--
2	--	83/248	66/210	--	--	--	--
3	25/72	78/237	55/224	--	--	20/065	--
4	--	--	62/226	--	84/315	33/039	--
5	--	76/243	59/223	83/126	--	36/035	--
6	18/64	--	--	--	83/326	19/067	85/086
7	38/16	75/243	--	80/151	83/329	--	70/079
8	--	75/244	--	--	84/332	--	--
9	--	--	55/238	83/130	--	27/011	80/090
10	25/40	75/240	75/206	81/155	82/313	34/050	--

CUADRO N° 6. Discontinuidades principales en las diez estaciones de medida

De este análisis se deduce:

- * La estratificación S₀ ha sido identificada en el 50% de las estaciones. Puede englobarse dentro de la familia J₅.
- * Las familias J₁ y J₂, presentes en el 70% de las estaciones, presentan direcciones muy próximas de aproximadamente 145°-135° y buzamientos de 75°-60° al SO.
- * Las familias J₃ y J₄, presentes en el 50% de las estaciones, tienen el carácter de conjugadas, con dirección de aproximadamente 50°, perpendicular a las anteriores, y buzamiento de 85° al SE. y NO.
- * La familia J₅ está presente en el 70% de las estaciones, presentando una dirección de 125°-130° y buzamiento de 25°-30° al NE.
- * La familia J₆, presente sólo en las estaciones n^{as} 6, 7 y 9, presenta una dirección de aproximadamente 165° y buzamiento de 80° al NE.



Como resumen, en el cuadro N° 7 se presentan las características geomecánicas medias de las discontinuidades, distribuidas en sus seis principales familias.

Como puede observarse, en las estaciones de medida, no sólo se ha medido la orientación de las discontinuidades, sino también, en 40 de estas discontinuidades (cuatro por estación), características como: espaciado, continuidad, apertura, relleno y rugosidad (escala JRC). Asimismo, se han realizado un total de 40 series de 10 ensayos de esclerometría con el martillo Schmidt, modelo N, para valorar el índice JCS, rebote del martillo de las discontinuidades.

4.4.4. Propiedades mecánicas de las discontinuidades

Se pueden utilizar dos metodologías para establecer las propiedades mecánicas de las discontinuidades de los macizos rocosos. La primera de ellas, se basa en la realización de ensayos de corte directo de las discontinuidades en laboratorio. La segunda, está basada en estudios experimentales en los que se han utilizado propiedades principalmente geométricas de las juntas, para evaluar las características mecánicas de juntas sin relleno.

Con respecto a esta segunda metodología, BARTON y CHOUBEY (1974) ha obtenido la siguiente expresión para la resistencia de pico al corte de una discontinuidad, basándose en ensayos realizados sobre juntas rugosas:

$$\tau = \sigma_n \cdot \text{tg} \left[\text{JRC} \cdot \log \left(\frac{\text{JCS}}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right]$$

siendo

τ = resistencia de pico al corte

σ_n = tensión efectiva normal sobre la discontinuidad

JRC = coeficiente de rugosidad de la discontinuidad

JCS = resistencia a compresión simple de los labios de la discontinuidad

ϕ_r = ángulo residual de fricción



DISCONTINUIDAD	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO	JRC	JCS (R)	ESP. (m)	AP. (mm)	CONT. (m)	RELLENO
J ₁	76 (± 10°)	236 (± 15°)	7 (4-10)	35	0,030-0,225	1-5/>5	1-3/>3	Arcilla, fluorita
J ₂	61 (± 5°)	223 (± 20°)	6 (2-10)	40	0,030-0,160	1-4	1-3/>3	Arcilla
J ₃ -J ₄	84 (± 15°)	141 (± 35°)	8 (4-14)	35	0,058-0,138	1-6	1-3/>3	Arcilla
J ₅ -S ₀	27 (± 12°)	37 (± 35°)	7 (6-8)	28	0,060	1	>3	Arcilla
J ₆	82 (± 10°)	76 (± 25°)	5 (2-8)	40	0,025-0,120	1-5	1-3/>3	Arcilla

CUADRO N° 7. Características geomecánicas de las discontinuidades



Este valor de τ depende de forma no lineal de la tensión normal σ_n actuando sobre la junta. La forma de proceder para obtener c y ϕ , consiste en linealizar la curva de resistencia intrínseca mediante una secante que pase por la tensión "in situ", estimada en 4 MPa y un segundo estado tensional descomprimido, valorado en 0,8 MPa.

Para determinar el valor de ϕ_r , supuesto conocido ϕ_b (ángulo básico de fricción) BARTON y CHOUBEY (1974) han propuesto la siguiente expresión:

$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20 \cdot r / R$$

siendo:

R= rebote del martillo Schmidt en superficies secas sin meteorizar

r= rebote del martillo Schmidt en la superficie húmeda meteorizada

En el caso de este estudio, con un $\phi_b = 32^\circ$ (tomado de la bibliografía) y $R = 45$ y $r = 26$, obtenidos de datos de campo, se obtiene para ϕ , el valor de 24° .

En el cuadro Nº 8 se muestran los valores calculados de c y ϕ de las discontinuidades.

4.5. Ensayos de laboratorio

Se han tomado para la realización de diversos ensayos geotécnicos 28 muestras del macizo en el entorno de la zona de estudio, correspondiendo 12 de ellas al techo, 7 a la capa mineralizada y las 9 restantes al muro. De estas muestras, 24 se han extraído de cajas de testigos pertenecientes a 9 sondeos: 81-1 a 81-3, 1-V, 2-V, 9-V, 90-2, 90-7 y 90-8, cuyos emplazamientos pueden verse en el plano Nº 3 (Anejo A). Las 4 muestras restantes se han recogido del apilamiento de mineral y todo-uno existente en el exterior de la mina.

Actualmente se está procediendo a la preparación de probetas a partir de dichas muestras (testigos de sondeos y piedras), que se utilizarán para la ejecución de los ensayos, y de los que no se dispone de resultados a la hora de redactar este estudio.

Una vez terminados estos ensayos, serán analizados y sus resultados se incluirán en un informe adicional y complementario de este estudio geotécnico.



FAMILIA	BUZAMIENTO (°)	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO (°)	ϕ (°)	c (t/m ²)	ESPACIADO (m)	CONTINUIDAD (m)
J ₁	76	236	29,0	12,2	0,115	>3
J ₂	61	223	29,0	10,3	0,090	>3
J ₃	84	141	29,5	14,3	0,090	>3
J ₅	27	37	27,5	11,7	0,060	>3
J ₆	82	76	28,0	8,3	0,070	>3

CUADRO N° 8. Valores calculados de c y ϕ de las discontinuidades



4.6. Capacidad portante de los pilares

Los ensayos experimentales muestran que hay una reducción de la resistencia de las rocas al aumentar el tamaño de la muestra.

Según diversos investigadores, por encima de un tamaño de muestra, denominado "tamaño crítico", no existe una disminución apreciable de la resistencia. El interés de la existencia de este tamaño crítico reside en que es posible utilizar directamente los resultados sobre resistencia obtenidos en ensayos con muestras suficientemente grandes.

La mayoría de los investigadores fijan el tamaño crítico de las probetas cúbicas en torno a los 90 cm de lado, cuando se trata de carbón. Sin embargo, en probetas de rocas no se ha señalado ningún valor que defina el tamaño crítico. En el caso de explotaciones en carbón, existen numerosas correlaciones entre la resistencia a compresión simple de muestras de diversos tamaños, por lo que es posible prescindir de ensayos a escala real de pilares en el diseño de explotaciones.

Además del referido efecto de escala en la resistencia de los pilares en función del tamaño de la muestra, también existe una dependencia de la resistencia de los mismos en función de su forma, definida por su esbeltez, es decir, de la relación W/H , donde W es el ancho de un pilar cuadrado y H su altura. En este estudio se adopta como valor de la resistencia σ_p de un pilar cuadrado de lado W y altura H , el definido por la relación de OBERT y DUVALL (1967), para rocas en general:

$$\sigma_p = \sigma_c \left(0,778 + 0,222 \cdot \frac{W}{H} \right)$$

donde,

σ_c es la resistencia a la compresión simple del pilar obtenida de la relación propuesta por HOEK y BROWN (1980), teniendo en cuenta que en probetas de roca no se ha investigado el tamaño crítico:



$$\sigma_c = \sigma_{50} \left(\frac{0,05}{d} \right)^{0,18}$$

donde,

σ_{50} es la resistencia a la compresión simple de una probeta cilíndrica de 50 mm de diámetro (probeta de laboratorio).

d es la longitud en metros del lado del pilar, supuesto de sección cuadrada.

5.- ANALISIS DE LA ESTABILIDAD

En lo que sigue se estudia y analiza el comportamiento geomecánico del terreno, en relación con la estabilidad de las cámaras y pilares, tanto a nivel global como local, así como los movimientos del terreno sobre la explotación y su posible repercusión en superficie (subsistencia).

5.1. Estabilidad de las cámaras y pilares

El método de cámaras y pilares es un procedimiento de laboreo en el cual la extracción se produce abriendo un conjunto de huecos o cámaras, dejando parte del mineral en forma de pilares con objeto de sostener el techo de las cámaras. Los pilares deben estar dimensionados para soportar las tensiones verticales naturales y las producidas por las excavaciones.

En este apartado se analiza el nivel de tensiones normales a que están sometidos los pilares, evaluándose sus coeficientes de seguridad a la rotura.

Se han utilizado dos métodos de análisis. El primero de ellos es un método clásico conocido como "Método del área atribuida". Es un método aproximado que, sin embargo, por su relativa fácil aplicación y dado que conlleva resultados conservadores, sigue siendo muy popular en el diseño de explotaciones por cámaras y pilares.

El segundo de los métodos utilizados se trata de un modelo numérico integral basado en el conocido método de los Elementos de Contorno, que permite el cálculo de la



distribución de las tensiones normales en los pilares, así como de la distribución de las deformaciones tanto en los pilares como en los techos de las cámaras.

5.1.1. Método del área atribuida

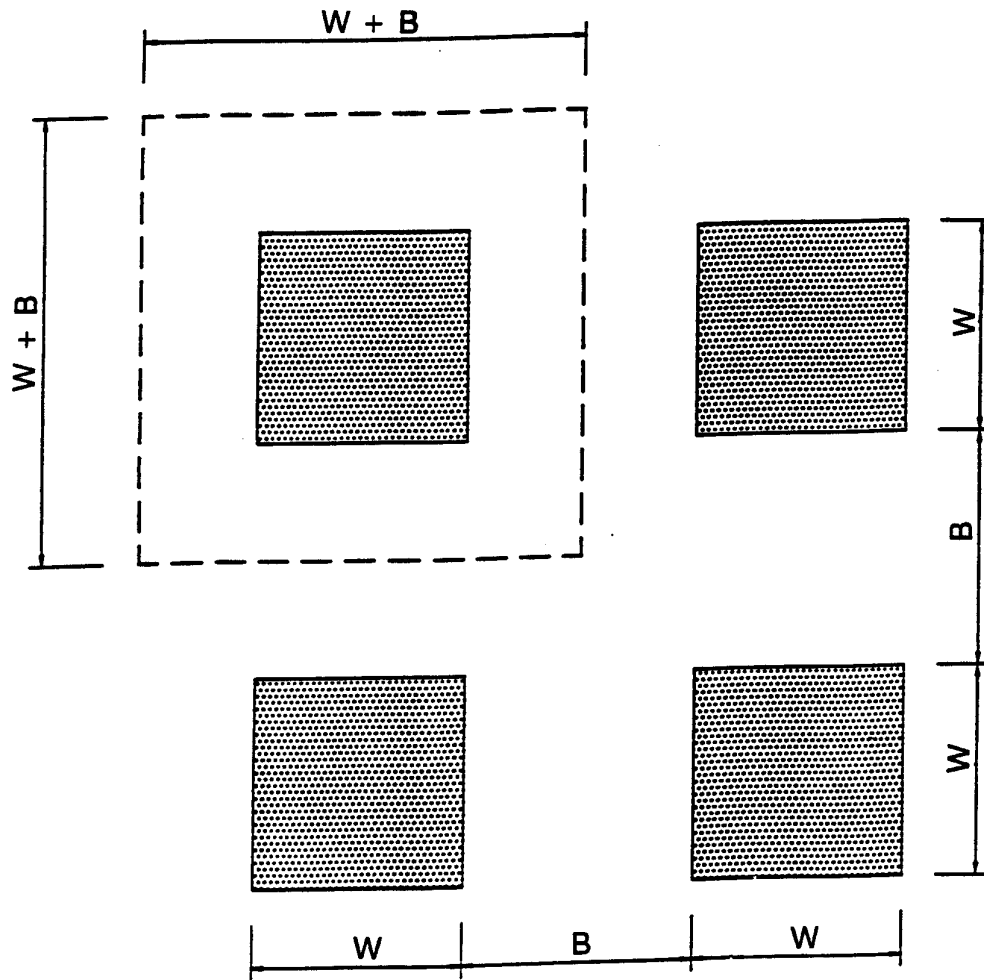
El método del área atribuida asume que cada pilar debe soportar el peso del terreno que gravita sobre él y sobre la mitad de cada una de las cámaras que hay en cada cara del pilar. La figura 4 ilustra este concepto.

Para calcular el área de cada pilar, y de su área atribuida, se ha digitalizado el plano de labores que corresponde a la zona de estudio (plano N° 1 del Anejo A), así como de los contornos de las áreas establecidas como áreas atribuidas, calculándose con ayuda del programa AUTOCAD las áreas correspondientes a cada uno de los pilares y a cada una de sus áreas atribuidas. Los datos correspondientes al recubrimiento son los obtenidos según la metodología de cálculo señalada en el apartado 4.3.2. Todos los datos han sido procesados con la hoja de cálculo LOTUS 1-2-3 para Windows, obteniéndose las tensiones medias sobre los pilares que se incluyen en el Anejo D.

En esta misma hoja de cálculo se incluyen también los resultados obtenidos para las tensiones admisibles de los pilares, de acuerdo con la relación expuesta en el apartado 4.6. Se ha considerado que el ancho del pilar W , es la raíz cuadrada del área del mismo, lo que equivale a considerar todos los pilares cuadrados.

Finalmente, se han obtenido por el cociente entre la tensión admisible y la tensión media de los pilares, los coeficientes de seguridad de los mismos, que figuran en la última columna de la hoja de cálculo antes indicada.

Sólo en dos pilares, los I-21 e I-27, la tensión media supera la tensión admisible. El número de pilares con coeficientes de seguridad inferior a 1,5 es de doce (inferior al 7% del total), en esta aproximación conservadora del método del área atribuida. En todo caso, con las estimaciones hechas y descontando macizos y pilares de grandes dimensiones, considerando como tales los de sección superior a 200 m², el coeficiente de seguridad medio y por regiones geotécnicas es superior a 2, como puede verse en el cuadro N° 9. Los valores del coeficiente de seguridad medio de pilares en las regiones geotécnicas I, III y IV son prácticamente similares (entre 2,40 y 2,50), mientras que en la II se tiene el valor de 3,60 superior a los anteriores. La media general resulta ser de 2,90.



W = ancho del pilar

B = ancho de la cámara

γ = peso específico del recubrimiento

h = altura del recubrimiento

σ_p = tensión media sobre el pilar

$$\sigma_p = (1 + B / W)^2 \cdot \gamma \cdot h$$

FIGURA Nº 4. Teoría del área atribuida



REGION	Nº DE PILARES	COEFICIENTE DE SEGURIDAD (Valor medio)
I	17	2,45
II	60	3,60
III	58	2,50
IV	22	2,40
GENERAL	157	2,90

CUADRO N° 9. Coeficientes de seguridad de pilares

5.1.2. Modelo numérico continuo

Los modelos continuos son modelos matemáticos que resuelven un tipo de problemas en los que el comportamiento del macizo rocoso puede ser modelizado por medio de las ecuaciones diferenciales de la mecánica de los medios continuos. Dentro de los modelos continuos se encuentran los modelos integrales, que utilizan las soluciones fundamentales de la mecánica de los medios continuos para resolver problemas más complejos. A estos modelos integrales corresponden el método de los Elementos de Contorno, Desplazamiento Discontinuo y el de Integrales de Contorno.

El uso de los métodos de Elementos de Contorno y Desplazamiento Discontinuo, exige asumir un comportamiento tenso-deformacional lineal del macizo rocoso, por lo que resultan adecuados para simular excavaciones en rocas duras a profundidades moderadas, como es el caso del macizo rocoso del yacimiento mineral en estudio.

En los análisis realizados, se ha utilizado el programa BESOL/MS (Boundary Element Solutions/Multiple Seam), versión 2.0, de Geologic Research, Inc., Minnesota (Estados Unidos).

El BESOL/MS es un programa geotécnico de simulación de labores mineras en yacimientos tabulares. Su fundamento matemático se basa en el método de modelización de Desplazamiento Discontinuo, una forma especial del método de Elementos de Contorno.



Este programa tiene aplicación en problemas tridimensionales y permite analizar casos de yacimientos multicapa. La única limitación geométrica impuesta es que todas las capas modelizadas deben tener la misma dirección, pudiendo variar el buzamiento de las mismas. Como caso especial es posible simular capas falladas, en las que el movimiento relativo de las caras de la falla sea puramente traslacional, para ello es necesario individualizar las dos partes del estrato.

El BESOL/MS permite también simular, si se requiere, la secuencia real de extracción de los materiales de las capas y la posible implantación de materiales de relleno en los huecos, con lo que se conseguiría una imagen realista del estado tensional en cada momento.

En definitiva, el programa calcula tensiones, deformaciones y desplazamientos alrededor de excavaciones tridimensionales en yacimientos tabulares.

Para la aplicación de este programa y metodología correspondiente, es necesario asumir las dos siguientes hipótesis simplificadoras:

- * Superficie horizontal
- * Terreno homogéneo e isótropo, constituido por materiales de comportamiento linealmente elástico.

Para los análisis con el BESOL/MS, y al objeto de contrastar los datos obtenidos con el método del área atribuida, se han elegido dos zonas, tal cual aparecen en el plano N^o 6 (Anejo A). La zona 1, situada en la región geotécnica II en su parte meridional y junto a la falla principal, comprende 10 pilares y la zona 2, que se ha situado en la parte septentrional de la región geotécnica IV, comprende otros 10 pilares. A continuación se detallan los resultados obtenidos para las dos zonas.

a) Zona 1

Se ha partido de los siguientes datos:

- Techo y muro

Módulo de Young:	9,2 x 10 ³ MPa
Coefficiente de Poisson:	0,2
Densidad:	2,65 t/m ³
Recubrimiento medio:	140 m



Relación entre tensiones
horizontales y verticales: 0,5

- Capa

Módulo de Young: $8,4 \times 10^3$ MPa
Coeficiente de Poisson: 0,2
Módulo de rigidez transversal: $3,5 \times 10^3$ MPa
Densidad: $2,60 \text{ t/m}^3$
Potencia media: 3,25 m
Buzamiento (calculado): $126^\circ/13^\circ \text{ NE}$.

En las figuras 5, 6 y 7 se han representado, sobre una ventana que abarca a los pilares N11, N13 y N14, la distribución de tensiones normales sobre los pilares, los desplazamientos verticales de techo y pilares, y las convergencias de techo y muro, respectivamente.

De la figura 5 puede deducirse un menor nivel de tensiones que el calculado con el método del área atribuida, aproximadamente un 31% de media menos (cuadro N° 10), lo cual es debido a que dicho método no tiene en cuenta, por una parte, que los pilares de menos sección, al ser menos rígidos, adquieren un menor nivel de carga, y por otra, que las presiones del terreno pueden, por efecto arco, descargarse en parte sobre los límites de la excavación o sobre los macizos de protección.

PILAR	TENSIONES NORMALES (MPa)	
	BESOL (media ponderada)	MÉTODO AREA ATRIBUIDA
N11	10,32	15,36
N13	11,35	17,56
N14	10,04	13,32

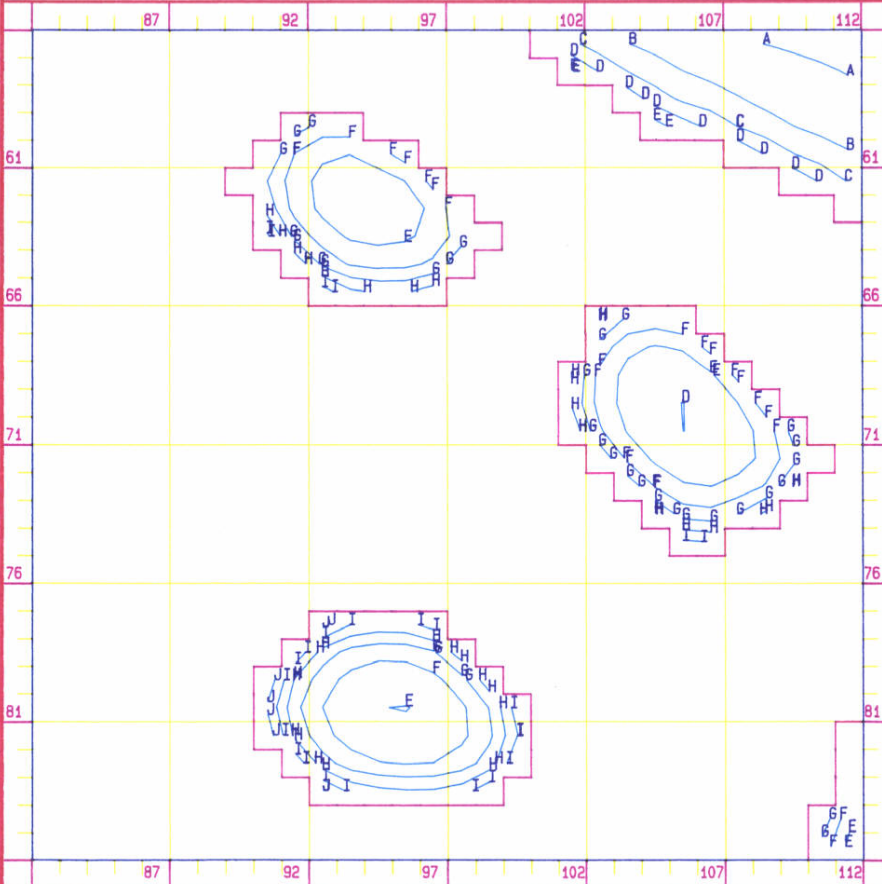
CUADRO N° 10. Tensiones normales sobre pilares (zona 1)

De la figura 6 se deduce que el desplazamiento máximo se produce en el techo de las cámaras, alcanzando un valor de 5,5 mm, mientras que en el centro de los pilares el desplazamiento máximo es sólo de 1-1,5 mm. En cuanto a la convergencia (figura 7), su valor máximo es de 11,2 mm.

MSPOSTA - contour plot of zz-stress (SZZ)

Dept. Matematica Aplicada

JOB TITLE: zona1



Plot File Name: ZONA1.PLT
 Mining Step Number: 1
 Window Number: 1

LEGEND

Window Information:

Number of rows = 30
 Number of columns = 30
 Element side length = 0.7
 Maximum value = 14.7376
 Minimum value = 4.7327

Geometric Information:

- Mining Geometry
- Complete Closure Geometry
- Backfill Geometry

Contour Intervals:

A	----	5
B	----	6
C	----	7
D	----	8
E	----	9
F	----	10
G	----	11
H	----	12
I	----	13
J	----	14

GeoLogic Research, Inc.

FIGURA Nº 5. Zona 1. Isolneas de tensiones verticales (MPa)

MSPOSTB - contour plot of z-displacement (UZ+)

Dept. Matematica Aplicada

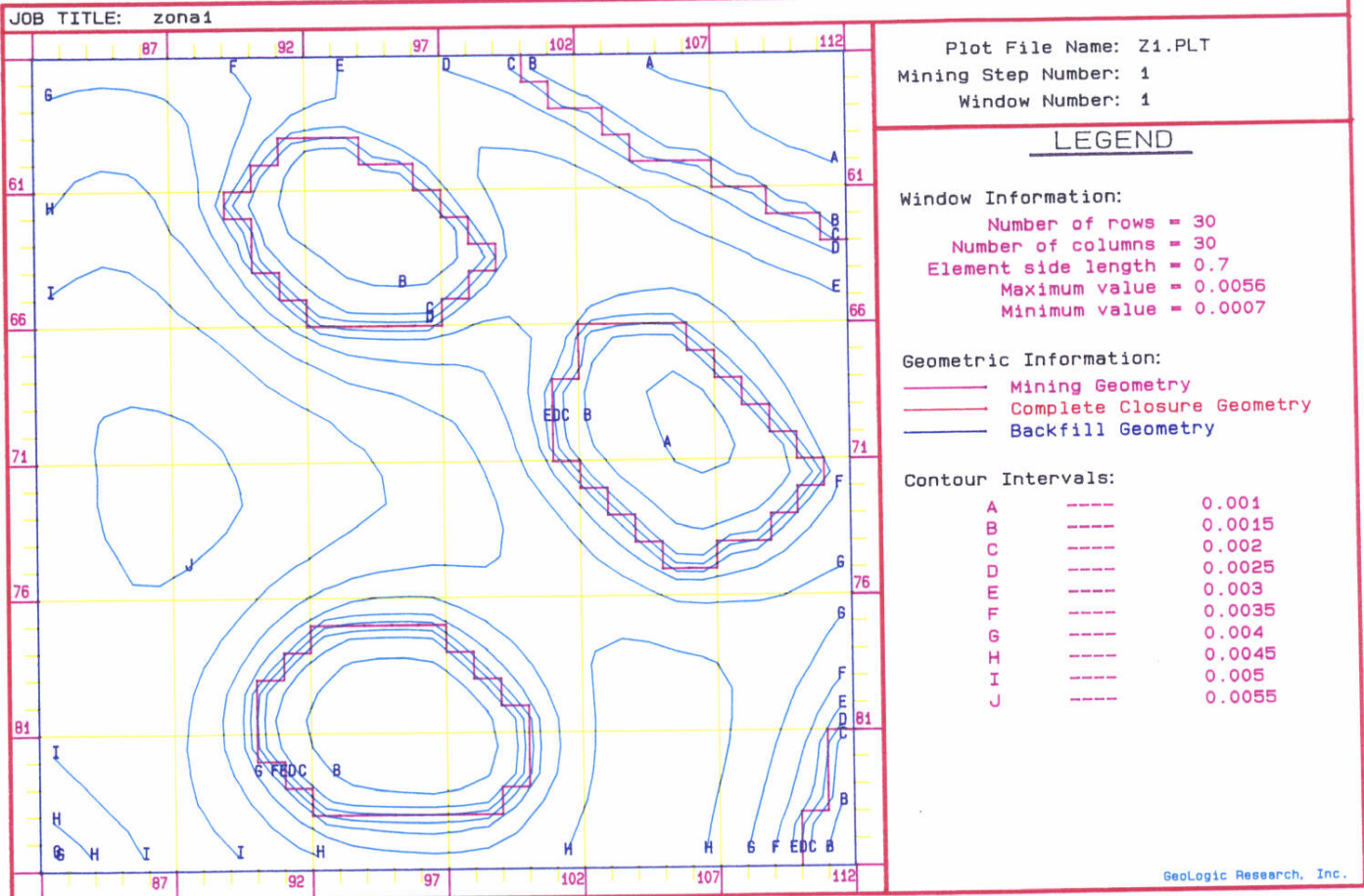
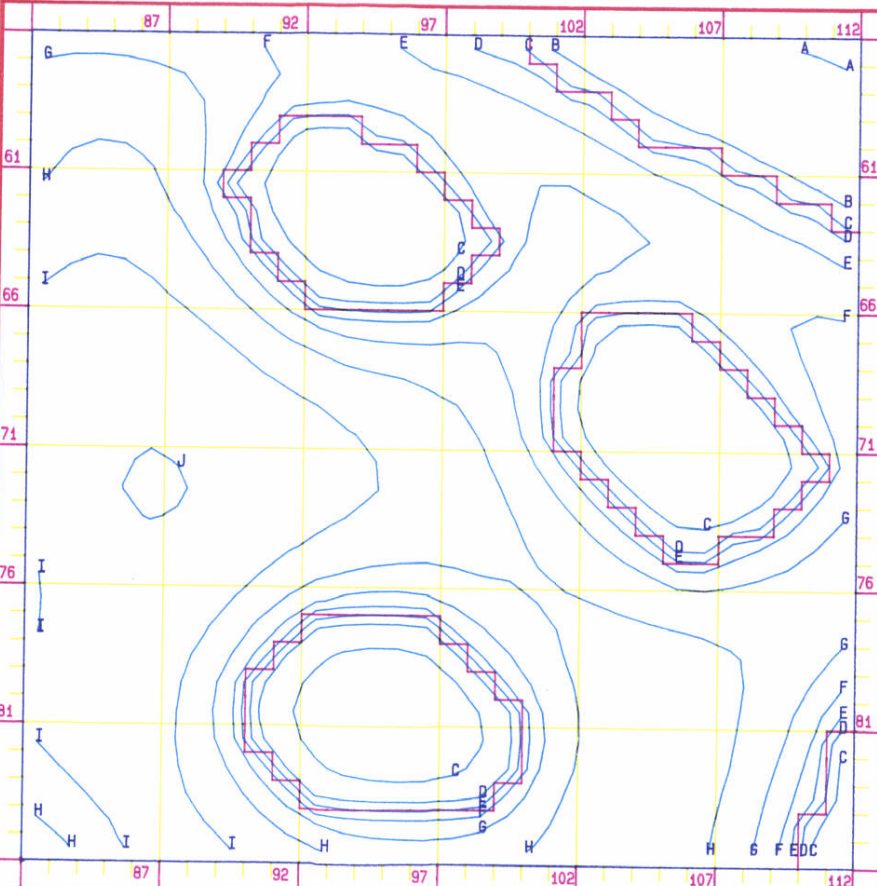


FIGURA Nº 6. Zona 1. Isolíneas de desplazamientos verticales (m)

MSPOSTA - contour plot of closure (DZ)

Dept. Matematica Aplicada

JOB TITLE: zona1



Plot File Name: ZONA1.PLT
 Mining Step Number: 1
 Window Number: 1

LEGEND

Window Information:

Number of rows = 30
 Number of columns = 30
 Element side length = 0.7
 Maximum value = 0.0112
 Minimum value = 0.0003

Geometric Information:

- Mining Geometry
- Complete Closure Geometry
- Backfill Geometry

Contour Intervals:

A	----	0.0004
B	----	0.0016
C	----	0.0028
D	----	0.004
E	----	0.0052
F	----	0.0064
G	----	0.0076
H	----	0.0088
I	----	0.01
J	----	0.0112

GeoLogic Research, Inc.

FIGURA Nº 7. Zona 1. Isolneas de convergencias (m)



b) Zona 2

Se ha partido de los mismos datos para techo, muro y capa que en la zona 1, a excepción de los siguientes:

- Techo
 - Recubrimiento medio: 204,50 m
- Capa
 - Potencia media: 3,40 m
 - Buzamiento (calculado): 109/14°

En las figuras 8 a 13 se han representado igualmente, sobre dos ventanas que abarcan a los pilares D13, D14 y D18, la distribución de tensiones normales sobre los pilares, los desplazamientos verticales de techo y pilares, y las convergencias de techo y muro, respectivamente.

Como sucedía en la zona 1, el nivel de tensiones (figuras 8 y 9) es menor que el calculado con el método del área atribuida (cuadro N° 11), en este caso un 23,5% de media menos.

PILAR	TENSIONES NORMALES (MPa)	
	BESOL (media ponderada)	MÉTODO AREA ATRIBUIDA
D13	13,28	17,53
D14	12,36	16,68
D18	11,66	14,69

CUADRO N° 11. Tensiones normales sobre pilares (zona 2)

De las figuras 10 y 11 se deduce que en esta zona 2 el desplazamiento máximo, se produce también en el techo de las cámaras, con un valor de 6,3 mm, mientras que en el centro de los pilares el desplazamiento es de 0,8-1,3 mm. En cuanto a la convergencia (figuras 12 y 13), su valor máximo es de 12,6 mm.

MSPOTA - contour plot of zz-stress (SZZ)

Dept. Matemática Aplicada

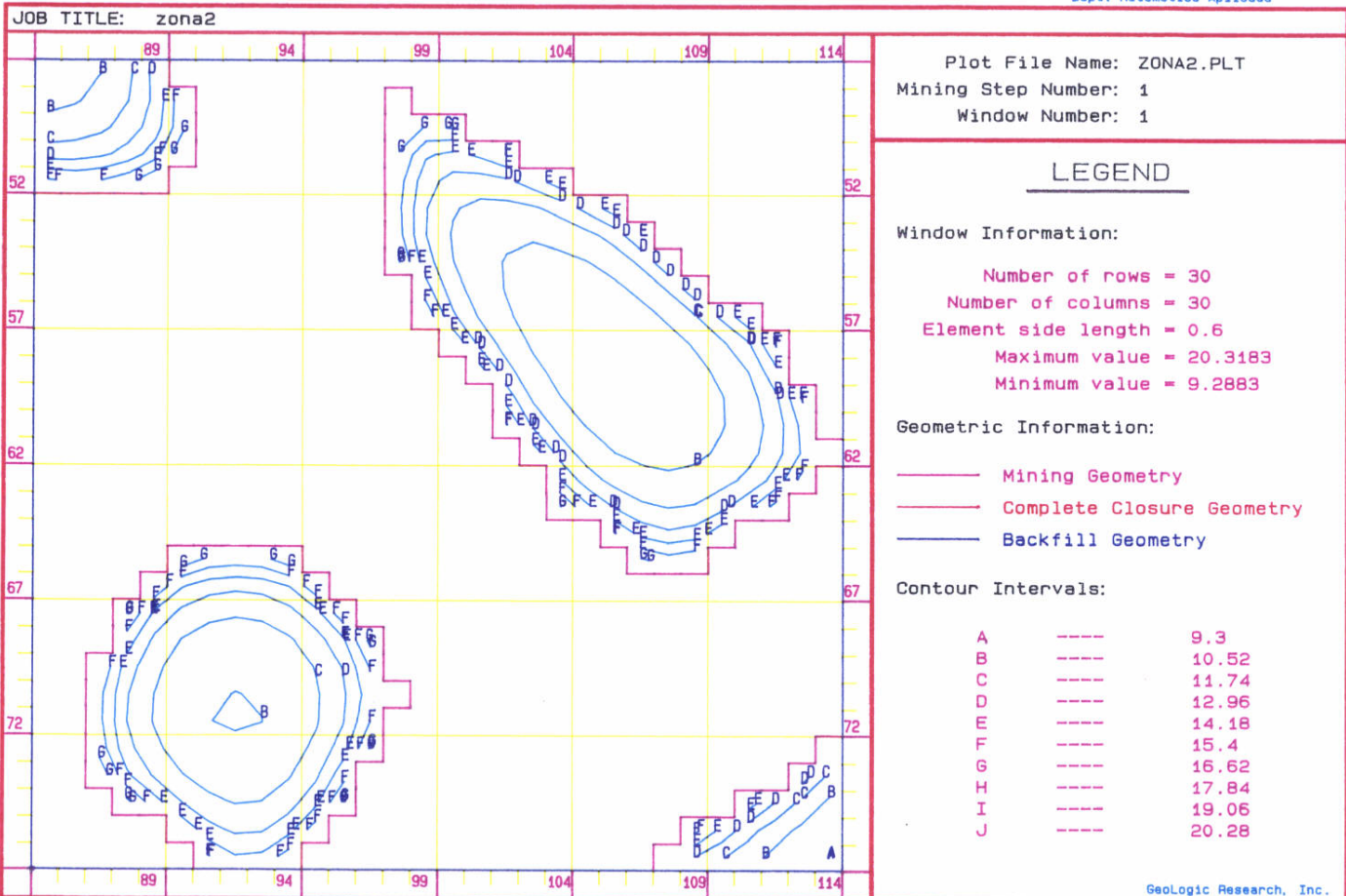


FIGURA Nº 8. Zona 2 (ventana 1). Isolíneas de tensiones verticales (MPA)

MSPOSTA - contour plot of zz-stress (SZZ)

Dept. Matemática Aplicada

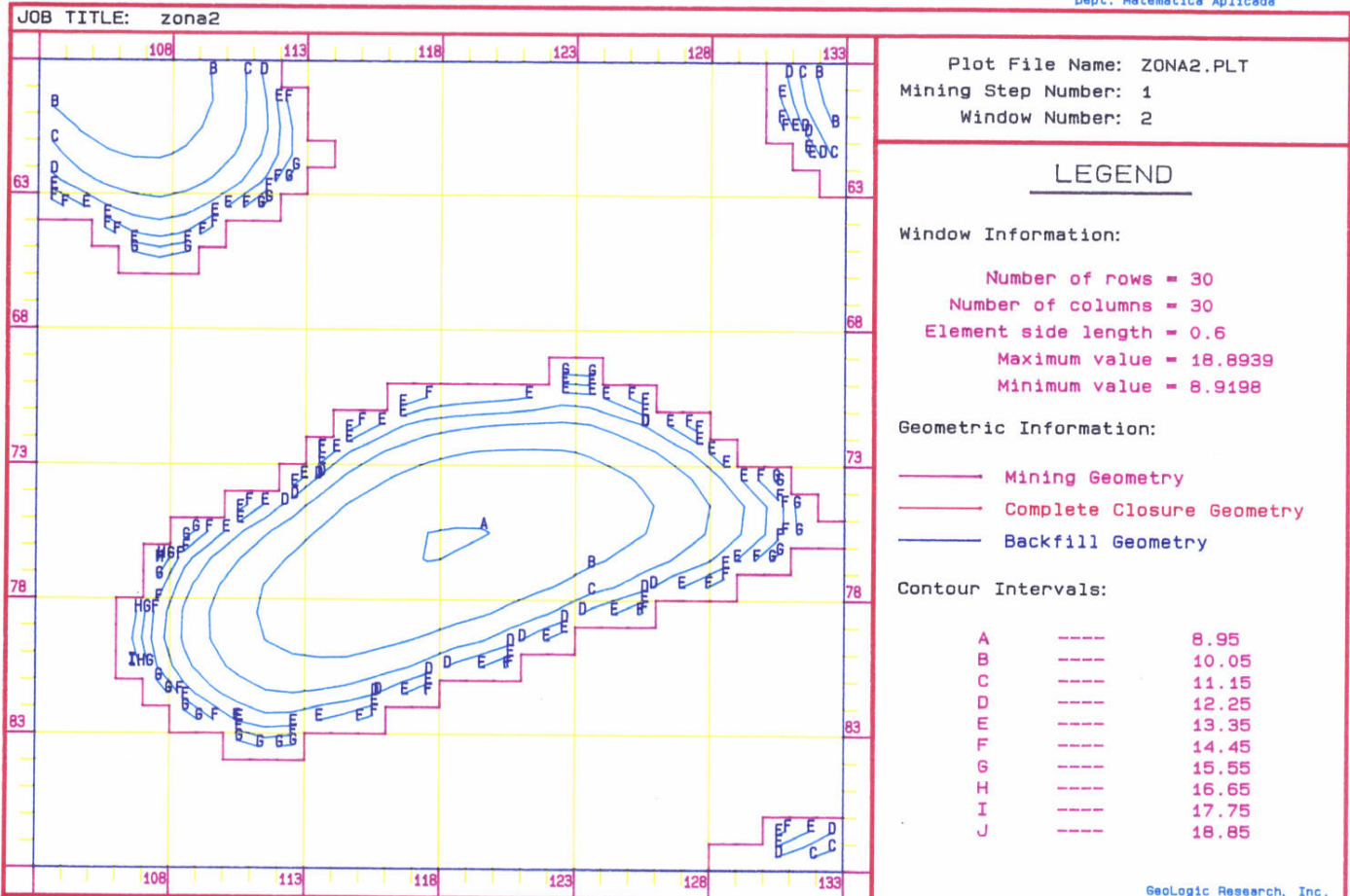


FIGURA Nº 9. Zona 2 (ventana 2). Isolneas de tensiones verticales (MPa)

GeoLogic Research, Inc.

MSP0STB - contour plot of z-displacement (UZ+)

Dept. Matematica Aplicada

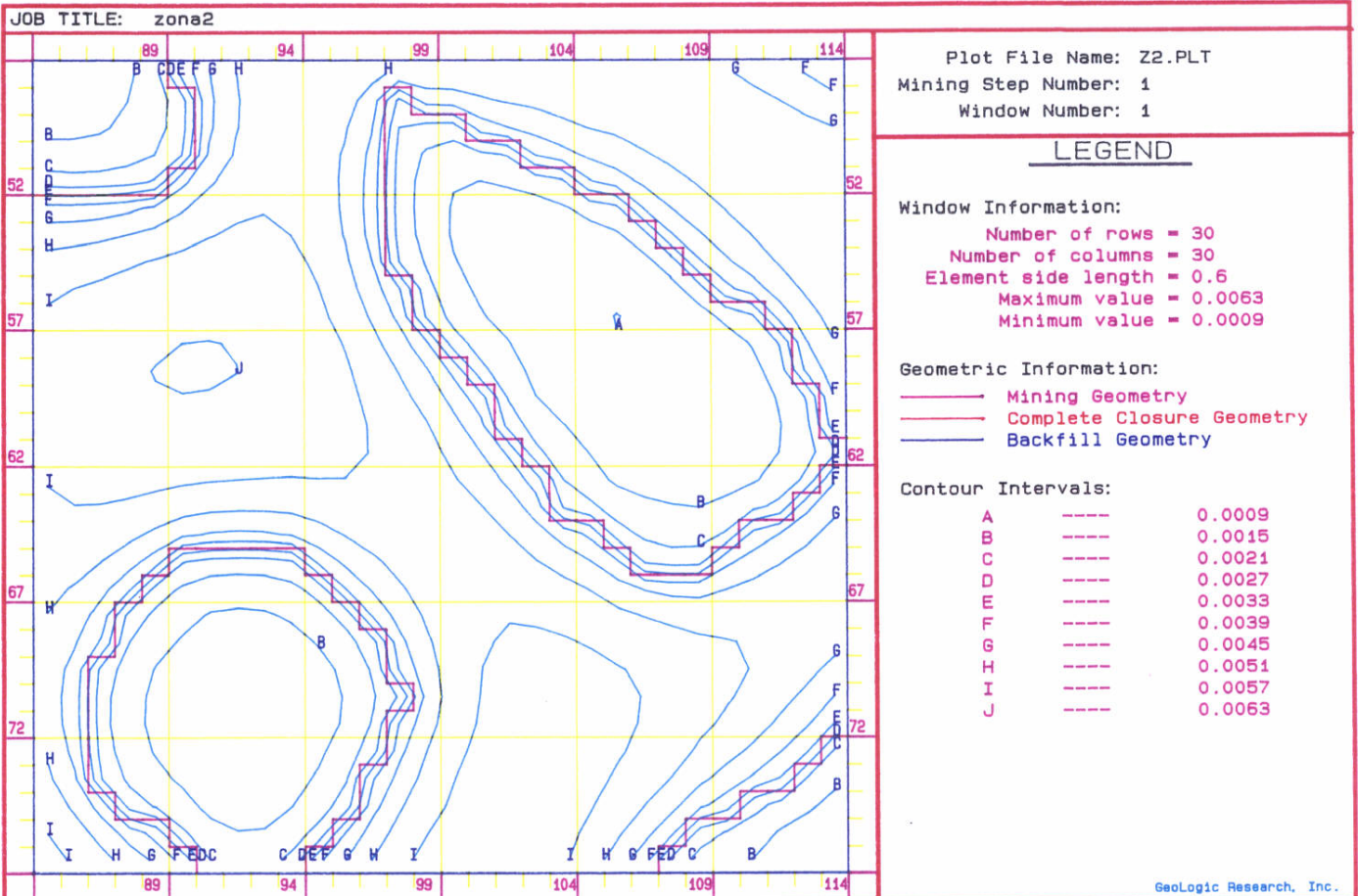


FIGURA Nº 10. Zona 2 (ventana 1). Isolíneas de desplazamientos verticales (m)

MSPOSTB - contour plot of z-displacement (UZ+)

Dept. Matematica Aplicada

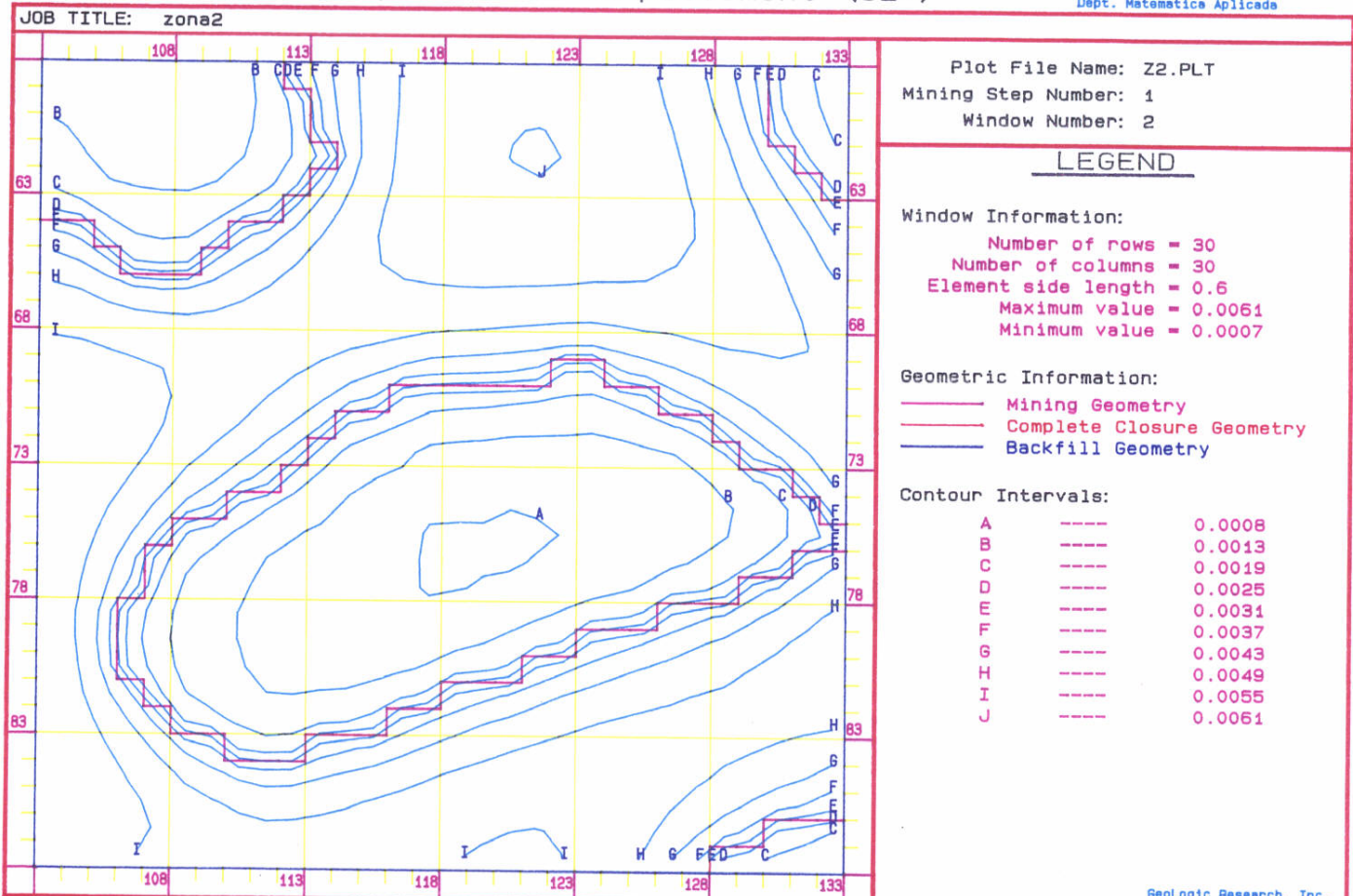
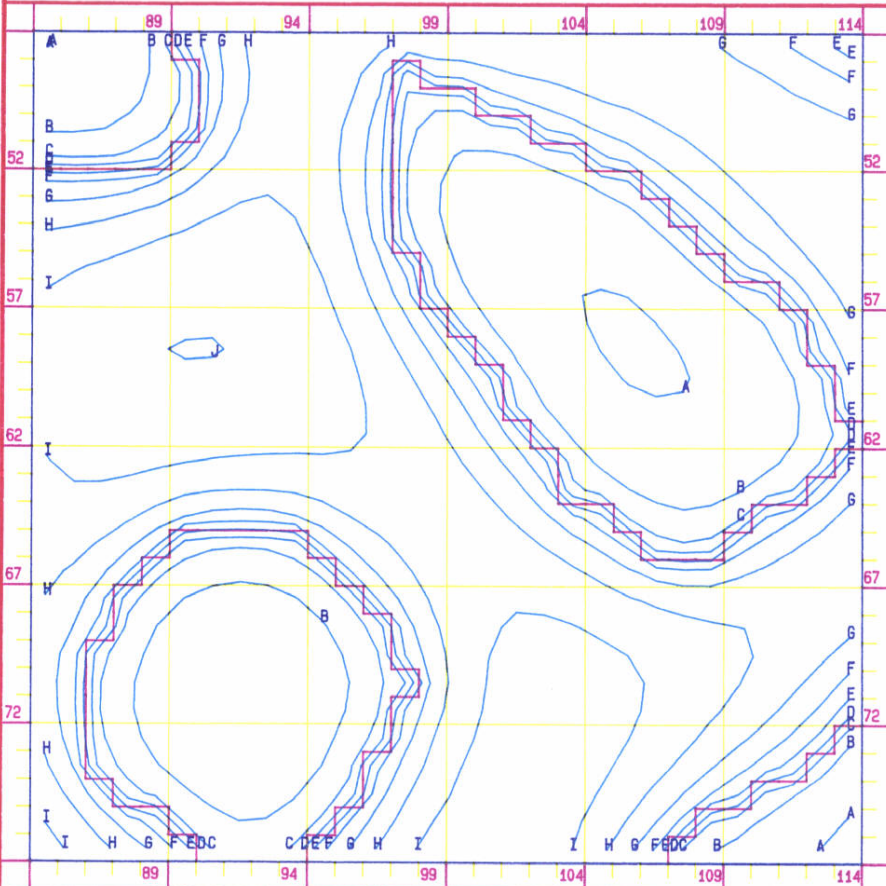


FIGURA Nº 11. Zona 2 (ventana 2). Isolíneas de desplazamientos verticales (m)

MSPOSTA - contour plot of closure (DZ)

Dept. Matemática Aplicada

JOB TITLE: zona2



Plot File Name: ZONA2.PLT
 Mining Step Number: 1
 Window Number: 1

LEGEND

Window Information:

Number of rows = 30
 Number of columns = 30
 Element side length = 0.6
 Maximum value = 0.0126
 Minimum value = 0.0016

Geometric Information:

- Mining Geometry
- Complete Closure Geometry
- Backfill Geometry

Contour Intervals:

A	----	0.0018
B	----	0.003
C	----	0.0042
D	----	0.0054
E	----	0.0066
F	----	0.0078
G	----	0.009
H	----	0.0102
I	----	0.0114
J	----	0.0126

GeoLogic Research, Inc.

FIGURA Nº 12. Zona 2 (ventana 1). Isolíneas de convergencias (m)

MSPOSTA - contour plot of closure (DZ)

Dept. Matematica Aplicada

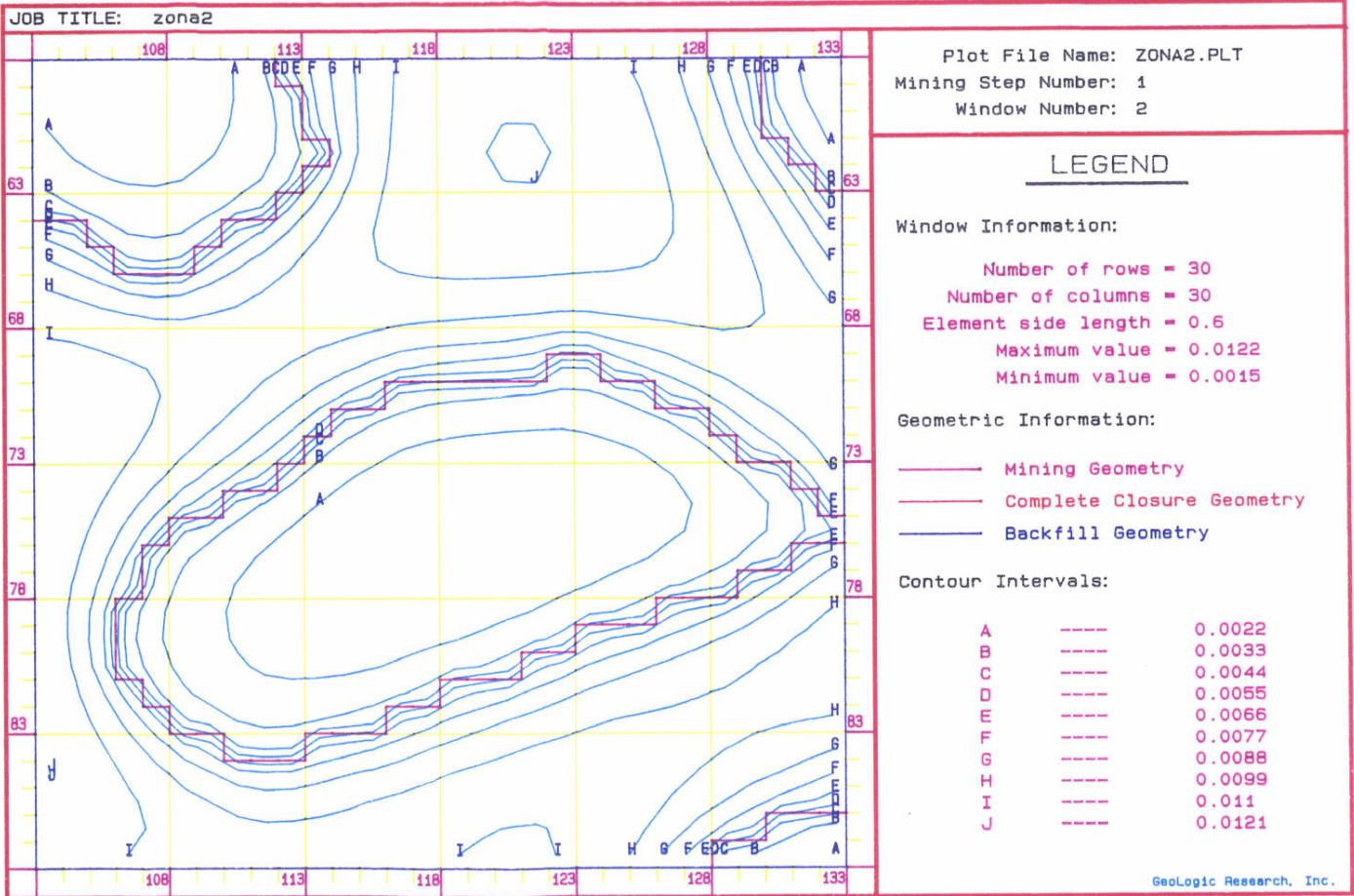


FIGURA Nº 13. Zona 2 (ventana 2). Isolneas de convergencias (m)



5.1.3. Comparación de resultados

A la vista de los resultados obtenidos en el cálculo de tensiones en las dos zonas 1 y 2, puede afirmarse:

- * El método del área atribuida da tensiones superiores al modelo numérico (programa BESOL de elementos de contorno), siendo por lo tanto, más conservador. En el caso de las dos zonas estudiadas, el resultado ha dado, para el área atribuida tensiones entre 1,30 (zona 2) y 1,45 (zona 1) veces superiores a las obtenidas con el BESOL. Teniendo esto en cuenta, ni un sólo pilar quedaría con coeficiente de seguridad estimado por debajo de la unidad.
- * El método del área atribuida resulta más adecuado a la hora de adaptarse a una superficie topográfica variable del recubrimiento de la explotación, por lo que resulta de utilidad para dar una idea clara de la carga relativa de los distintos pilares de la explotación.
- * El modelo numérico permite una definición más ajustada, pudiendo valorarse las diferentes geometrías de la explotación y la influencia de la proximidad de los pilares a los bordes de la misma, así como las zonas sobretensionadas de los pilares y el efecto estabilizador de las tensiones horizontales. Además, el modelo numérico permite calcular, como proceso subsiguiente, las deformaciones y desplazamientos en la zona de estudio.

5.2. Estabilidad del techo inmediato

En los techos de las cavidades subterráneas practicadas en terrenos sedimentarios con estratificación subhorizontal se pueden diferenciar dos zonas, la parte superior y la parte más próxima a la excavación; esta última se denomina "techo inmediato" y comprende uno o más estratos que se han despegado del resto de los estratos superiores. El despegue es debido a que en formaciones sedimentarias los estratos son planos y sus uniones son débiles.

La carga que actúa en el techo inmediato es sólo su peso propio, ya que después del despegue del techo, dejan de actuar las fuerzas litostáticas de los estratos superiores.



En estos casos, se puede estudiar la estabilidad del techo inmediato asimilándolo a una serie de vigas de anchura unidad empotradas por sus dos extremos en los pilares.

Aplicando la teoría de las vigas, RAMÍREZ OYANGUREN (1991) propone una fórmula para el cálculo del coeficiente de seguridad a la rotura por flexión:

$$F = \frac{2 \cdot T_0 \cdot t}{\gamma \cdot L^2}$$

Donde:

- T_0 = Resistencia a la tracción de la roca intacta
- t = Potencia del estrato
- γ = Peso específico del material del estrato
- L = Longitud de la viga

En techos calculados para mucho tiempo es conveniente adoptar el criterio de tomar para F un valor igual o superior a 8, debido al desconocimiento de algunos fenómenos que se producen, así como a la extrapolación de los resultados de la resistencia de probetas en laboratorio a escala real.

Para este estudio se han hecho las siguientes suposiciones:

- La resistencia a la tracción se ha estimado como el 7,5% de la resistencia de la compresión simple (JIMÉNEZ SALAS, 1975).
- La potencia del estrato se ha minorado hasta la octava parte de la longitud del vano, para atender los supuestos de la teoría de las vigas. Este criterio resulta conservador en este estudio.

Con todo ello, resulta:

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,075 \cdot 82 \text{ MPa} = 6,15 \text{ MPa} \\ t &= 5 \text{ m}/8 = 0,63 \text{ m} \\ \gamma &= 26500 \text{ N/m}^3 \\ L &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$



$$F = \frac{2 \cdot 6,15 \text{ MPa} \cdot 0,63 \text{ m}}{26500 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \cdot 25 \text{ m}^2} = 11,70$$

resultado superior a 8, que cumple el criterio de seguridad adoptado.

5.3. Estabilidad del muro

Las explotaciones por cámaras y pilares son susceptibles de crear problemas en el muro debido a dos hechos:

- 1.- Por un lado, se produce una descarga de las presiones verticales en las zonas excavadas, produciéndose descompresión del terreno en el muro.
- 2.- Por otro lado, se producen zonas de concentraciones de carga transmitidas al muro por los pilares.

Estos dos hechos son tanto más perjudiciales cuanto menor sea la capacidad portante del muro, pudiendo llegar a fallar el sistema de soporte de pilares, por rotura al corte general o local del terreno del muro o por punzonamiento de pilares en el mismo.

En general, el problema puede aproximarse y analizarse como si se tratase de un problema clásico de cimentación en Mecánica del Suelo. BRADY y BROWN (1985) han obtenido la siguiente expresión válida para el diseño de explotaciones:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B N_\gamma S_\gamma + c \cdot \cotg \varphi \cdot N_q S_q - \cotg \varphi$$



donde:

$$N_q = e^{mg\varphi} \cdot \operatorname{tg}^2 (\pi/4 + \varphi/2)$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \operatorname{tg}\varphi$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 (B/L)$$

$$S_q = 1 + \operatorname{sen}\varphi (B/L)$$

siendo:

q_b = capacidad portante del muro (MPa)

γ = peso específico ($t/m^3 \times 10^{-2}$)

c = cohesión (MPa)

φ = ángulo de fricción ($^\circ$)

B y L = dimensiones de la base del pilar (m), siendo $B \leq L$

El coeficiente de seguridad, $F = q_b/\sigma_p$, debe ser mayor de 2, a fin de asumir la incertidumbre de considerar la tensión media del pilar (σ_p) aplicada como una carga normal uniformemente distribuida sobre el terreno del muro.

Como parámetros geomecánicos del macizo del muro se toman los que figuran en el cuadro N° 5 del apartado 4.4.2., es decir, $c = 0,75$ MPa y $\varphi = 58,5^\circ$, junto con una densidad $\gamma = 2,66 t/m^3$ (apartado 4.2.2.).

En el Anejo E, se presentan, en hoja de cálculo, los coeficientes de seguridad a fallos del muro para los distintos pilares. Las tensiones medias σ_p , transmitidas por cada pilar al muro, han sido calculadas por el método del área atribuida (apartado 5.1.1.) y la capacidad portante del muro (expresada en términos de tensión q_b), bajo cada pilar, se ha obtenido por aplicación de la expresión antes expuesta, considerando $B = L$, es decir pilares cuadrados.

El menor coeficiente de seguridad obtenido ha sido de 62,91 (pilar I-27, de la región geotécnica III). Todos los demás, prácticamente quedan comprendidos entre esta cifra y 400, salvo algunos grandes pilares y macizos de protección, en los que el coeficiente de seguridad a la estabilidad del muro supera claramente la cifra de 400.



5.4. Roturas dependientes de la estructura. Estudio de cuñas

En este apartado se realiza un análisis estructural del macizo rocoso para determinar la posibilidad del deslizamiento o caída de cuñas, tanto del techo como de los paramentos de los pilares.

Para este análisis se ha utilizado el programa UNWEDGE de la Universidad de Toronto (Canadá). Es un programa geotécnico tridimensional que permite analizar la geometría y estabilidad de cuñas en excavaciones subterráneas.

El análisis está basado en que las cuñas, definidas por la intersección de tres discontinuidades, están sometidas únicamente a su propio peso. El estado tensional de la roca tras la excavación no se tiene en cuenta. No obstante, esta suposición es generalmente conservadora y da como resultado un menor coeficiente de seguridad.

El programa UNWEDGE tiene algunas limitaciones importantes debiendo conocerse sus hipótesis de partida para interpretar correctamente los resultados:

- * Las excavaciones se realizan en roca dura, en donde se presentan discontinuidades y no existen roturas por esfuerzos inducidos. Los desplazamientos tienen lugar sobre las discontinuidades y las cuñas se comportan como cuerpos rígidos sin deformación o agrietamientos internos.
- * Todas las superficies de las discontinuidades son perfectamente planas y pueden aparecer en cualquier lugar de la masa de la roca.

Las características geomecánicas de las discontinuidades que se han tomado como datos de partida para el programa, son las que se incluyen en el cuadro Nº 8 del apartado 4.4.4. Dada la geometría de la excavación y tres familias de juntas, el programa UNWEDGE determina la posibilidad de formación de cuñas de tamaño máximo en las caras libres de la excavación, determinando el factor de seguridad de las mismas y el modo de caída: deslizamiento en un plano, deslizamiento en dos planos o finalmente, caída libre.

A partir de la cuña máxima, es posible limitar el tamaño del bloque inestable de forma que se ajuste a la continuidad de junta observada en el estudio de fracturación.



La sección tipo de excavación empleada en el análisis, corresponde a pilares rectangulares de 6 x 15 m de dimensiones y anchura de cámara de 5 m. En cuanto a la orientación longitudinal de las cámaras, se han utilizado dos casos: orientación de 124° (regiones I y II) y orientación de 153° (regiones III y IV).

Las cinco familias identificadas y seleccionadas J_1 , J_2 , J_3 , J_5 y J_6 se han combinado ternariamente para su análisis, en una serie de 10 conjuntos de cuñas (F-1 a F-10), obteniéndose los resultados que figuran en los cuadros N^{os} 12 y 13, para los distintos tipos de rotura posibles.

a) Orientación de 124° (regiones I y II)

De 44 tipos de rotura posible de cuñas, 27 presentan un coeficiente de seguridad superior a 10; en 13 está comprendido entre 2,25 y 10 y sólo 4 presentan un coeficiente inferior a 1. Estos últimos se producen en los techos, con exposición a caída libre y volúmenes de 2,05 m³, 1,03 m³, 0,19 m³ y 0,16 m³ (figura 14).

El resto de los tipos de rotura posible de cuñas en el techo, en total 6, presentan coeficientes de seguridad superiores a 2,60.

Cabe resaltar que los tipos de rotura posible de cuñas en el techo, con exposición a caída libre, figura siempre la familia de discontinuidades J_5 , en la que queda englobada, como ya se señaló, la estratificación S_0 . Esta familia, incluida la estratificación, está presente, como ya se vió en el apartado 4.4.3., en un 80% de las estaciones de medida (estaciones 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9 y 10, que figuran en el plano n^o 5 del Anejo A).

b) Orientación de 153° (regiones III y IV)

De 46 tipos de rotura posible de cuñas, 32 presentan un coeficiente de seguridad superior a 10; en 10 está comprendido entre 2,60 y 10 y sólo 4 presentan un coeficiente inferior a 1, que son precisamente las cuñas de techo expuestas a caída libre, como era de esperar, ya consideradas en la orientación anterior.

Del análisis realizado puede deducirse:



FAMILIAS DE JUNTAS	CARA DEL PILAR	VOLUMEN CUÑA (m3)	FACTOR DE SEGURIDAD	TIPO DE ROTURA POSIBLE
F-1 J ₁ , J ₂ y J ₃	SE.	0,04	>10	Deslizamiento en J ₁
	NE.	0,82	>10	Desliz. en J ₁ y J ₃
	NO.	0,04	>10	Deslizamiento en J ₃
	TECHO	3,19	>10	Desliz. en J ₁ y J ₃
F-2 J ₁ , J ₂ y J ₅	SO.	6,45	>10	Desliz. en J ₁ y J ₅
	NE.-SE.	0,74	>10	Deslizamiento en J ₁
	NE.	6,45	>10	Desliz. en J ₁ y J ₂
	TECHO	0,13	>10	Deslizamiento en J ₁
F-3 J ₁ , J ₂ y J ₆	NE.	10,33	>10	Desliz. en J ₁ y J ₆
	TECHO	0,04	>10	Desliz. en J ₁ y J ₆
F-4 J ₁ , J ₃ y J ₅	SE.	0,09	>10	Desliz. en J ₁ y J ₅
	NE.-SE.	0,77	5,12	Deslizamiento en J ₁
	NE.	0,68	>10	Desliz. en J ₁ y J ₃
	NO.	0,09	2,62	Deslizamiento en J ₃
	NO.-SO.	0,77	8,66	Desliz. en J ₃ y J ₅
	SO.	0,68	>10	Deslizamiento en J ₅
	TECHO	2,05	0	Caída libre
F-5 J ₁ , J ₃ y J ₆	NE.	0,07	>10	Desliz. en J ₁ y J ₃
	NO.	0,08	7,75	Deslizamiento en J ₃
	SO.	0,07	>10	Deslizamiento en J ₆
	TECHO	4,03	4,21	Deslizamiento en J ₃
F-6 J ₁ , J ₅ y J ₆	SO.	1,88	>10	Desliz. en J ₅ y J ₆
	NE.-SE.	0,77	5,55	Deslizamiento en J ₁
	NE.	1,88	>10	Desliz. en J ₁ y J ₆
	NO.-SO.	0,77	3,16	Deslizamiento en J ₅
	TECHO	1,03	0	Caída libre

CUADRO N° 12. Resultados del análisis de cuñas

(Regiones I y II)



FAMILIAS DE JUNTAS	CARA DEL PILAR	VOLUMEN CUÑA (m3)	FACTOR DE SEGURIDAD	TIPO DE ROTURA POSIBLE
F-7 J ₂ , J ₃ y J ₅	NE.-SE.	2,10	8,77	Deslizamiento en J ₂
	NE.	3,65	>10	Desliz. en J ₂ y J ₃
	NO.-SO.	2,11	>10	Desliz. en J ₃ y J ₅
	SO.	3,65	4,13	Deslizamiento en J ₅
	TECHO	0,19	0	Caída libre
F-8 J ₂ , J ₃ y J ₆	SE.	0,03	>10	Deslizamiento en J ₂
	NE.	0,08	>10	Desliz. en J ₂ y J ₃
	NO.	0,03	>10	Desliz. en J ₃ y J ₆
	SO.	0,08	>10	Deslizamiento en J ₆
	TECHO	7,23	3,91	Deslizamiento en J ₃
F-9 J ₂ , J ₅ y J ₆	SO.	5,61	>10	Desliz. en J ₅ y J ₆
	NE.-SE.	4,33	5,86	Deslizamiento en J ₂
	NE.	5,61	>10	Desliz. en J ₂ y J ₆
	NO.-SO.	4,33	2,26	Deslizamiento en J ₅
	TECHO	0,16	0	Caída libre
F-10 J ₃ , J ₅ y J ₆	SE.	0,35	>10	Desliz. en J ₅ y J ₆
	NO.	0,35	>10	Desliz. en J ₃ y J ₆
	TECHO	8,98	2,58	Deslizamiento en J ₆

CUADRO N° 12. Resultados del análisis de cuñas

(Regiones I y II)



FAMILIAS DE JUNTAS	CARA DEL PILAR	VOLUMEN CUÑA (m ³)	FACTOR DE SEGURIDAD	TIPO DE ROTURA POSIBLE
F-1 J ₁ , J ₂ y J ₃	NE.-SE.	1,88	>10	Deslizamiento en J ₁
	NE.-SE.	2,32	>10	Desliz. en J ₁ y J ₃
	NO.-SO.	1,88	>10	Desliz. en J ₁ y J ₂
	TECHO	3,19	>10	Desliz. en J ₁ y J ₃
F-2 J ₁ , J ₂ y J ₅	NE.-SE.	1,00	>10	Desliz. en J ₁ y J ₅
	NE.	0,09	>10	Deslizamiento en J ₁
	NO.-SO.	1,00	>10	Desliz. en J ₁ y J ₂
	TECHO	0,13	>10	Deslizamiento en J ₁
F-3 J ₁ , J ₂ y J ₆	NO.	6,34	>10	Desliz. en J ₁ y J ₆
	TECHO	0,04	>10	Desliz. en J ₁ y J ₆
F-4 J ₁ , J ₃ y J ₅	SO.-SE.	1,66	4,99	Deslizamiento en J ₅
	NE.	0,96	>10	Deslizamiento en J ₁
	NO.-NE.	1,66	>10	Desliz. en J ₁ y J ₃
	SO.	0,96	>10	Desliz. en J ₃ y J ₅
	TECHO	2,05	0	Caída libre
F-5 J ₁ , J ₃ y J ₆	NE.	0,21	>10	Desliz. en J ₁ y J ₃
	NO.	0,11	>10	Deslizamiento en J ₃
	SO.	0,21	3,55	Deslizamiento en J ₆
	TECHO	4,03	4,21	Deslizamiento en J ₃
F-6 J ₁ , J ₅ y J ₆	SE.	1,11	>10	Desliz. en J ₅ y J ₆
	NE.	0,56	>10	Deslizamiento en J ₁
	NO.	1,11	>10	Desliz. en J ₁ y J ₆
	SO.	0,56	>10	Deslizamiento en J ₅
	TECHO	1,03	0	Caída libre

CUADRO N° 13. Resultados del análisis de cuñas

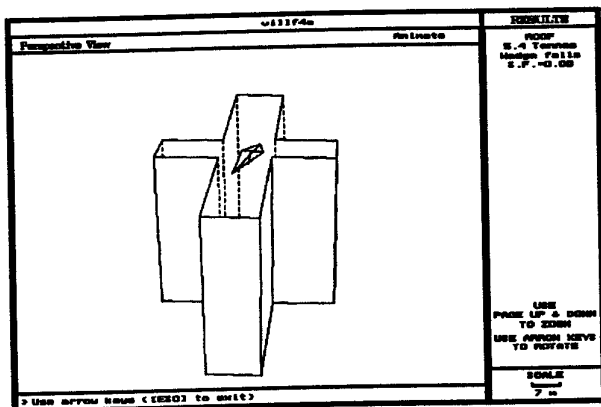
(Regiones III y IV)



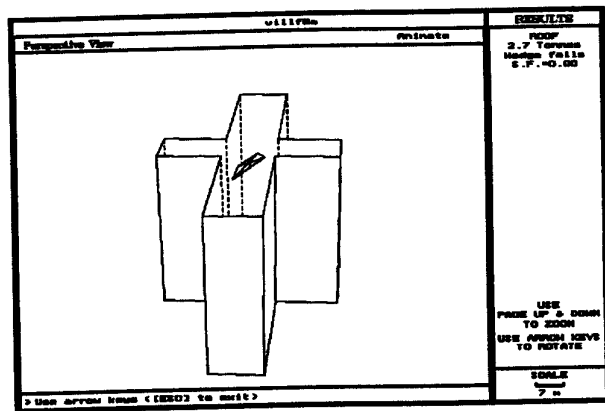
FAMILIAS DE JUNTAS	CARA DEL PILAR	VOLUMEN CUÑA (m3)	FACTOR DE SEGURIDAD	TIPO DE ROTURA POSIBLE
F-7 J ₂ , J ₃ y J ₅	SE.	1,49	> 10	Deslizamiento en J ₅
	NE.	2,31	8,97	Deslizamiento en J ₂
	NO.	1,49	> 10	Desliz. en J ₂ y J ₃
	SO.	2,31	> 10	Desliz. en J ₃ y J ₅
	TECHO	0,19	0	Caída libre
F-8 J ₂ , J ₃ y J ₆	NE.	0,27	6,35	Deslizamiento en J ₂
	NE.	0,30	> 10	Desliz. en J ₂ y J ₃
	NO.	0,14	> 10	Deslizamiento en J ₃
	SO.	0,27	> 10	Desliz. en J ₃ y J ₆
	SO.	0,30	3,30	Deslizamiento en J ₆
	TECHO	7,23	3,91	Deslizamiento en J ₃
F-9 J ₂ , J ₅ y J ₆	SE.	1,33	> 10	Desliz. en J ₅ y J ₆
	NE.	0,65	> 10	Deslizamiento en J ₂
	NO.	1,33	> 10	Desliz. en J ₂ y J ₆
	SO.	0,65	> 10	Deslizamiento en J ₅
	TECHO	0,16	0	Caída libre
F-10 J ₃ , J ₅ y J ₆	SE.	0,23	> 10	Deslizamiento en J ₅
	NE.-SE.	0,54	> 10	Desliz. en J ₅ y J ₆
	NO.	0,23	> 10	Deslizamiento en J ₃
	NO.-SO.	0,54	5,02	Desliz. en J ₃ y J ₆
	SO.	0,43	5,28	Deslizamiento en J ₆
	TECHO	8,98	2,58	Deslizamiento en J ₆

CUADRO N° 13. Resultados del análisis de cuñas

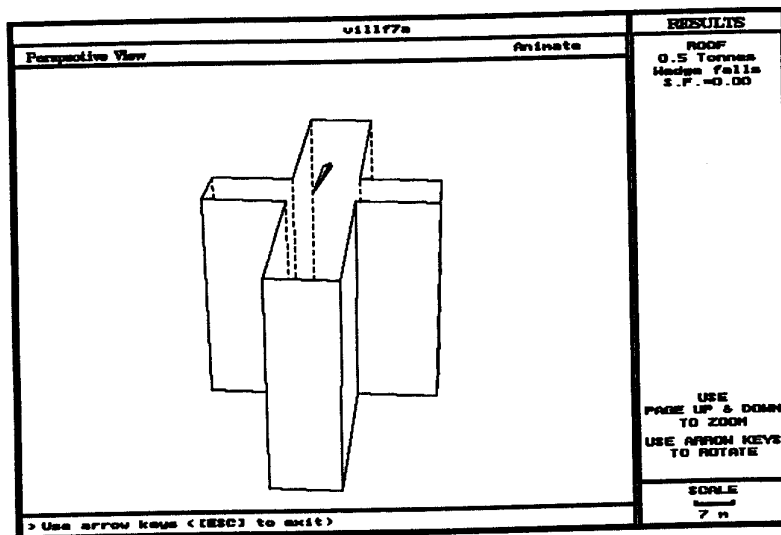
(Regiones III y IV)



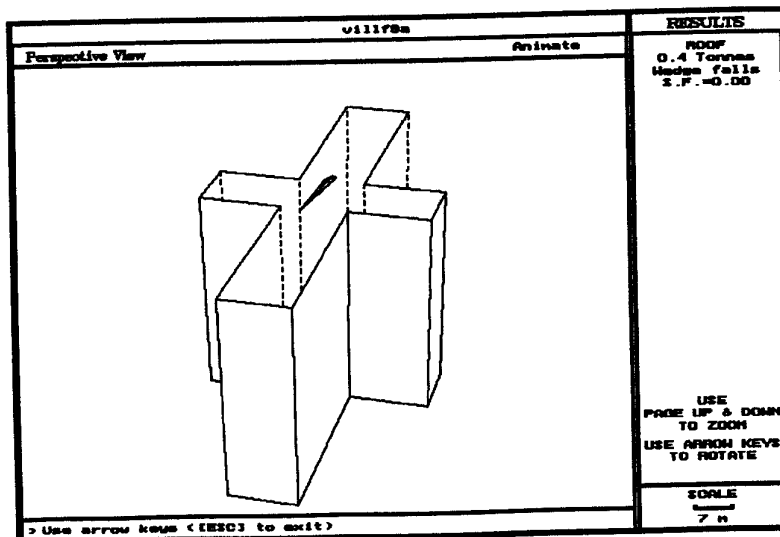
Tipo de cuña formada por discont.J1, J3 y J5



Tipo de cuña formada por discont.J1, J5 y J6



Tipo de cuña formada por discont.J2, J3 y J5



Tipo de cuña formada por discont.J2, J5 y J6

FIGURA Nº 14. Tipos de cuñas de formación en el techo expuestas a caída libre



- * Tanto en la orientación de 124° como de 153° de cámaras (regiones I a IV), no hay posibilidad de deslizamientos de cuñas de los pilares. Los coeficientes de seguridad son superiores en todos los casos (tipos de rotura posible de cuñas) a 2,25.

- * En cuanto a cuñas con posibilidad de formación en el techo, existen cuatro tipos, independientemente de la orientación longitudinal de las cámaras, con coeficiente de seguridad 0 (posibilidad de caída libre), por lo que en caso de haberse formado, seguramente habrán caído durante la voladura de apertura del hueco. No obstante, una falta de cuidado en el saneo por tiempo prolongado, podría originar algunos desplomes, como consecuencia de la metorización y descompresión del terreno. Estas cuñas de caída libre están ligadas normalmente a una familia de discontinuidades con pequeño buzamiento (entre 15° y 35°), entre las que figura la estratificación.

El resto de tipos de cuñas con posibilidad de formación en el techo, presentan coeficientes de seguridad superiores a 2,60, por lo que no son esperables problemas importantes de caídas de cuñas.

5.5. Estabilidad en el tiempo de las excavaciones

Estudios empíricos realizados por BARTON et al (1976), a base de registros de muchos casos de excavaciones, permiten correlacionar el índice Q de calidad del macizo rocoso con el máximo vano de excavaciones (naturales y humanas) estables sin sostenimiento.

Este índice de calidad Q (clasificación de Barton), está correlacionado con el índice RMR de Bieniawski utilizado en este estudio, mediante la siguiente expresión (BIENIAWSKI, 1976):

$$RMR = 9 \cdot \ln Q + 44$$

con lo que en el caso del macizo rocoso general contemplado en el estudio (cuadro Nº 4 del apartado 4.4.2.), de RMR = 47, el índice Q correspondiente sería de 1,40.

En función del índice Q y el parámetro ESR (Excavation Support Ratio), que depende del tipo de excavación en cuanto a requisitos de su seguridad relativa y que se recoge en el cuadro Nº 14, Barton propone la siguiente expresión para determinar el máximo valor del vano B en excavaciones sin sostenimiento de varios tipos:



6.- SUBSIDENCIA DEL TERRENO

Dentro de las típicas y variadas aplicaciones del programa BESOL se encuentra la de la predicción de la subsidencia debida a las explotaciones mineras. El programa permite calcular los desplazamientos según los tres ejes coordenados y su resultante y las seis componentes independientes del tensor de deformaciones, entre otros parámetros.

Este programa requiere para su utilización, como ya se indicó en el apartado 5.1.2., que la superficie exterior del terreno sea horizontal y que la explotación esté contenida en una masa tabular plana, de buzamiento y orientación cualesquiera. El análisis puede hacerse extensivo a yacimientos multicapa o a capas falladas, pero con la limitación geométrica impuesta de que todas tengan la misma dirección, aunque sus buzamientos pueden ser distintos.

En realidad la superficie exterior de la zona de estudio tiene un relieve irregular y la capa mineralizada presenta un fallamiento escalonado con saltos variables que hacen que las capas falladas no tengan la misma dirección exactamente, por lo que ha sido necesario simplificar la geometría del conjunto para adaptarla a los requisitos del programa BESOL.

El análisis se ha hecho para toda la zona de estudio, simplificando de forma muy conservadora la geometría de cámaras y pilares (ver figura 15). Por otra parte, las dos grandes zonas de la capa mineralizada separadas por la falla principal (regiones geotécnicas I y II, por un lado, y III y IV, por otro), se han modelizado en un plano medio, definido por un rumbo y buzamiento medios.

Se han considerado también en la modelización los valores medios calculados de las cotas de muro (62,5 m), potencias de capa (3,26 m) y recubrimiento de pilares (161,74 m) y consecuentemente una cota media para la superficie horizontal del terreno de 227,50 m. Los datos de partida para el macizo del techo, que se utilizan en este análisis de la subsidencia, son los mismos empleados en el cálculo de tensiones de pilares (apartado 5.1.2.).

También, a efectos de funcionamiento del programa, se ha definido como plano horizontal, donde se han calculado parámetros de la subsidencia, un plano paralelo a 1 m de profundidad por debajo de la asumida superficie horizontal del terreno.

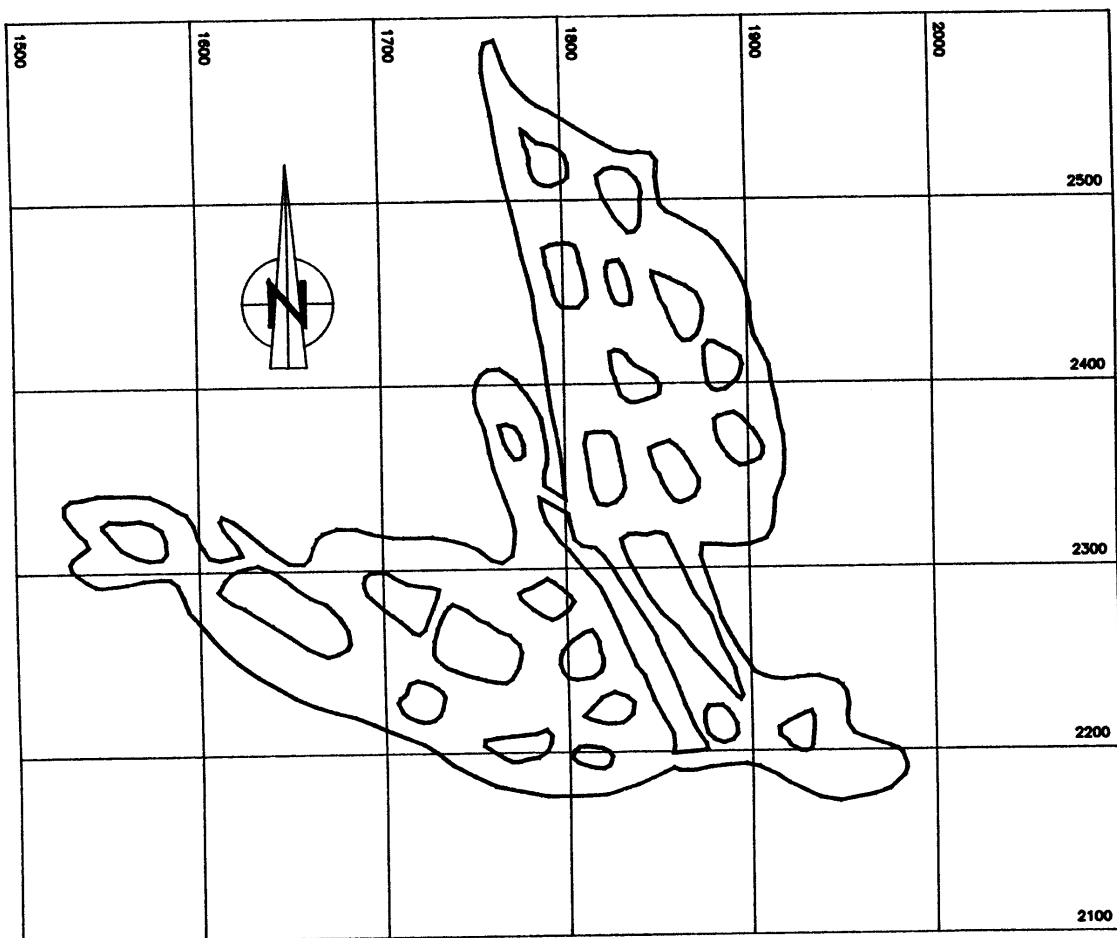


FIGURA Nº 15. Zona de labores simplificada para el cálculo numérico de la subsidencia



En la figura 16 se han representado las isóneas de desplazamiento vertical (según OZ) o hundimiento (en metros), resultando un valor para el hundimiento máximo de 11,2 mm.

La zona de explotación modelizada tiene aproximadamente una superficie de 6,5 ha, unas dimensiones de 275 x 470 m y una profundidad (valor medio aproximado) de $h = 162$ m.

Siendo,

$2B = 275$ (dimensión menor), la profundidad crítica viene definida por

$$h_{cr} = \frac{B}{0,7} = 196,4 \text{ m}$$

Como resulta que $h < h_{cr}$, se está en una situación de subsidencia hipercrítica y, por tanto, los valores calculados son los máximos que pueden aparecer en la zona analizada.

En las figuras 17 y 18 se han representado las deformaciones según los ejes OX y OY, respectivamente, resultando unos valores máximos de la deformación (en compresión) de 0,0394 mm/m y 0,0302 mm/m, verdaderamente pequeños y testimoniales. La componente resultante máxima daría un valor para la deformación (en compresión) de 0,0496 mm/m.

MSPOSTD - contour plot of z-displacement (UZ)

Dept. Matematica Aplicada

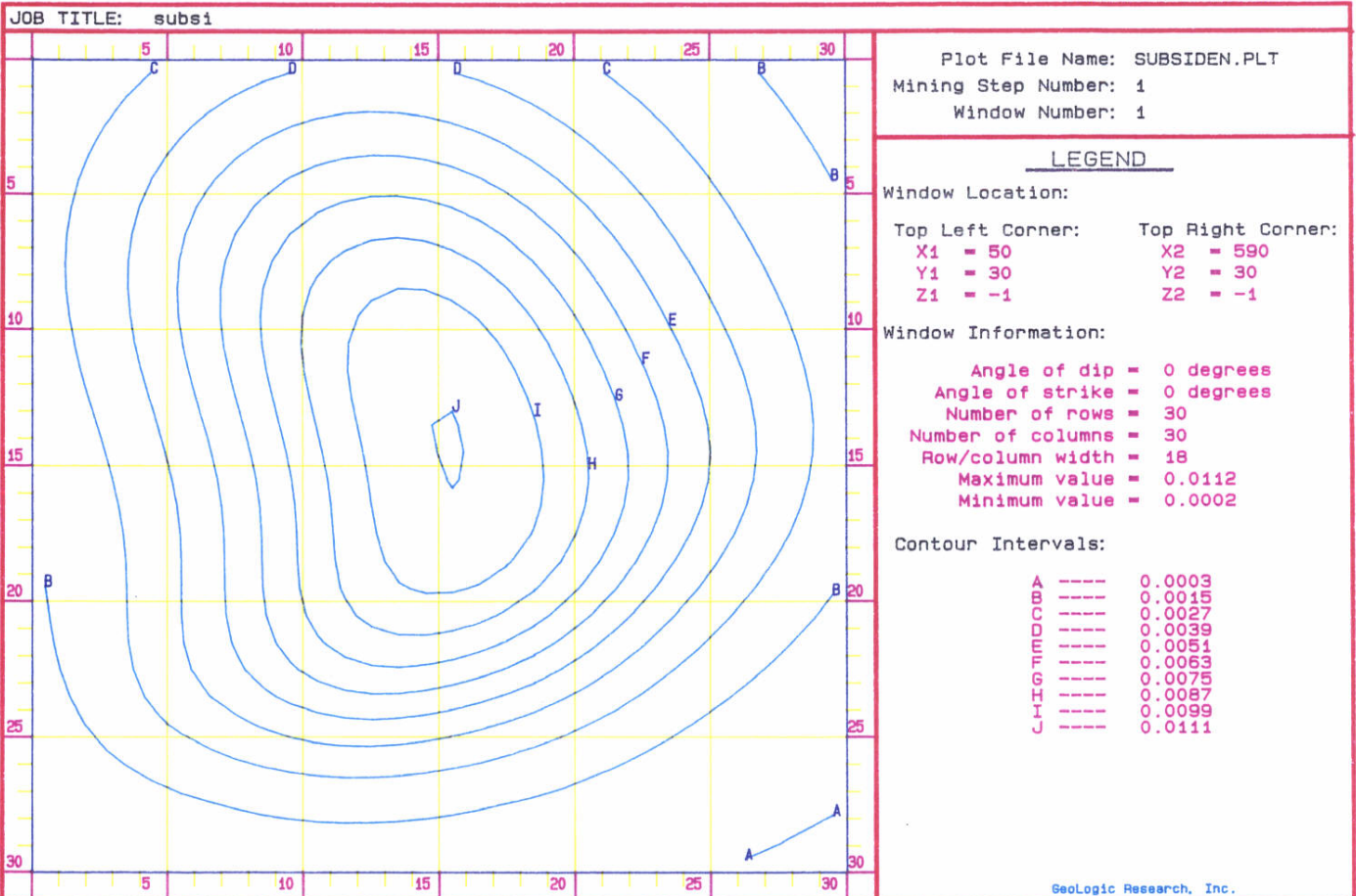
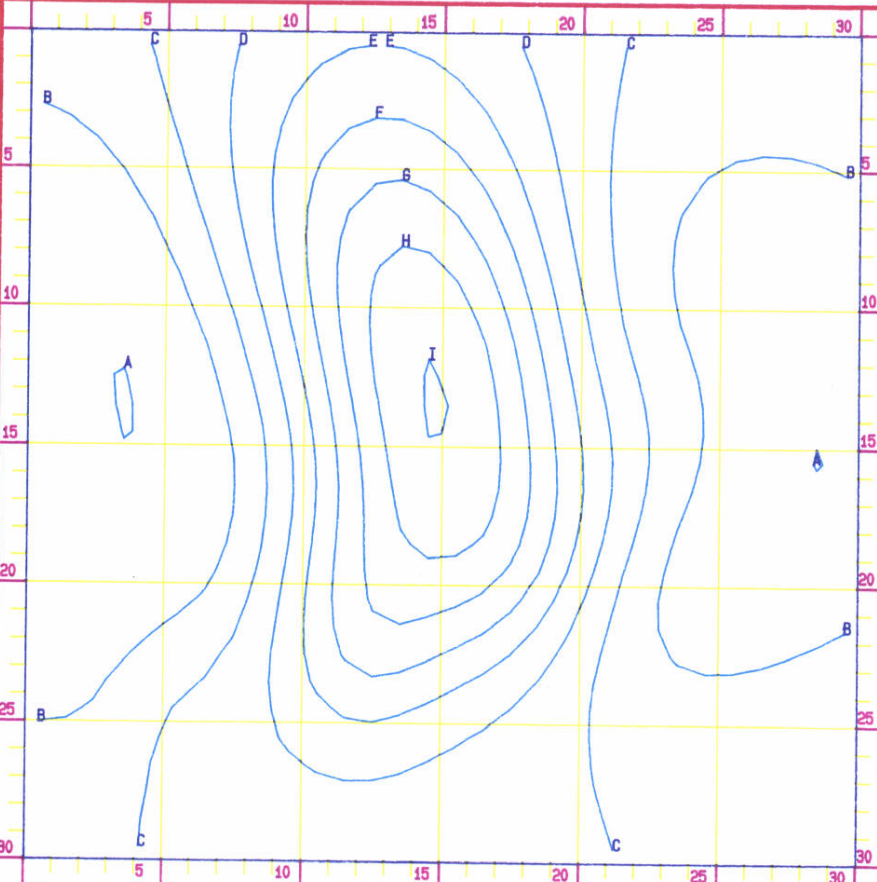


FIGURA Nº 16. Subsistencia. Isolneas de hundimiento (m)

MSPOSTD - contour plot of xx-strain (EXX*1000)

Dept. Matemática Aplicada

JOB TITLE: subs1



Plot File Name: SUBSIDEN.PLT
 Mining Step Number: 1
 Window Number: 1

LEGEND

Window Location:

Top Left Corner: X1 = 50, Y1 = 30, Z1 = -1
 Top Right Corner: X2 = 590, Y2 = 30, Z2 = -1

Window Information:

Angle of dip = 0 degrees
 Angle of strike = 0 degrees
 Number of rows = 30
 Number of columns = 30
 Row/column width = 18
 Maximum value = 0.0394
 Minimum value = -0.0127

Contour Intervals:

A	----	-0.0126
B	----	-0.0063
C	----	0
D	----	0.0065
E	----	0.013
F	----	0.0195
G	----	0.026
H	----	0.0325
I	----	0.039

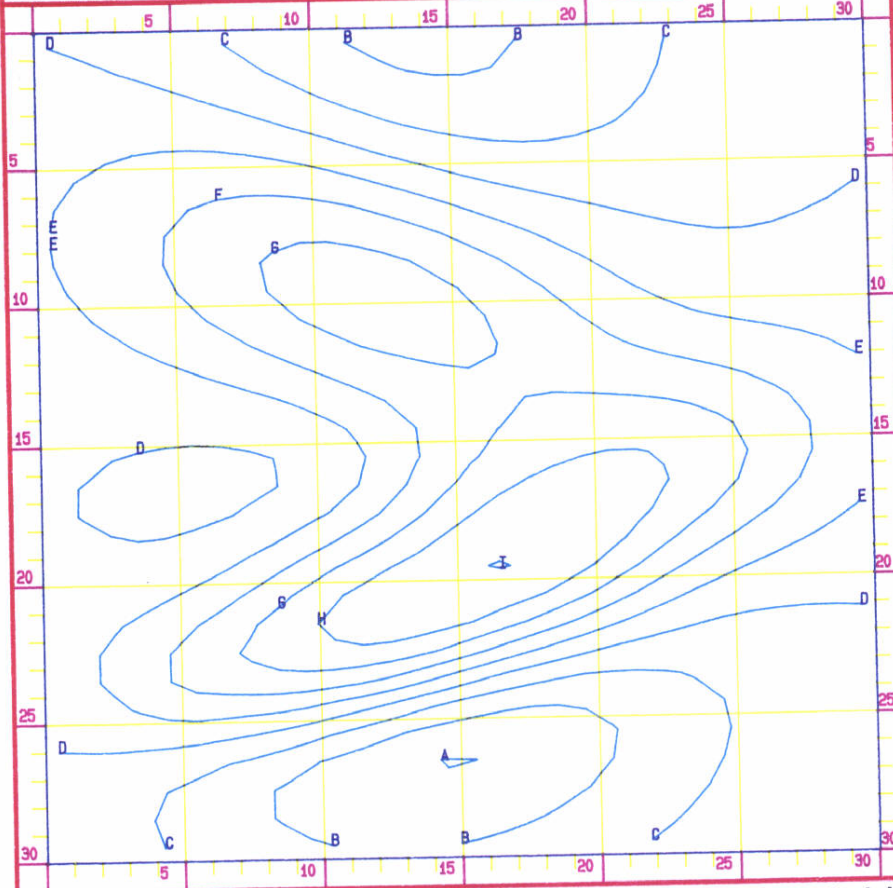
GeoLogic Research, Inc.

FIGURA Nº 17. Subsistencia. Isolíneas de deformaciones según el eje OX (mm/m)

MSPOSTD - contour plot of yy-strain (EYY*1000)

Dept. Matematica Aplicada

JOB TITLE: subs1



Plot File Name: SUBSIDEN.PLT
 Mining Step Number: 1
 Window Number: 1

LEGEND

Window Location:

Top Left Corner: X1 = 50, Y1 = 30, Z1 = -1
 Top Right Corner: X2 = 590, Y2 = 30, Z2 = -1

Window Information:

Angle of dip = 0 degrees
 Angle of strike = 0 degrees
 Number of rows = 30
 Number of columns = 30
 Row/column width = 18
 Maximum value = 0.0302
 Minimum value = -0.0184

Contour Intervals:

A	-----	-0.0183
B	-----	-0.0122
C	-----	-0.0061
D	-----	0
E	-----	0.006
F	-----	0.012
G	-----	0.018
H	-----	0.024
I	-----	0.03

GeoLogic Research, Inc.

FIGURA Nº 18. Subsistencia. Isolíneas de deformaciones según el eje OY (mm/m)



7.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

- 1) El estudio geotécnico que ha abarcado a un nivel explotado de fluorita de la mina sin actividad, a una profundidad media de aproximadamente 160 m, ha tenido por objetivos fundamentales el conocimiento de la estabilidad de la zona explotada por cámaras y pilares, en cuanto a su comportamiento geomecánico, y el de la subsidencia del terreno originada por las labores.
- 2) Para la caracterización geotécnica, además de haberse tenido en cuenta la documentación disponible, tanto de Espato de Villabona, S.A., como del propio ITGE, se ha realizado un estudio de caracterización del macizo rocoso, que ha permitido conocer, de un modo estimativo, sus parámetros geomecánicos.
- 3) Aunque se han tomado varias muestras del macizo rocoso (techo, capa y muro) para ensayos geotécnicos de laboratorio y conocimiento de las características mecánicas de la roca intacta, no están todavía disponibles los resultados a la hora de redacción de este estudio.

Una vez obtenidos estos resultados, se realizará un análisis de los mismos y se emitirá un informe adicional y complementario, con especial atención a cuestiones que pudieran resultar modificativas del presente estudio.

- 4) Atendiendo a condiciones estructurales de primer orden (presencia de fallamientos de alguna relevancia), se han diferenciado en la zona de las labores cuatro regiones geotécnicas, denominadas I, II, III y IV. Las regiones II y III están separadas por una falla, de salto decamétrico, conocida como principal. Las regiones I y II y III y IV están separadas a su vez por sendas fallas menores.
- 5) En las regiones III y IV (separadas de las dos primeras por la falla principal) se presentan las mayores potencias de la capa mineralizada (3,40 m de media) y los mayores recubrimientos (medias comprendidas entre 190 m y 204 m).
- 6) En el estudio del macizo rocoso, se ha hecho uso de la clasificación de BIENIAWSKI (1979) para la obtención del índice de calidad del terreno, RMR (Rock Mass Ratio), que ha dado como resultado para todas las regiones geotécnicas un valor medio de 47, lo que clasifica al conjunto general rocoso estudiado como "roca media".



A partir de este valor y en función de conocidas expresiones empíricas, se han podido conocer diversos parámetros mecánicos del macizo rocoso, cuya utilización ha sido necesaria para el análisis de la estabilidad y de la subsidencia.

- 7) También, en el estudio del macizo rocoso, se ha hecho un completo análisis de la fracturación existente, que ha permitido conocer las seis principales familias de discontinuidades presentes en la zona.

El estudio de las características de estas discontinuidades, ha conducido, por medio de relaciones empíricas, al conocimiento de sus propiedades mecánicas, que han sido utilizadas, en concreto, en el estudio del deslizamiento de cuñas (roturas dependientes de la estructura).

- 8) Los cálculos específicos realizados, con base en el método clásico y conservador del área atribuida y un método numérico de contraste, comprueban y documentan la estabilidad de las labores (cámaras y pilares). El coeficiente de seguridad medio y por regiones geotécnicas del conjunto de los pilares (descontados macizos y pilares de grandes dimensiones) supera en todas las regiones el valor de 2. En las regiones geotécnicas I, III y IV los valores del coeficiente de seguridad medio de pilares son prácticamente similares, mientras que en la II supera a los anteriores en un 45%.
- 9) Los valores máximos obtenidos, en dos zonas representativas, para el desplazamiento en cámaras varía de 5,5 a 6,3 mm y para la convergencia de 11,2 a 12,6 mm. Estos valores corresponden a desplazamientos máximos, estimados en el cálculo numérico, que abarcan todo el período de permanencia de las excavaciones. Dado el tiempo transcurrido desde la apertura de las labores en el nivel explotado, estos desplazamientos deben estar ya muy probablemente estabilizados.
- 10) La estabilidad del techo inmediato en las cámaras, o zona de techo próxima a la excavación donde podría suponerse que pudiera producirse un despegue del resto de los estratos subhorizontales (terreno sedimentario como el estudiado), ha sido también analizado con resultados positivos en cuanto a su seguridad.
- 11) La estabilidad del muro en cuanto a roturas al corte o punzonamiento de pilares en el mismo, es patente con altos coeficientes de seguridad.



- 12) Como resultado del estudio de rotura estructural por deslizamiento de cuñas, en lo que se refiere a hastiales, tanto en paramentos como pilares, no se ha encontrado en los análisis realizados posibilidad de deslizamientos, habiéndose obtenido para todas las regiones geotécnicas y para los distintos tipos de rotura posible de cuñas coeficientes de seguridad superiores a 2,25.

En cuanto a cuñas con posibilidad de formación en el techo, existen cuatro tipos de cuñas con coeficiente de seguridad igual a cero, es decir, con exposición de caída libre, por lo que en caso de haberse formado, seguramente habrán caído ya en su día, durante los trabajos de voladura para apertura de las cámaras. No obstante, esta posibilidad de caída libre de cuñas del techo exige prestar una gran atención en el saneo sistemático del mismo, máxime si existen largos períodos de inactividad. Hay que resaltar que en la formación de estos tipos de cuña, figura siempre la familia de discontinuidades en la que se encuadra la estratificación, presente prácticamente en toda la mina.

No son esperables problemas con el resto de cuñas con posibilidad de formación en el techo, por presentar los tipos analizados coeficientes de seguridad superiores a 2,60.

- 13) Se han observado, localmente, durante los reconocimientos de campo, caídas de lisos constituidos preferentemente por margas. Estas caídas son debidas fundamentalmente a la gran humedad de saturación que existe en el nivel explotado, como consecuencia de la falta de ventilación. Esta humedad entumece y reblandece este tipo de litología y provoca su despegue y caída.
- 14) Cabe destacar de forma especial, que las galerías construídas siguiendo las trazas de las fallas, presentan en los techos desprendimientos del material inmediato a los labios de la falla, facilitados por la presencia de humedad por percolación y de arcillas de milonitización. Estas zonas requieren una vigilancia especial en cuanto a su mantenimiento en condiciones de seguridad, al tratarse normalmente de vías de acceso.
- 15) En función de la calidad del macizo rocoso estudiado y de los anchos de cámara existentes en el nivel explotado, normalmente de un orden de 5 m, puede considerarse a este nivel de explotación como una cavidad minera entre permanente y temporal, sin una necesidad general y sistemática de sostenimiento a largo plazo.



- 16) No existe problema alguno de subsidencia. Los resultados del cálculo numérico realizado, dan para el hundimiento máximo en la superficie del terreno el valor de 11,2 mm. Para la deformación máxima, en compresión, se obtiene el valor de 0,05 mm/m, puramente testimonial por su irrelevante cuantía.

- 17) El volumen de cámaras, según cálculos de estimación efectuados (ver Anejo F), arroja unas cifras de 75.000 - 90.000 m³.

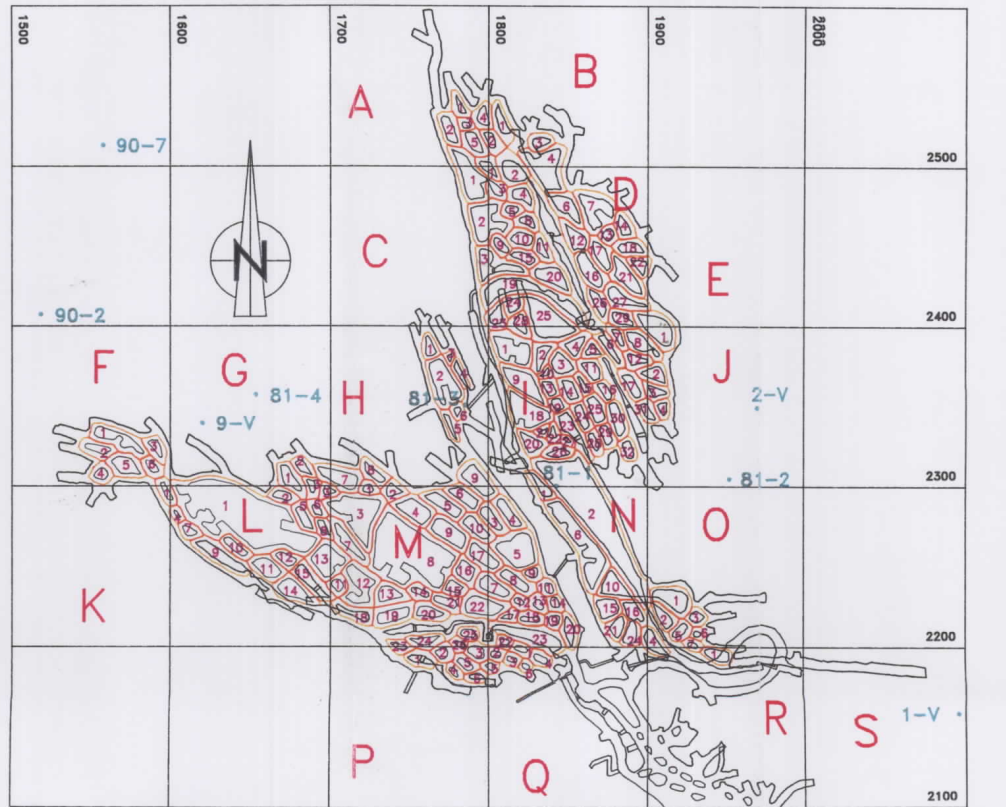


ANEJOS



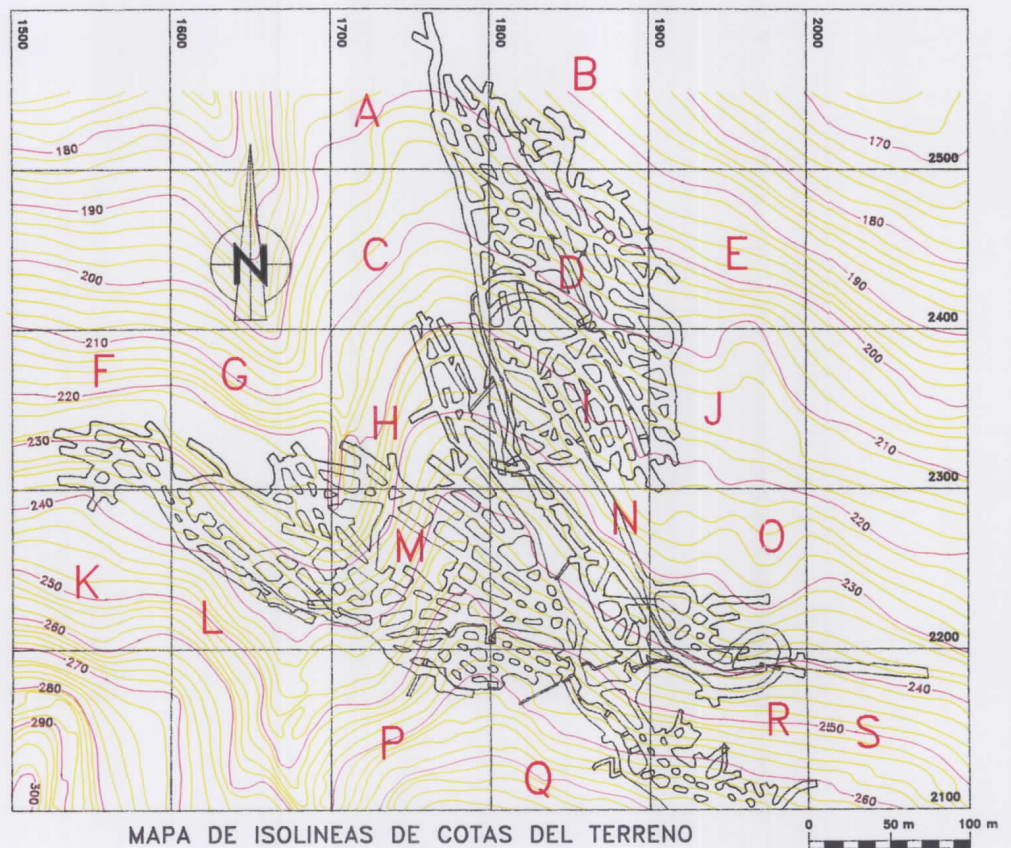
A.-PLANOS

PROYECTO MINA VILLABONA



PLANO GENERAL DE CAMARAS Y PILARES
Y AREAS ATRIBUIDAS

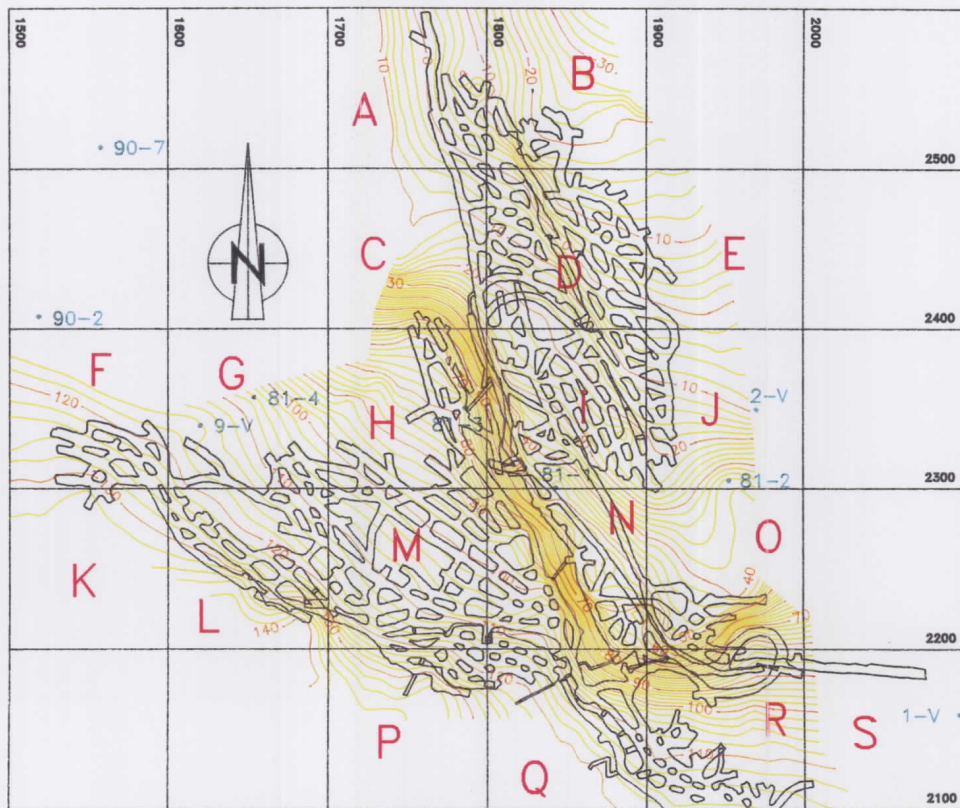
PROYECTO MINA VILLABONA



MAPA DE ISOLINEAS DE COTAS DEL TERRENO

0 50 m 100 m

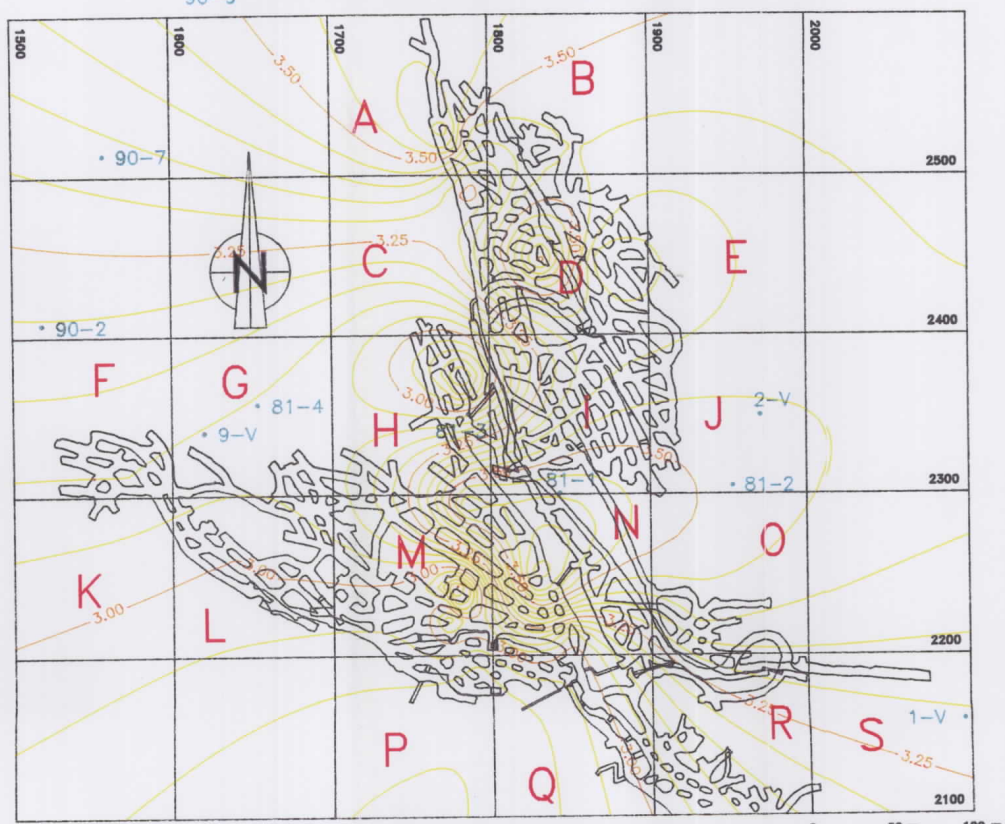
90-8
PROYECTO MINA VILLABONA 81-6



MAPA DE ISOLINEAS DE COTAS DE MURO

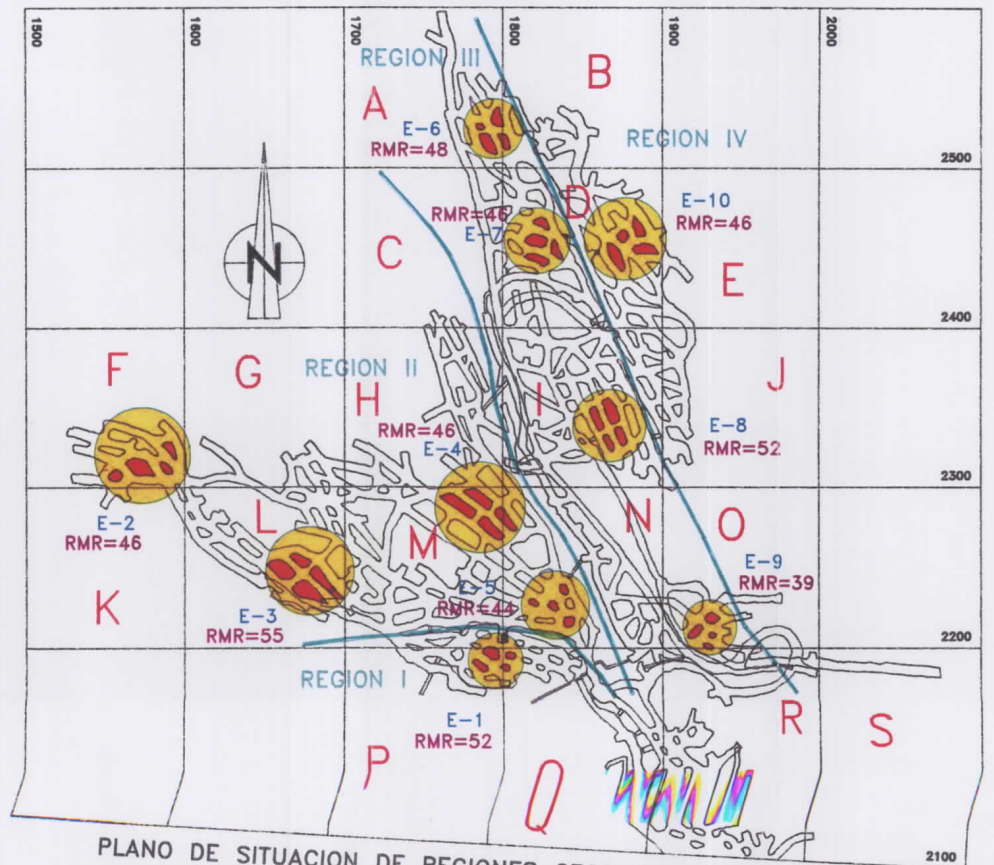


90-8
• 90-9
PROYECTO MINA VILLABONA
81-6
• 81-6



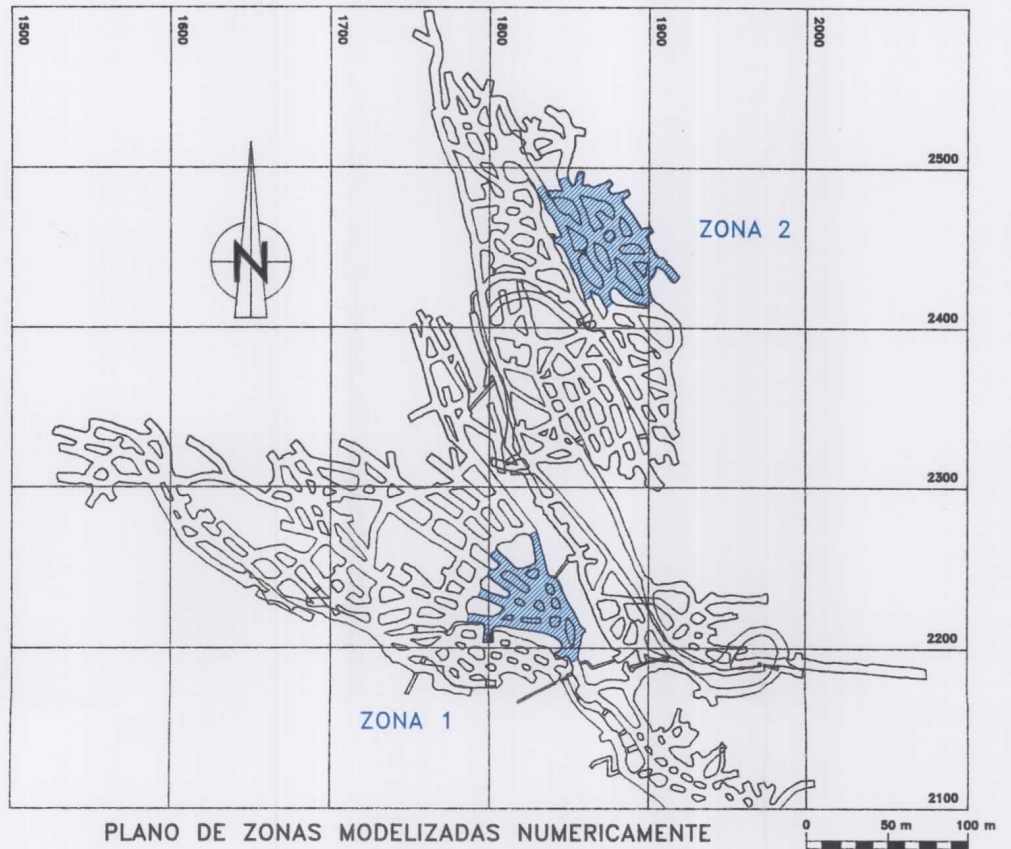
MAPA DE ISOLINEAS DE ALTURAS DE PILARES

PROYECTO MINA VILLABONA



PLANO DE SITUACION DE REGIONES GEOTECNICAS Y ESTACIONES DE CARACTERIZACION GEOMECANICA

PROYECTO MINA VILLABONA



PLANO DE ZONAS MODELIZADAS NUMERICAMENTE



**B.- ESTIMACION DEL RECUBRIMIENTO Y ALTURA
DE PILARES (HOJA DE CALCULO)**

ESTIMACION DE LA ALTURA Y RECUBRIMIENTO DE PILARES. REGION I

Pilar	Cota terreno	Cota muro	Altura pilar (m)	Cota techo	Recubrimiento (m)
M23	247,00	122,00	2,95	124,95	122,05
M24	251,00	119,00	2,95	121,95	129,05
M25	255,00	115,00	3,00	118,00	137,00
M26	257,00	118,00	2,95	120,95	136,05
N22	255,00	114,00	3,00	117,00	138,00
N23	249,00	110,00	3,10	113,10	135,90
P1	252,00	126,00	2,90	128,90	123,10
P2	255,00	123,00	2,95	125,95	129,05
P3	257,00	117,00	2,90	119,90	137,10
P4	259,00	125,00	2,90	127,90	131,10
P5	259,00	121,00	2,90	123,90	135,10
P6	261,00	123,00	2,90	125,90	135,10
Q1	254,00	116,00	3,00	119,00	135,00
Q2	257,00	116,00	2,95	118,95	138,05
Q3	257,00	117,00	2,95	119,95	137,05
Q4	254,00	115,00	3,00	118,00	136,00
Q5	259,00	119,00	2,90	121,90	137,10
Q6	257,00	118,00	2,95	120,95	136,05

ESTIMACION DE LA ALTURA Y RECUBRIMIENTO DE PILARES. REGION II

Pilar	Cota terreno	Cota muro	Altura pilar (m)	C.techo	Recubrimiento (m)
F1	230,00	122,00	3,10	125,10	104,90
F2	232,00	126,00	3,10	129,10	102,90
F3	231,00	121,00	3,10	124,10	106,90
F4	237,00	130,00	3,10	133,10	103,90
F5	235,00	126,00	3,10	129,10	105,90
F6	233,00	124,00	3,10	127,10	105,90
G1	222,00	110,00	3,05	113,05	108,95
G2	222,00	107,00	3,05	110,05	111,95
G3	221,00	108,00	3,05	111,05	109,95
H1	225,00	72,00	2,90	74,90	150,10
H2	227,00	76,00	2,90	78,90	148,10
H3	226,00	70,00	2,80	72,80	153,20
H4	227,00	69,00	2,80	71,80	155,20
H5	233,00	82,00	3,15	85,15	147,85
H6	231,00	80,00	3,05	83,05	147,95
H7	222,00	103,00	3,10	106,10	115,90
H8	223,00	99,00	3,15	102,15	120,85
H9	238,00	83,00	3,55	86,55	151,45
K1	235,00	125,00	3,05	128,05	106,95
L1	230,00	118,00	3,05	121,05	108,95
L2	223,00	113,00	3,05	116,05	106,95
L3	220,00	107,00	3,10	110,10	109,90
L4	237,00	127,00	3,05	130,05	106,95
L5	222,00	113,00	3,05	116,05	105,95
L6	221,00	110,00	3,05	113,05	107,95
L7	238,00	128,00	3,05	131,05	106,95
L8	222,00	112,00	3,05	115,05	106,95
L9	239,00	130,00	3,00	133,00	106,00
L10	237,00	124,00	3,00	127,00	110,00
L11	235,00	125,00	3,00	128,00	107,00
L12	232,00	121,00	3,00	124,00	108,00
L13	229,00	116,00	3,00	119,00	110,00
L14	235,00	128,00	3,00	131,00	104,00
L15	233,00	122,00	3,00	125,00	108,00
M1	223,00	102,00	3,15	105,15	117,85
M2	230,00	100,00	3,20	103,20	126,80
M3	224,00	106,00	3,10	109,10	114,90
M4	236,00	100,00	3,25	103,25	132,75
M5	241,00	96,00	3,45	99,45	141,55
M6	240,00	92,00	3,60	95,60	144,40
M7	226,00	111,00	3,05	114,05	111,95
M8	238,00	106,00	3,05	109,05	128,95
M9	243,00	100,00	3,45	103,45	139,55
M10	243,00	96,00	3,00	99,00	144,00

ESTIMACION DE LA ALTURA Y RECUBRIMIENTO DE PILARES. REGION II

Pilar	Cota terreno	Cota muro	Altura pilar (m)	C.techo	Recubrimiento (m)
M11	233,00	107,00	3,00	110,00	123,00
M12	234,00	114,00	3,00	117,00	117,00
M13	239,00	101,00	3,00	104,00	135,00
M14	245,00	109,00	3,00	112,00	133,00
M15	249,00	105,00	2,80	107,80	141,20
M16	247,00	103,00	2,95	105,95	141,05
M17	244,00	100,00	3,20	103,20	140,80
M18	239,00	119,00	2,95	121,95	117,05
M19	242,00	114,00	2,95	116,95	125,05
M20	248,00	110,00	3,00	113,00	135,00
M21	251,00	107,00	3,00	110,00	141,00
M22	250,00	106,00	3,05	109,05	140,95
N3	241,00	90,00	3,55	93,55	147,45
N4	240,00	85,00	3,60	88,60	151,40
N5	241,00	95,00	3,60	98,60	142,40
N7	247,00	103,00	3,20	106,20	140,80
N8	244,00	100,00	3,25	103,25	140,75
N9	242,00	97,00	3,70	100,70	141,30
N11	243,00	99,00	3,55	102,55	140,45
N12	246,00	102,00	3,35	105,35	140,65
N13	245,00	104,00	3,40	107,40	137,60
N14	244,00	102,00	3,40	105,40	138,60
N17	249,00	105,00	3,20	108,20	140,80
N18	247,00	107,00	3,25	110,25	136,75
N19	246,00	106,00	3,20	109,20	136,80
N20	247,00	99,00	3,05	102,05	144,95

ESTIMACION DE LA ALTURA Y RECUBRIMIENTO DE PILARES. REGION III

Pilar	Cota terreno	Cota muro	Altura pilar (m)	Cota techo	Recubrimiento (m)
A1	201,00	-5,00	3,55	-1,45	202,45
A2	203,00	-1,00	3,60	2,60	200,40
A3	202,00	-4,00	3,50	-0,50	202,50
A4	200,00	-7,00	3,45	-3,55	203,55
A5	203,00	-2,00	3,40	1,40	201,60
B1	199,00	-11,00	3,45	-7,55	206,55
B2	201,00	-4,00	3,40	-0,60	201,60
C1	205,00	5,00	3,30	8,30	196,70
C2	209,00	10,00	3,40	13,40	195,60
C3	213,00	18,00	3,40	21,40	191,60
D1	203,00	1,00	3,30	4,30	198,70
D2	202,00	0,00	3,40	3,40	198,60
D3	205,00	4,00	3,35	7,35	197,65
D4	203,00	3,00	3,45	6,45	196,55
D5	205,00	6,00	3,50	9,50	195,50
D8	205,00	6,00	3,60	9,60	195,40
D9	209,00	13,00	3,50	16,50	192,50
D10	207,00	9,00	3,65	12,65	194,35
D11	207,00	9,00	3,75	12,75	194,25
D15	209,00	12,00	3,65	15,65	193,35
D19	213,00	17,00	3,45	20,45	192,55
D20	209,00	13,00	3,55	16,55	192,45
D23	217,00	24,00	3,20	27,20	189,80
D24	216,00	22,00	3,30	25,30	190,70
D25	215,00	20,00	3,35	23,35	191,65
D28	217,00	23,00	3,25	26,25	190,75
I1	221,00	25,00	3,15	28,15	192,85
I2	219,00	23,00	3,25	26,25	192,75
I3	218,00	22,00	3,30	25,30	192,70
I4	216,00	18,00	3,35	21,35	194,65
I5	219,00	17,00	3,35	20,35	198,65
I9	224,00	28,00	3,20	31,20	192,80
I10	221,00	24,00	3,30	27,30	193,70
I11	217,00	18,00	3,40	21,40	195,60
I13	223,00	27,00	3,30	30,30	192,70
I14	221,00	26,00	3,35	29,35	191,65
I15	219,00	23,00	3,40	26,40	192,60
I16	218,00	18,00	3,40	21,40	196,60
I18	227,00	36,00	3,30	39,30	187,70
I19	224,00	30,00	3,35	33,35	190,65
I20	221,00	40,00	3,45	43,45	177,55
I21	228,00	36,00	3,40	39,40	188,60
I22	227,00	36,00	3,45	39,45	187,55
I23	224,00	31,00	3,45	34,45	189,55

ESTIMACION DE LA ALTURA Y RECUBRIMIENTO DE PILARES. REGION III

Pilar	Cota terreno	Cota muro	Altura pilar (m)	Cota techo	Recubrimiento (m)
I24	221,00	27,00	3,45	30,45	190,55
I25	219,00	24,00	3,45	27,45	191,55
I26	228,00	39,00	3,50	42,50	185,50
I27	226,00	35,00	3,50	38,50	187,50
I28	223,00	28,00	3,50	31,50	191,50
I29	222,00	26,00	3,50	29,50	192,50
I30	221,00	23,00	3,45	26,45	194,55
I32	222,00	24,00	3,50	27,50	194,50
N1	234,00	48,00	3,60	51,60	182,40
N2	229,00	45,00	3,60	48,60	180,40
N6	234,00	54,00	3,60	57,60	176,40
N10	237,00	54,00	3,40	57,40	179,60
N15	239,00	61,00	3,30	64,30	174,70
N16	236,00	62,00	3,30	65,30	170,70
N21	241,00	64,00	3,20	67,20	173,80
N24	241,00	62,00	3,20	65,20	175,80
O1	235,00	46,00	3,40	49,40	185,60
O2	237,00	50,00	3,35	53,35	183,65
O3	235,00	46,00	3,40	49,40	185,60
O4	241,00	58,00	3,25	61,25	179,75
O5	238,00	48,00	3,35	51,35	186,65
O6	237,00	51,00	3,35	54,35	182,65
O7	239,00	57,00	3,30	60,30	178,70
R1	239,00	74,00	3,30	77,30	161,70

ESTIMACION DE LA ALTURA Y RECUBRIMIENTO DE PILARES. REGION IV

Pilar	Cota terreno	Cota muro	Altura pilar (m)	Cota techo	Recubrimiento (m)
B3	197,00	-19,00	3,40	-15,60	212,60
B4	199,00	-14,00	3,45	-10,55	209,55
D6	201,00	-10,00	3,50	-6,50	207,50
D7	199,00	-12,00	3,45	-8,55	207,55
D12	203,00	3,00	3,50	6,50	196,50
D13	201,00	-8,00	3,40	-4,60	205,60
D14	198,00	-10,00	3,40	-6,60	204,60
D16	206,00	0,00	3,40	3,40	202,60
D17	204,00	-4,00	3,40	-0,60	204,60
D18	201,00	-7,00	3,40	-3,60	204,60
D21	205,00	-2,00	3,40	1,40	203,60
D22	204,00	-5,00	3,40	-1,60	205,60
D26	209,00	4,00	3,35	7,35	201,65
D27	207,00	1,00	3,40	4,40	202,60
D29	209,00	3,00	3,35	6,35	202,65
I6	214,00	11,00	3,40	14,40	199,60
I7	212,00	7,00	3,35	10,35	201,65
I8	211,00	3,00	3,40	6,40	204,60
I12	213,00	8,00	3,40	11,40	201,60
I17	216,00	13,00	3,45	16,45	199,55
I31	217,00	15,00	3,45	18,45	198,55
J1	209,00	3,00	3,40	6,40	202,60
J2	214,00	9,00	3,45	12,45	201,55
J3	215,00	12,00	3,45	15,45	199,55
J4	216,00	14,00	3,45	17,45	198,55



C.- DATOS CORRESPONDIENTES A CARACTERIZACION
DE DISCONTINUIDADES EN ESTACIONES
DE MEDIDA

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 1 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-1	--	82	358	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	80	234	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	55	220	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	40	230	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	67	46	10-12	0,050	1	No hay	2	40	Seco	---
E-1	--	76	200	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	78	305	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	32	38	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	40	30	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	82	356	12-14	0,062	1-3	No hay	2	26	Ligeram. húm.	---
E-1	--	44	244	4-6	0,075	1-3	No hay	1	56	Seco	---
E-1	--	80	162	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	86	230	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	72	228	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	30	40	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	60	224	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	75	230	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	45	50	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 2 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-1	--	52	98	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	74	140	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	80	144	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	32	232	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	64	232	2-4	0,030	1-3	No hay	1	40	Seco	---
E-1	--	40	228	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	62	202	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	52	236	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	84	340	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	80	224	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	85	144	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	60	68	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	60	44	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	66	222	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	85	168	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	86	360	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	55	262	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	45	238	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 3 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-1	--	75	266	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	30	340	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	60	240	--	---	---	---	---	--	---	---
E-1	--	15	40	--	---	---	---	---	--	---	Plano estratificación
E-2	--	80	250	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	85	172	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	65	272	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	60	162	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	85	72	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	62	280	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	81	322	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	80	180	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	25	330	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	83	359	8-10	0,080	>5	Arcilla	4	37	Goteando	---
E-2	--	58	30	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	60	32	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	25	32	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	30	360	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 4 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-2	--	75	200	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	45	39	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	30	360	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	80	160	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	38	12	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	55	218	6-8	0,100	1-3	Arcilla	4	48	Húmedo	---
E-2	--	65	140	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	40	80	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	45	270	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	84	246	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	77	140	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	25	98	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	82	124	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	85	50	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	40	72	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	64	242	6-8	0,125	>3	Arcilla	4	43	Ligeram. húm.	---
E-2	--	66	48	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	65	106	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 5 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-2	--	70	195	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	30	228	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	55	220	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	70	212	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	56	270	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	60	262	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	20	250	--	---	---	---	---	--	---	---
E-2	--	73	110	4-6	0,138	>5	Arcilla	3,5	34	Húmedo	---
E-3	--	52	220	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	83	40	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	80	110	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	70	246	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	72	240	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	59	230	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	45	242	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	40	52	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	50	228	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	80	54	2-4	0,045	1-3	No hay	2	52	Seco	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 6 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-3	--	55	160	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	78	266	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	68	138	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	80	270	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	75	260	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	25	72	--	---	---	---	---	--	---	Plano estratificación
E-3	--	40	80	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	80	150	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	80	240	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	65	239	4-6	0,170	1-3	Arcilla	5	46	Ligeram. húm.	---
E-3	--	80	234	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	60	214	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	75	335	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	82	239	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	80	242	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	60	258	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	72	204	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	71	254	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 7 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-3	--	55	250	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	62	243	4-6	0,130	>3	Arcilla	4	43	Ligera. húm.	---
E-3	--	12	70	--	---	---	---	---	--	---	Plano estratificación
E-3	--	68	280	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	80	158	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	72	254	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	84	75	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	77	202	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	20	52	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	76	231	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	70	318	--	---	---	---	---	--	---	---
E-3	--	66	218	6-8	0,160	>3	No hay	3	38	Seco	---
E-4	--	30	32	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	85	310	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	68	219	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	35	39	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	86	320	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	85	300	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 8 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-4	--	85	130	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	70	122	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	72	136	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	69	230	4-6	0,058	>3	Arcilla	2,5	36	Ligeram. húm.	---
E-4	--	80	278	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	60	200	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	70	206	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	20	40	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	45	50	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	50	226	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	60	218	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	65	270	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	73	239	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	76	80	4-6	0,025	1-3	Arcilla	2,5	41	Ligeram. húm.	---
E-4	--	50	219	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	86	165	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	83	335	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	85	318	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 9 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-4	--	59	230	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	68	50	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	85	286	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	22	240	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	86	320	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	34	237	4-6	0,066	1-3	Arcilla	2,5	25	Ligeram. húm.	---
E-4	--	82	230	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	30	42	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	75	350	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	83	262	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	46	62	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	52	66	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	59	222	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	69	210	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	44	41	--	---	---	---	---	--	---	---
E-4	--	64	232	4-6	0,036	>5	Arcilla	2,5	36	Ligeram. húm.	---
E-5	--	80	242	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	79	330	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 10 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-5	--	40	210	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	60	214	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	52	224	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	84	106	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	85	152	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	86	124	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	72	244	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	81	228	4-6	0,058	>3	Arcilla	3,5	28	Ligeram. húm.	---
E-5	--	60	228	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	82	136	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	81	334	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	62	220	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	20	38	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	61	222	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	80	126	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	75	240	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	42	230	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	63	213	6-8	0,095	>3	Arcilla	3,5	33	Húmedo	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 11 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-5	--	80	315	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	69	260	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	88	305	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	55	228	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	32	20	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	85	68	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	70	260	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	40	38	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	28	42	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	65	223	8-10	0,032	>3	Arcilla	3,5	48	Ligeram. húm.	---
E-5	--	84	126	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	78	32	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	52	30	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	59	234	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	85	156	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	82	320	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	50	210	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	62	218	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 12 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-5	--	45	32	--	---	---	---	---	--	---	---
E-5	--	60	229	4-6	0,094	>3	Arcilla	3,5	33	Ligeram. húm.	---
E-6	--	82	270	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	80	110	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	75	202	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	70	260	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	83	168	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	82	328	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	20	70	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	83	284	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	18	64	--	---	---	---	---	--	---	Plano estratificación
E-6	--	55	58	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	86	250	8-10	0,150	>3	Fluorita	>5	45	Ligeram. húm.	---
E-6	--	60	238	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	80	326	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	80	60	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	45	120	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	71	215	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-6	--	60	126	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	66	260	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	82	332	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	80	264	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	80	252	6-8	0,100	>3	Arcilla	3	20	Ligeram. húm.	---
E-6	--	80	304	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	85	332	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	83	80	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	74	292	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	15	80	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	70	325	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	85	122	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	85	80	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	28	55	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	65	180	8-10	0,034	>5	Fluorita	1,5	28	Seco	---
E-6	--	80	260	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	85	352	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	82	90	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 14 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-6	--	20	190	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	85	140	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	83	90	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	84	320	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	30	20	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	78	272	--	---	---	---	---	--	---	---
E-6	--	89	270	4-6	0,055	>3	Arcilla	1,5	34	Seco	---
E-7	--	80	312	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	80	310	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	78	232	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	40	352	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	82	90	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	80	352	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	62	280	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	80	252	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	70	86	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	84	78	6-8	0,090	1-3	Arcilla	1-3	40	Ligeram. húm.	---
E-7	--	70	80	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 15 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-7	--	65	79	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	68	270	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	82	71	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	76	250	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	87	59	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	85	144	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	40	240	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	70	178	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	71	80	4-6	0,070	>3	Arcilla	1	30	Ligeram. húm.	---
E-7	--	80	350	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	82	80	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	80	266	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	70	72	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	75	342	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	82	330	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	84	60	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	72	218	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	83	222	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 16 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-7	--	20	70	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	65	240	8-10	0,030	1-3	Arcilla	1	36	Ligeram. húm.	---
E-7	--	80	328	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	85	330	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	75	240	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	81	358	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	45	38	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	84	160	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	75	150	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	85	140	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	74	162	--	---	---	---	---	--	---	---
E-7	--	38	16	6-8	0,060	>3	Arcilla	1	28	Ligeram. húm.	Plano estratificación
E-8	--	80	72	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	80	42	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	82	144	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	78	240	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	82	138	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	60	50	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 17 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-8	--	78	242	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	76	174	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	75	320	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	80	76	6-8	0,120	>3	Arcilla	5	44	Ligeram. húm.	---
E-8	--	75	360	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	70	230	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	60	220	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	40	48	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	60	346	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	50	221	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	80	170	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	75	230	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	65	280	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	70	150	4-6	0,125	1-3	Arcilla	4	42	Ligeram. húm.	---
E-8	--	84	120	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	80	180	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	75	282	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	88	332	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 18 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-8	--	80	336	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	70	10	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	60	192	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	55	360	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	70	274	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	88	52	2-4	0,075	1-3	Arcilla	1	31	Húmedo	---
E-8	--	76	244	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	74	248	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	60	242	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	65	250	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	85	330	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	80	50	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	81	40	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	74	248	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	75	240	--	---	---	---	---	--	---	---
E-8	--	73	230	8-10	0,085	1-3	Arcilla	<1	41	Ligeram. húm.	---
E-9	--	50	340	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	72	212	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 19 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-9	--	68	342	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	80	92	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	75	124	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	25	20	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	25	4	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	68	288	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	75	296	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	87	145	10-12	0,120	>3	Arcilla	6	35	Húmedo	---
E-9	--	70	300	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	70	184	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	72	286	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	82	110	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	75	115	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	80	90	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	50	20	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	80	130	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	70	50	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	87	128	6-8	0,060	>3	Arcilla	5	35	Húmedo	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 20 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-9	--	50	240	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	85	130	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	30	360	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	88	320	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	75	310	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	20	318	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	80	130	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	88	132	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	60	235	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	65	248	6-8	0,220	1-3	Arcilla	4	37	Húmedo	---
E-9	--	60	58	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	82	48	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	50	202	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	82	70	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	66	135	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	70	130	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	75	142	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	82	144	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 21 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-9	--	25	20	--	---	---	---	---	--	---	---
E-9	--	72	218	6-8	0,225	>5	Arcilla	>5	30	Húmedo	---
E-10	--	45	50	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	85	320	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	20	160	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	70	30	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	78	286	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	65	258	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	70	242	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	35	42	--	---	---	---	---	--	---	Plano estratificación
E-10	--	50	310	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	84	154	6-8	0,060	>3	Arcilla	3	48	Húmedo	---
E-10	--	75	160	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	80	236	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	35	64	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	74	226	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	76	202	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	80	160	--	---	---	---	---	--	---	---

CARACTERIZACION DE DISCONTINUIDADES

HOJA 22 DE 23

LOCALIZACION		ORIENTACION		JRC	ESPACIADO JUNTAS (m)	CONTINUIDAD (m)	RELLENO JUNTAS	APERTURA JUNTAS (mm)	JCS (R)	HUMEDAD JUNTAS	OBSERVACIONES
ESTAC.	NIVEL	BUZ.	DIREC. BUZ.								
E-10	--	84	150	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	25	40	--	---	---	---	---	--	---	Plano estratificación
E-10	--	85	310	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	85	134	4-6	0,058	>3	Arcilla	1	34	Ligeram. húm.	---
E-10	--	82	318	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	82	130	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	75	244	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	76	280	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	65	62	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	60	190	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	82	304	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	75	210	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	60	28	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	85	222	6-8	0,058	>3	Fluorita	5	30	Seco	---
E-10	--	80	160	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	75	310	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	80	316	--	---	---	---	---	--	---	---
E-10	--	50	130	--	---	---	---	---	--	---	---

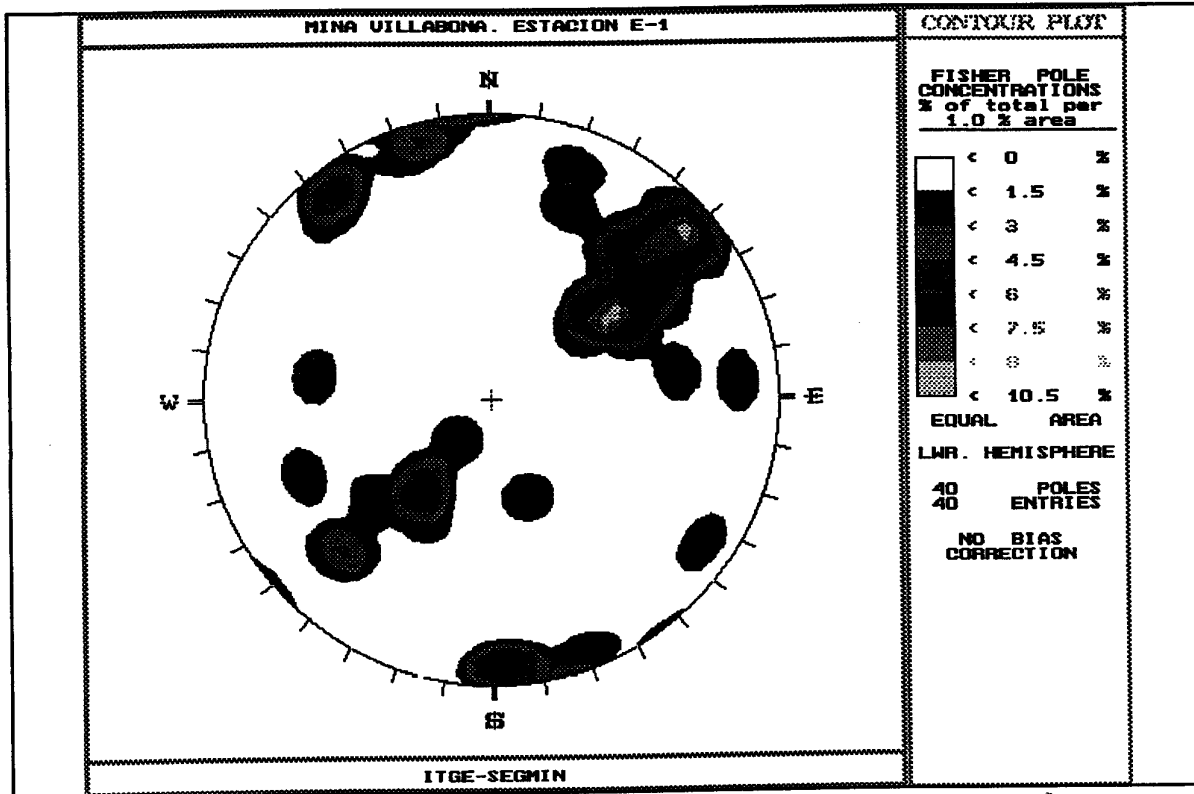
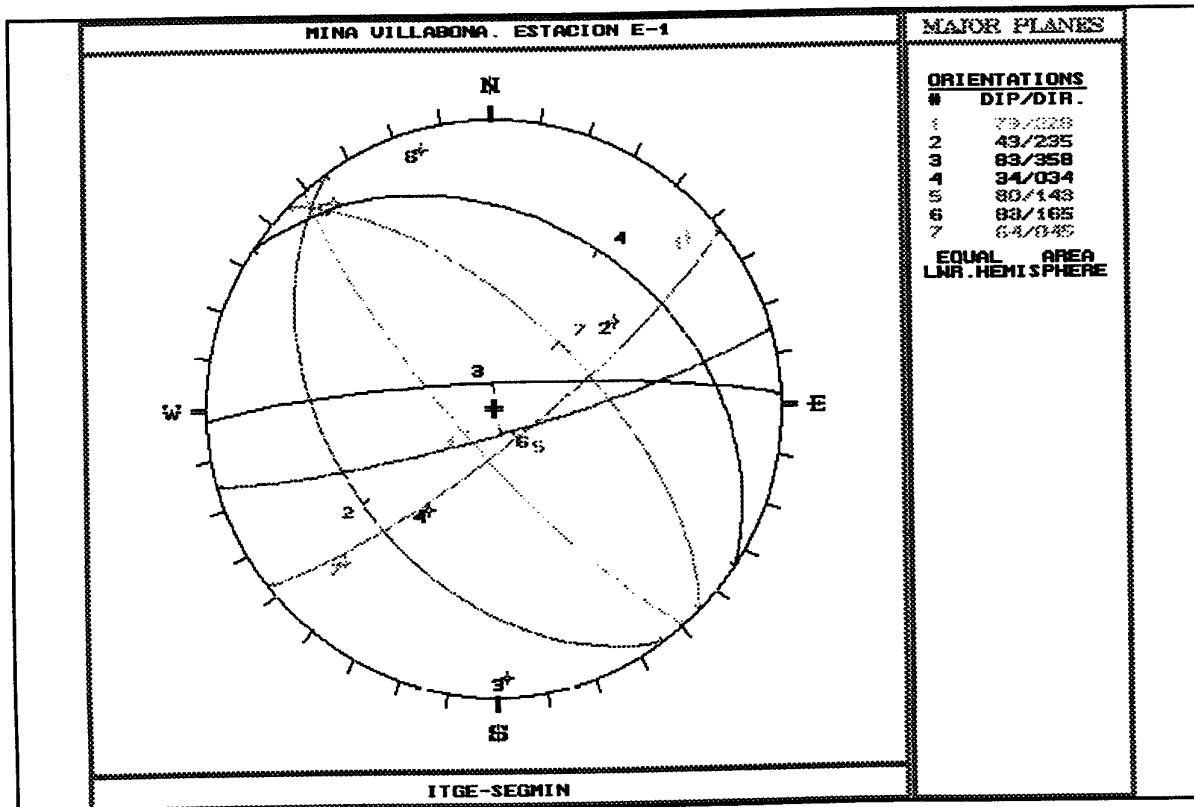
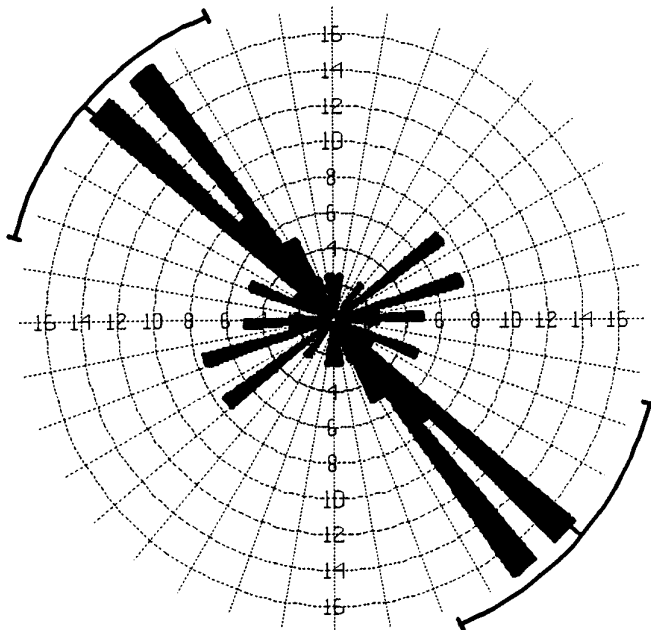


DIAGRAMA EQUIAREAL DE POLOS DE DISCONTINUIDADES



POLOS Y PLANOS MAYORES DE DISCONTINUIDADES



DIACLASAS (E-1)
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 40
 Maximum Percentage ... 17.5 Percent
 Mean Percentage 5.6 Percent
 Standard Deviation ... 4.67 Percent
 Vector Mean 311.26 Degrees
 Confidence Interval .. 26.27 Degrees
 R-mag 0.45

DIAGRAMA DE DIRECCIONES

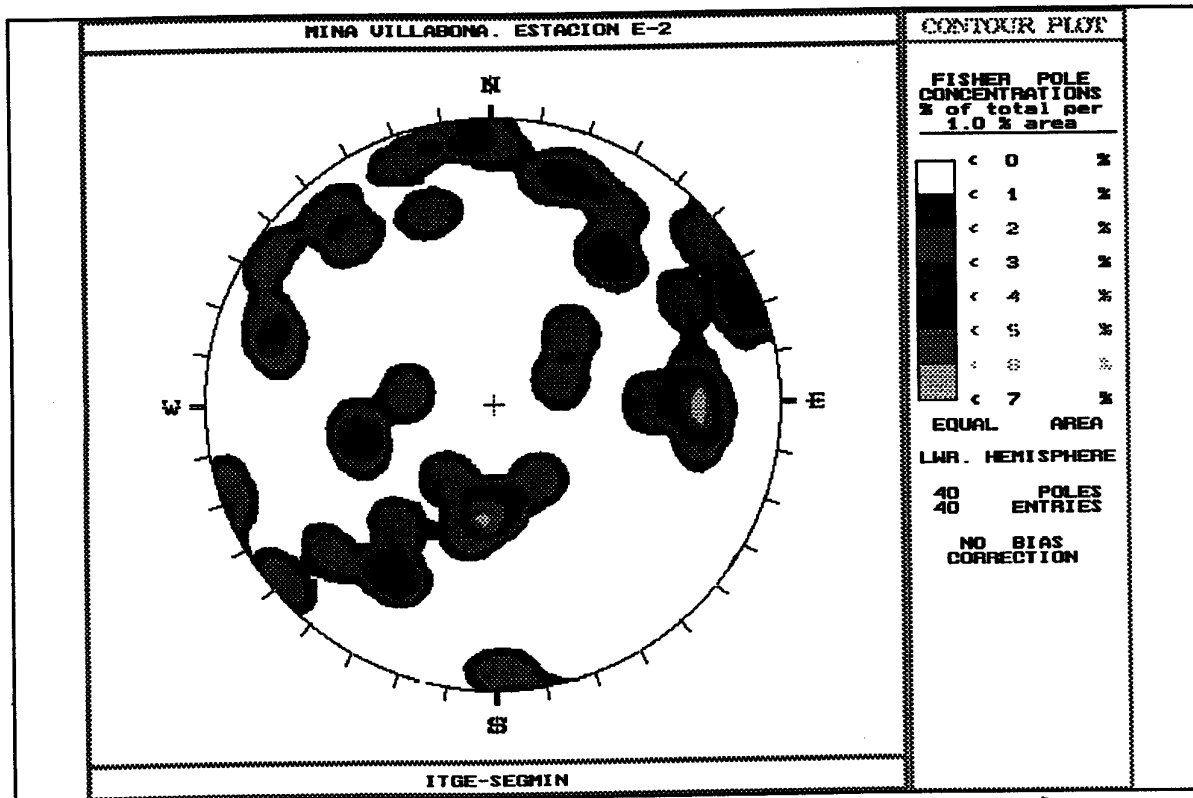
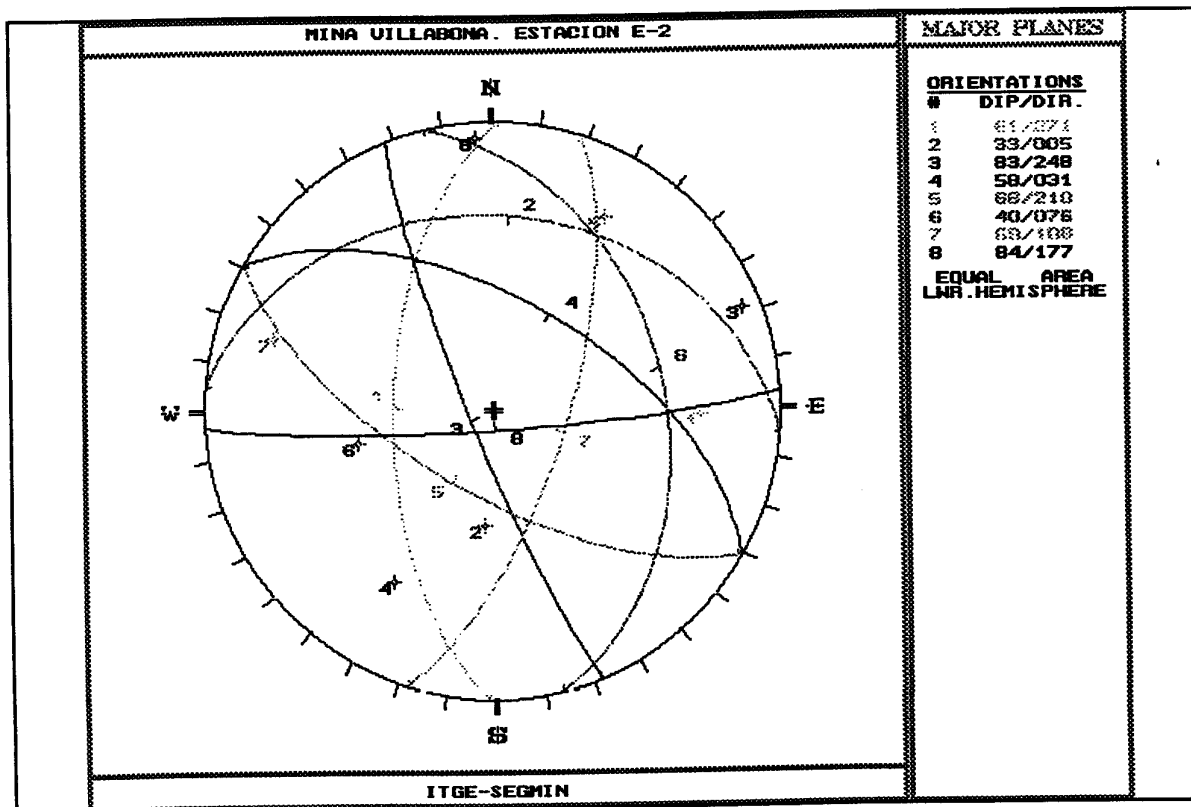
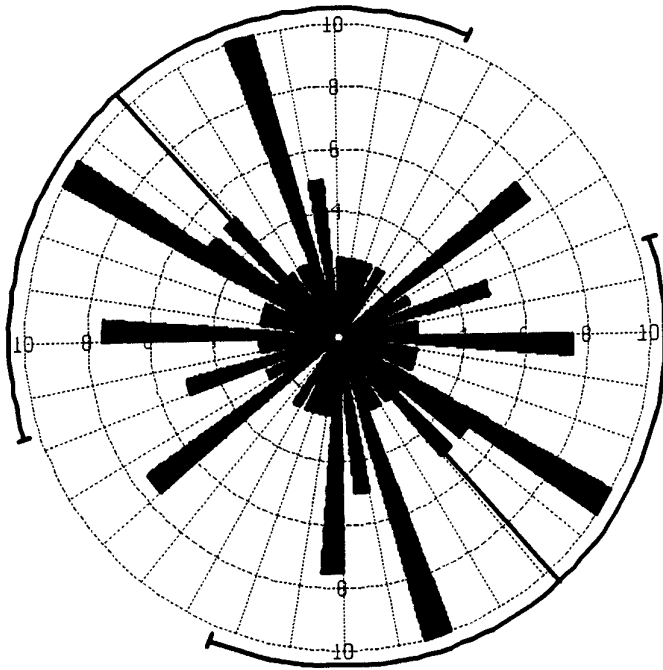


DIAGRAMA EQUIAREAL DE POLOS DE DISCONTINUIDADES



POLOS Y PLANOS MAYORES DE DISCONTINUIDADES



DIACLASAS [-2]
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 40
 Maximum Percentage ... 10 Percent
 Mean Percentage 4.1 Percent
 Standard Deviation ... 2.45 Percent
 Vector Mean 318.56 Degrees
 Confidence Interval .. 65.5 Degrees
 R-mag 0.19

DIAGRAMA DE DIRECCIONES

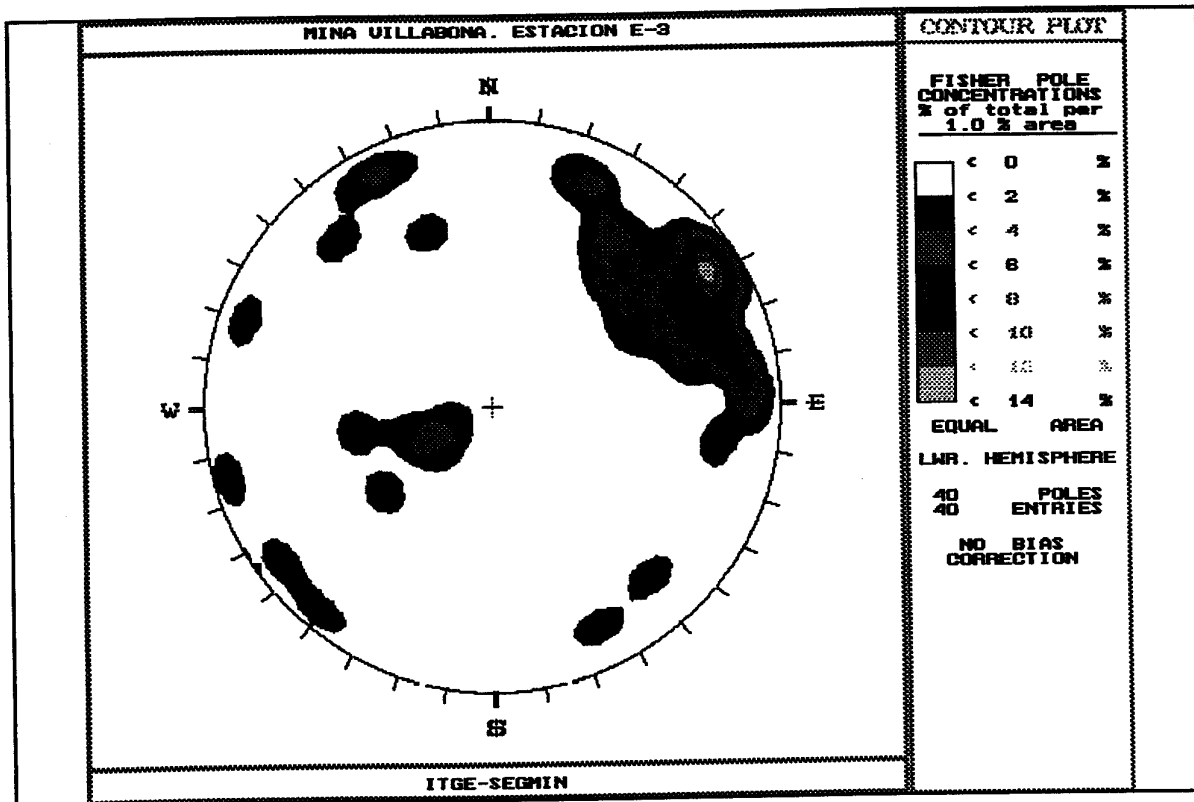
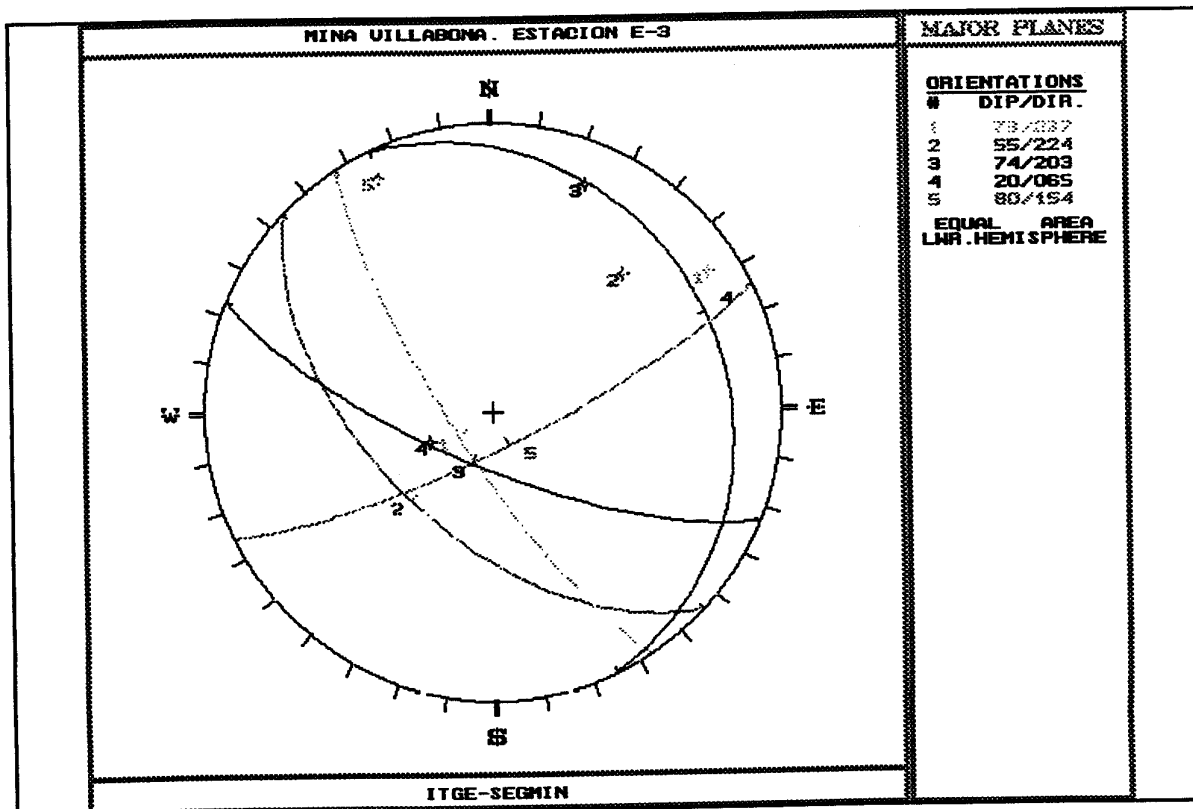
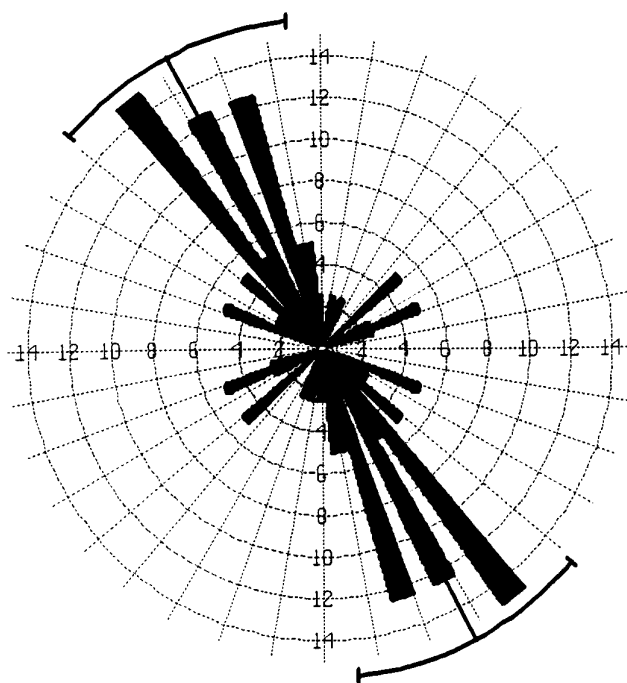


DIAGRAMA EQUIAREAL DE POLOS DE DISCONTINUIDADES



POLOS Y PLANOS MAYORES DE DISCONTINUIDADES



DIACLASAS (E-3)
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 40
 Maximum Percentage ... 15 Percent
 Mean Percentage 5.1 Percent
 Standard Deviation ... 3.78 Percent
 Vector Mean 332.31 Degrees
 Confidence Interval .. 21.7 Degrees
 R-mag 0.53

DIAGRAMA DE DIRECCIONES

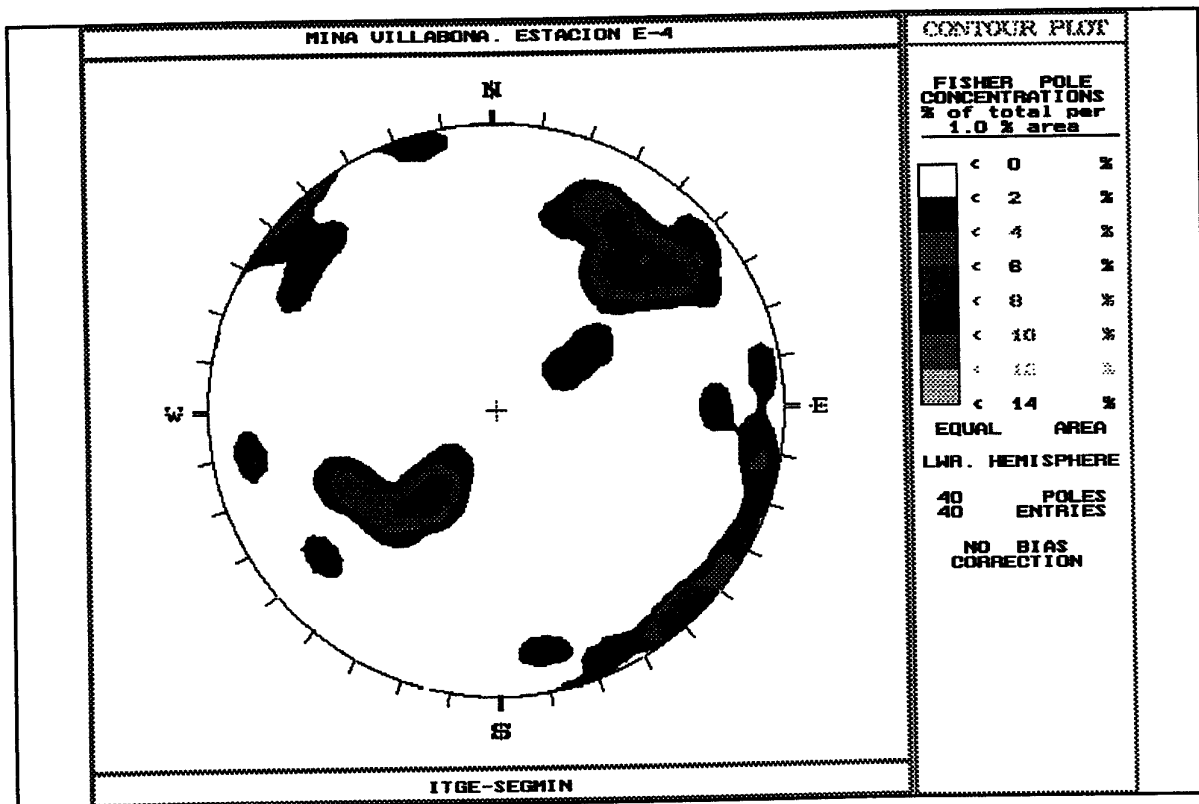
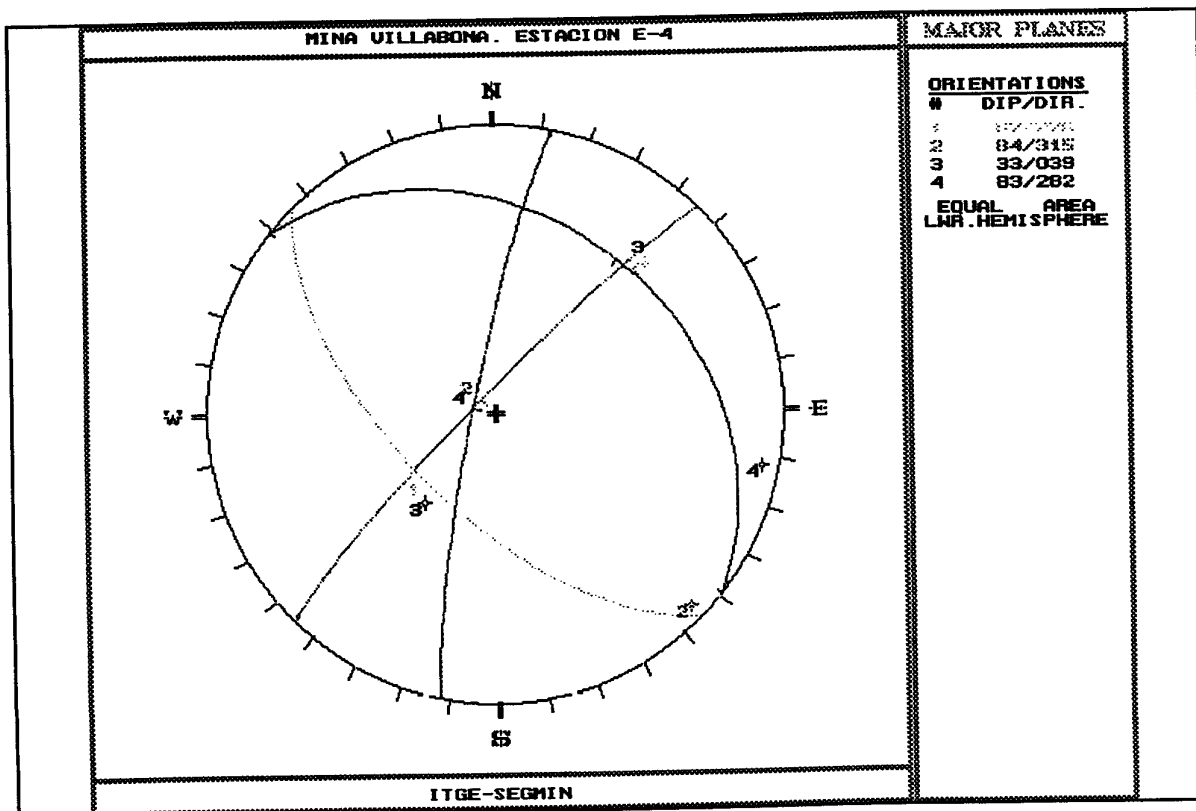
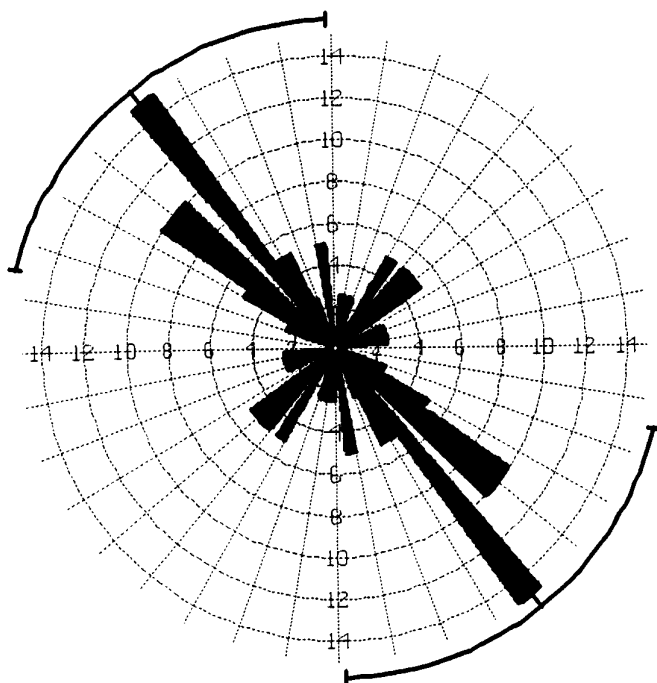


DIAGRAMA EQUIAREAL DE POLOS DE DISCONTINUIDADES



POLOS Y PLANOS MAYORES DE DISCONTINUIDADES



DIACLASAS (E-4)
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 40
 Maximum Percentage ... 15 Percent
 Mean Percentage 4.8 Percent
 Standard Deviation ... 3.23 Percent
 Vector Mean 321.86 Degrees
 Confidence Interval .. 37.13 Degrees
 R-mag 0.33

DIAGRAMA DE DIRECCIONES

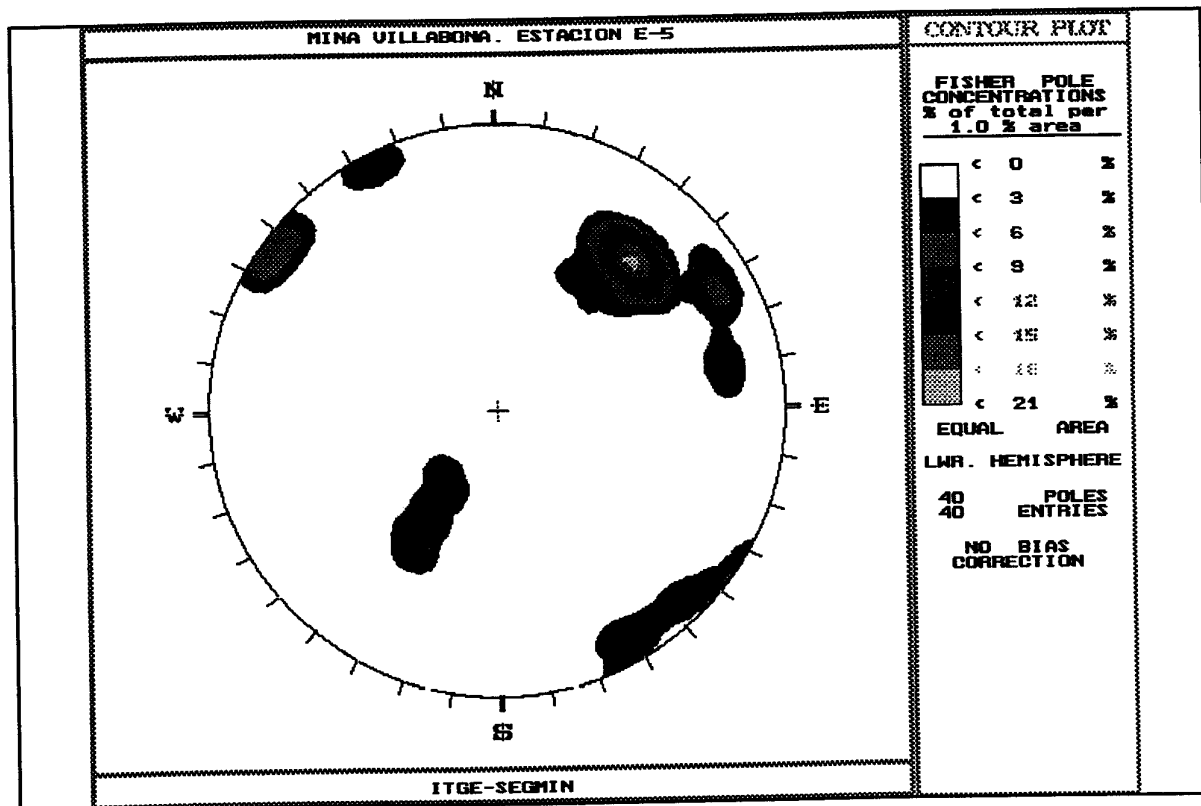
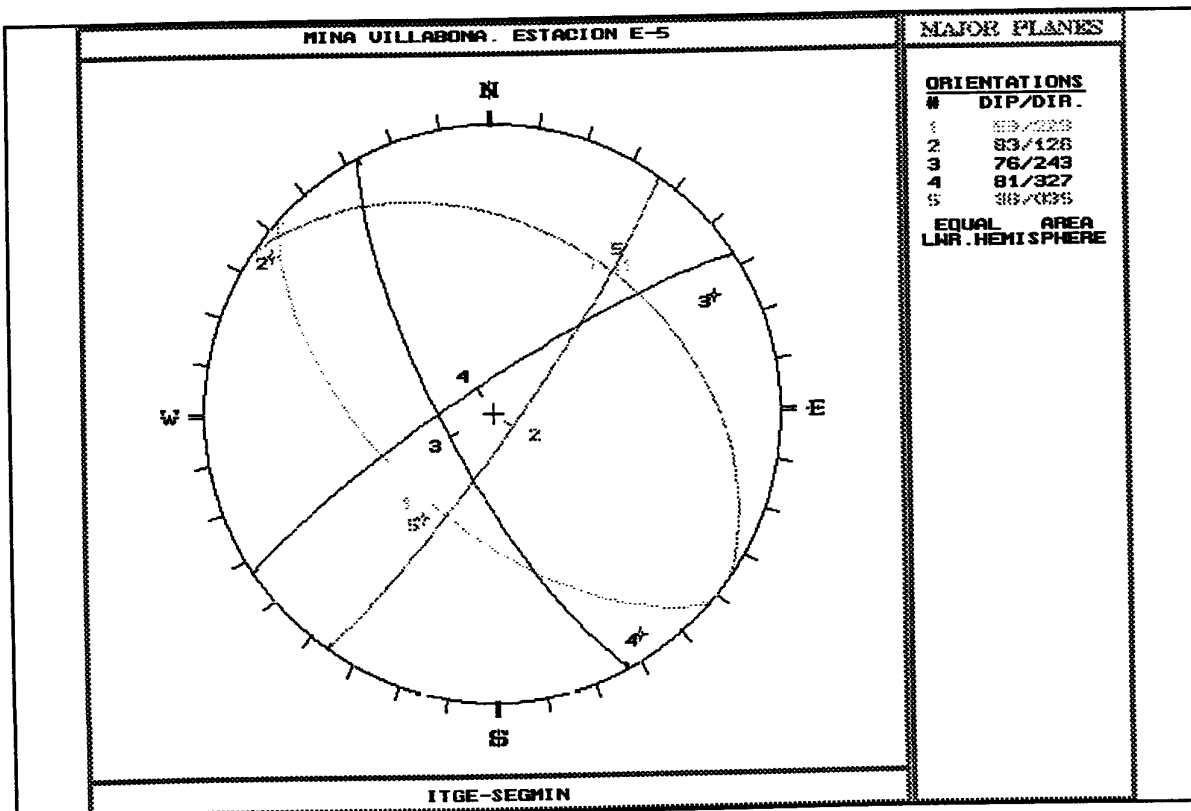
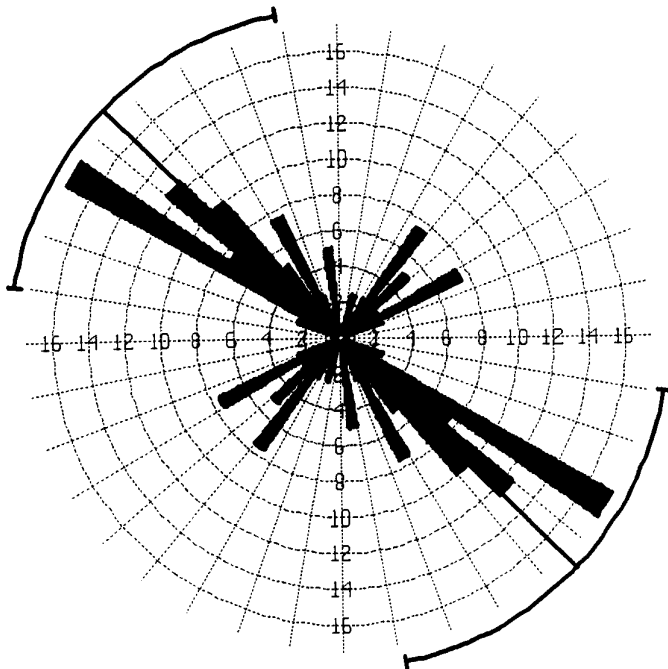


DIAGRAMA EQUIAREAL DE POLOS DE DISCONTINUIDADES



POLOS Y PLANOS MAYORES DE DISCONTINUIDADES



DIACLASAS (E-5)
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 40
 Maximum Percentage ... 17.5 Percent
 Mean Percentage 6.2 Percent
 Standard Deviation ... 4.21 Percent
 Vector Mean 314.39 Degrees
 Confidence Interval .. 34.67 Degrees
 R-mag 0.35

DIAGRAMA DE DIRECCIONES

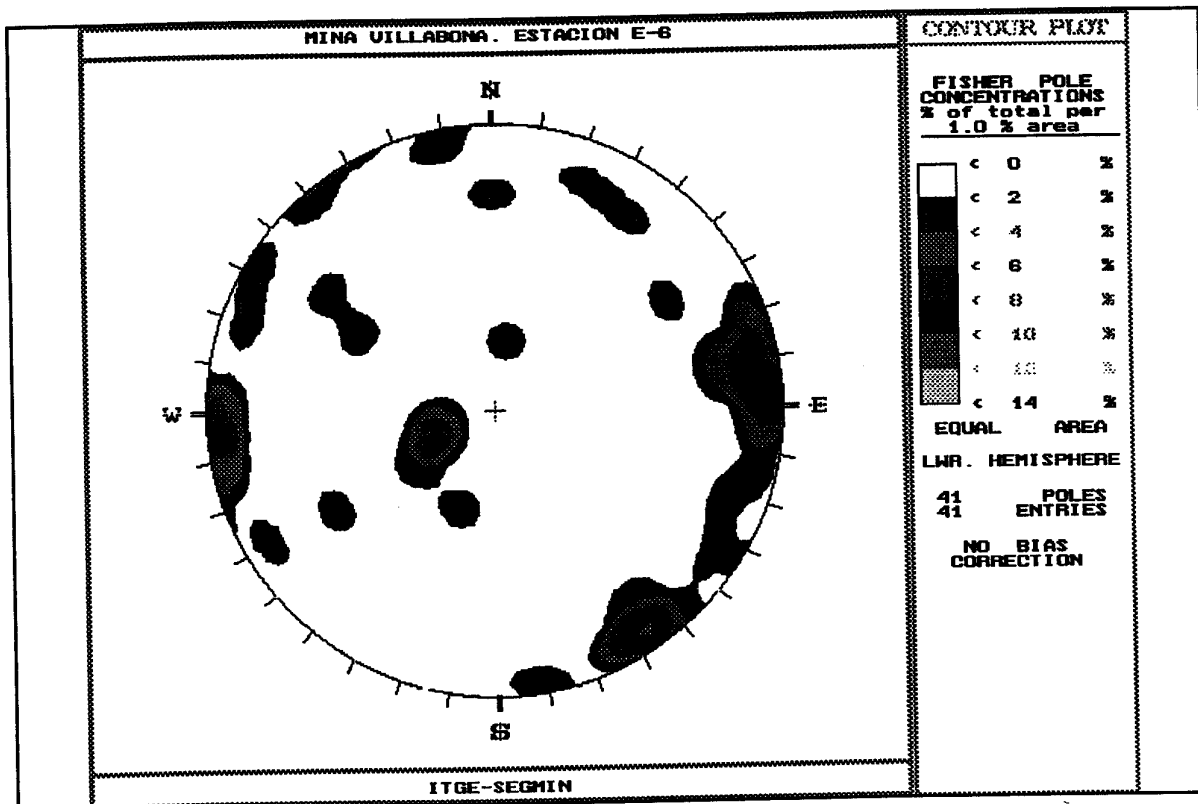
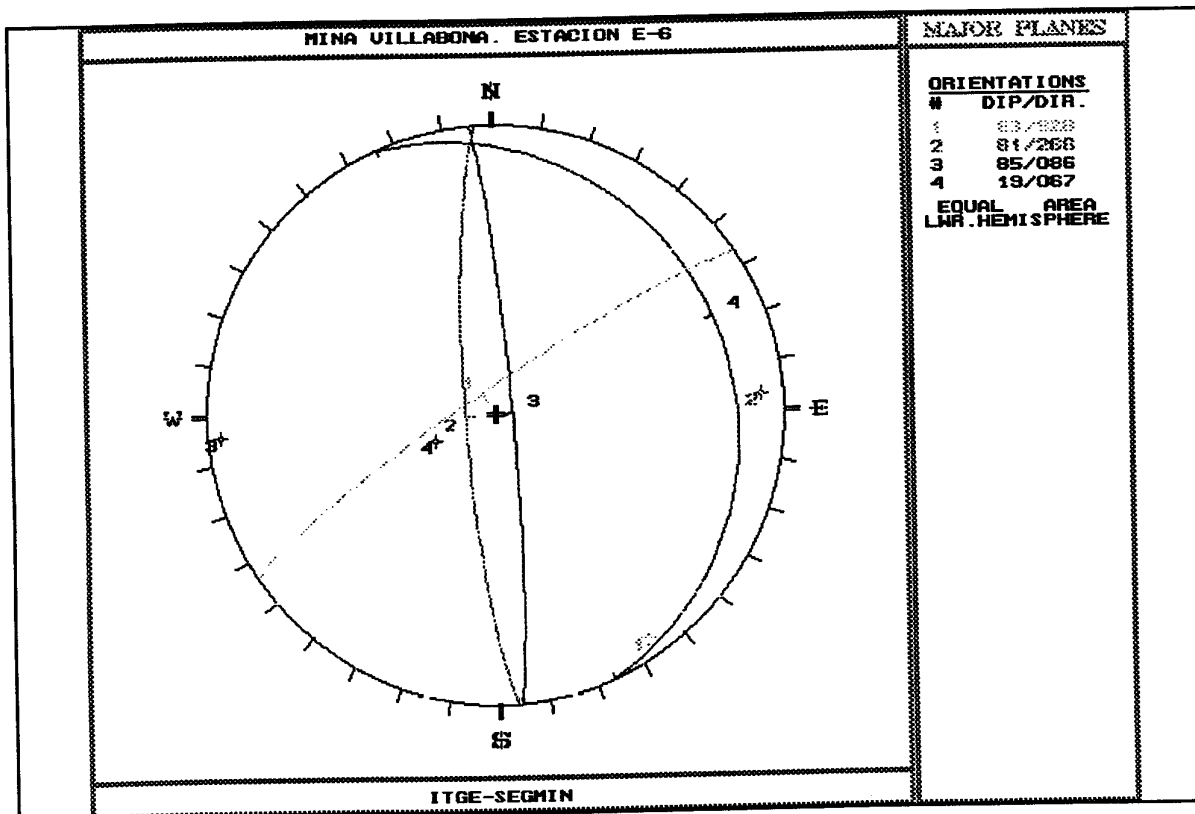
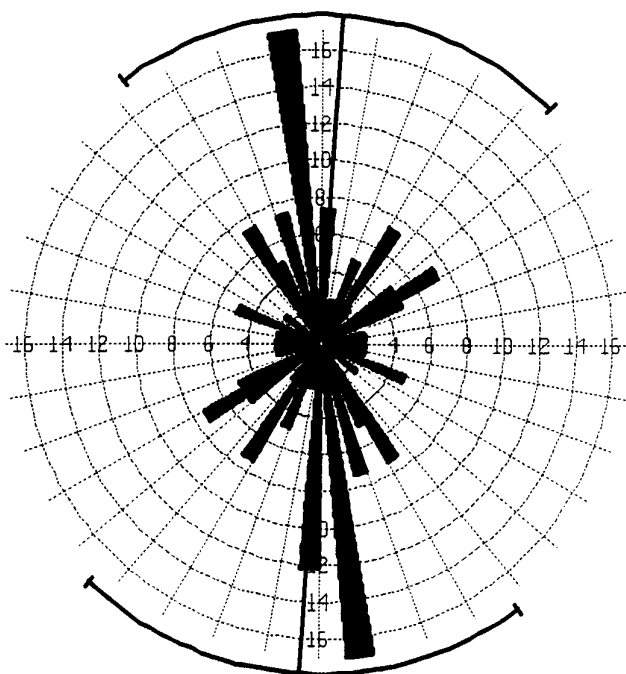


DIAGRAMA EQUIAREAL DE POLOS DE DISCONTINUIDADES



POLOS Y PLANOS MAYORES DE DISCONTINUIDADES



DIACLASAS (E-6)
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 41
 Maximum Percentage ... 17.1 Percent
 Mean Percentage 5.4 Percent
 Standard Deviation ... 3.69 Percent
 Vector Mean 3.41 Degrees
 Confidence Interval .. 40.69 Degrees
 R-mag 0.3

DIAGRAMA DE DIRECCIONES

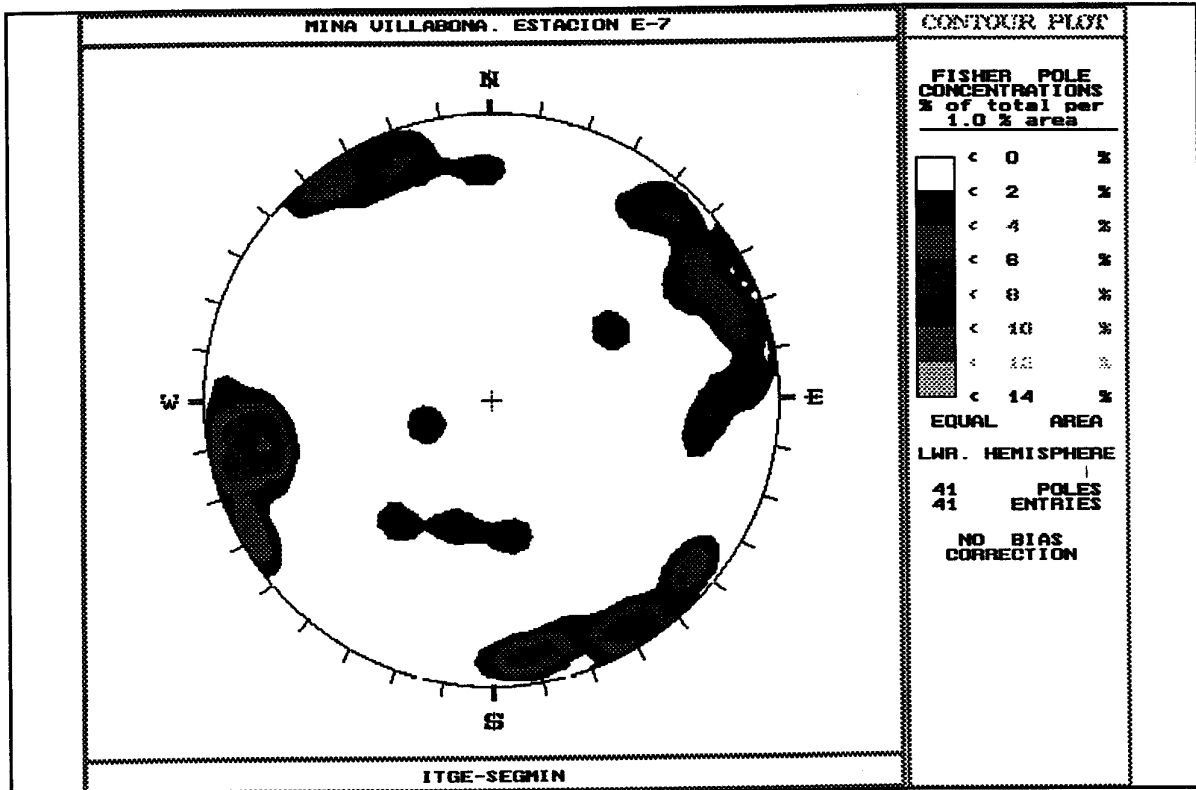
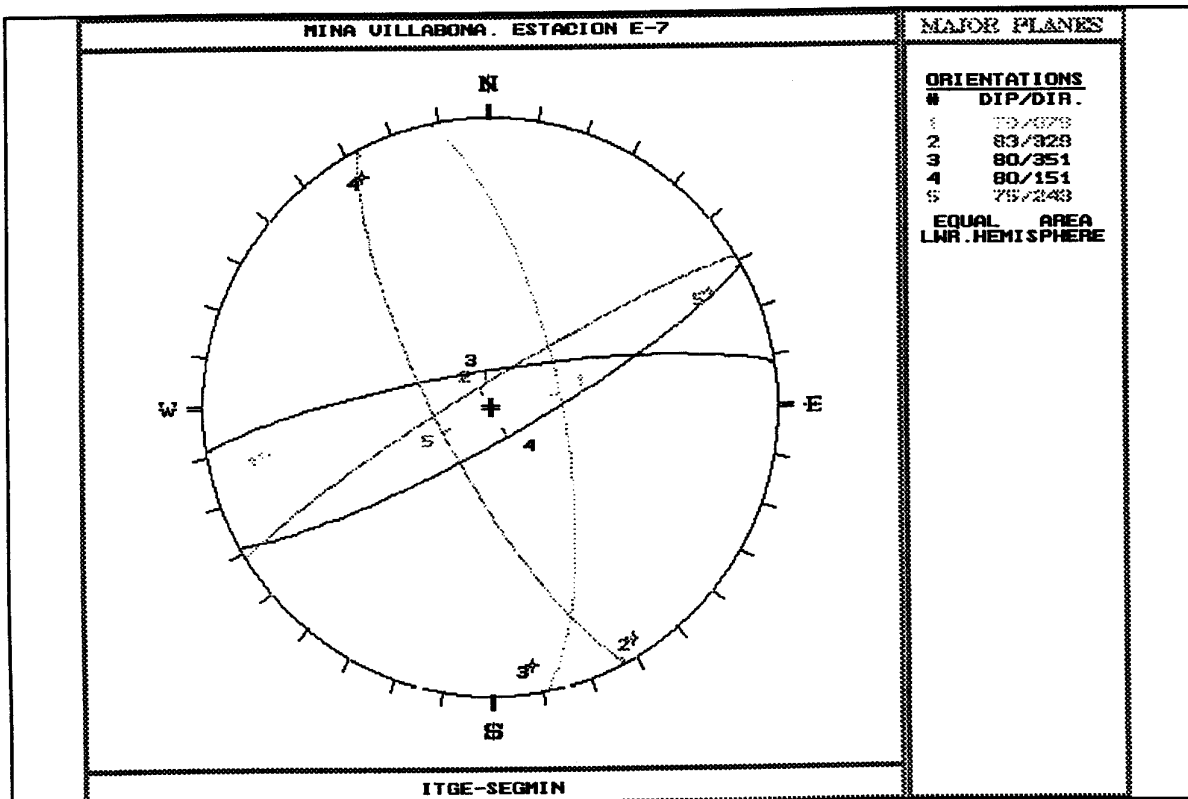
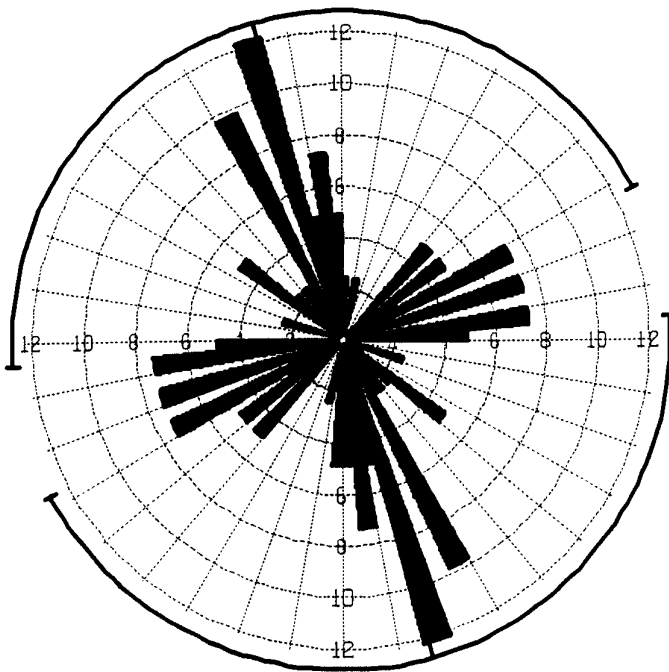


DIAGRAMA EQUIAREAL DE POLOS DE DISCONTINUIDADES



POLOS Y PLANOS MAYORES DE DISCONTINUIDADES



DIACLASAS (E-7)
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 41
 Maximum Percentage ... 12.2 Percent
 Mean Percentage 5.2 Percent
 Standard Deviation ... 2.73 Percent
 Vector Mean 344.15 Degrees
 Confidence Interval .. 78.23 Degrees
 R-mag 0.16

DIAGRAMA DE DIRECCIONES

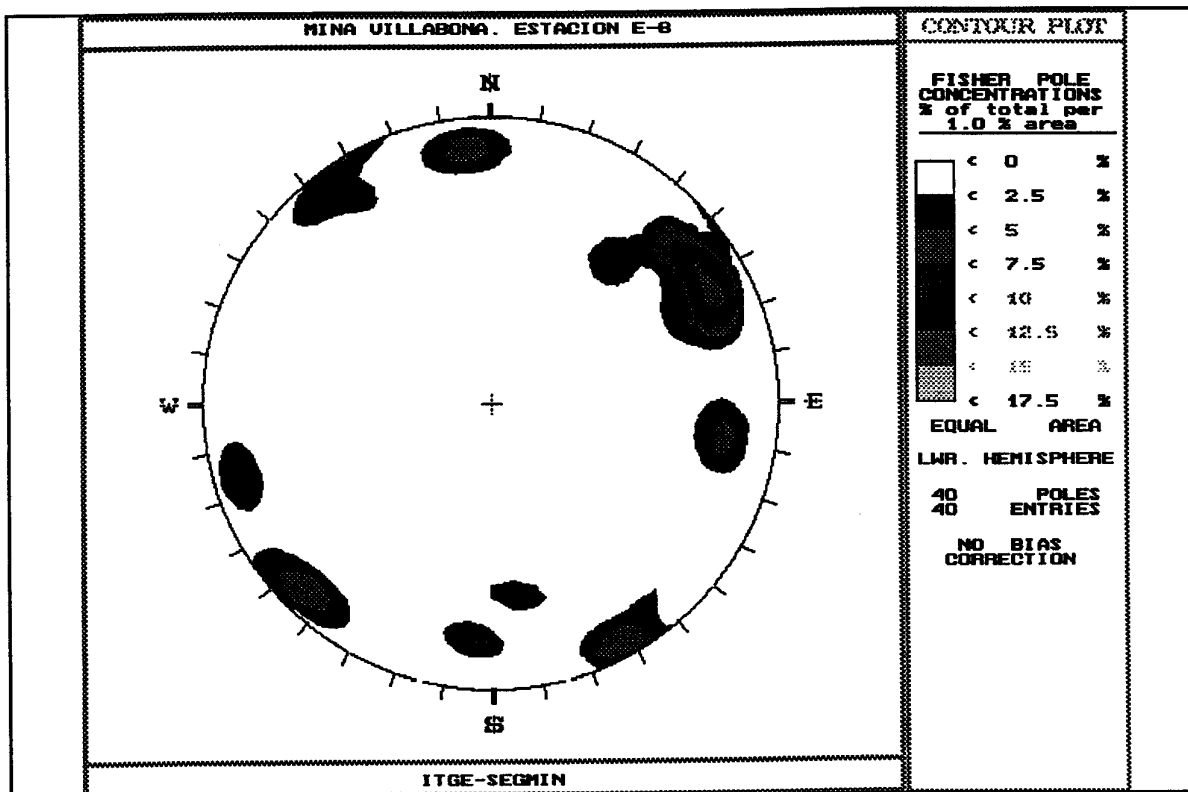
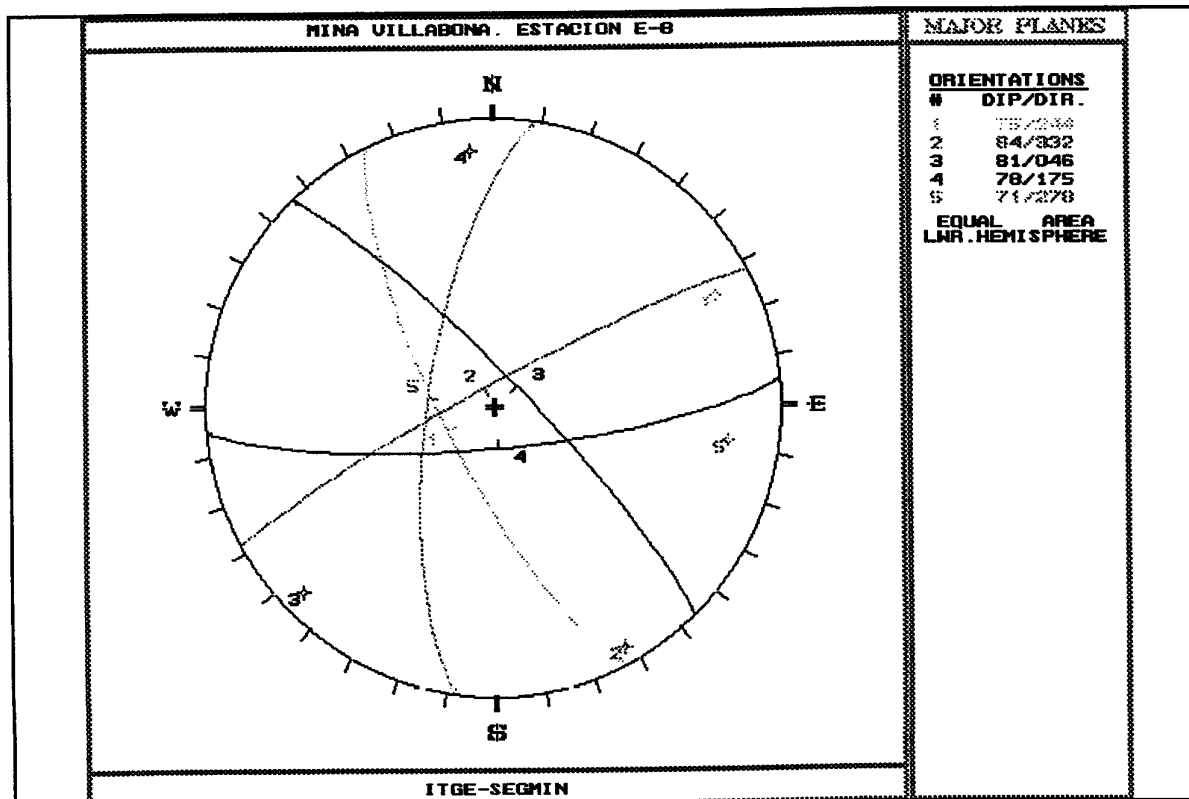
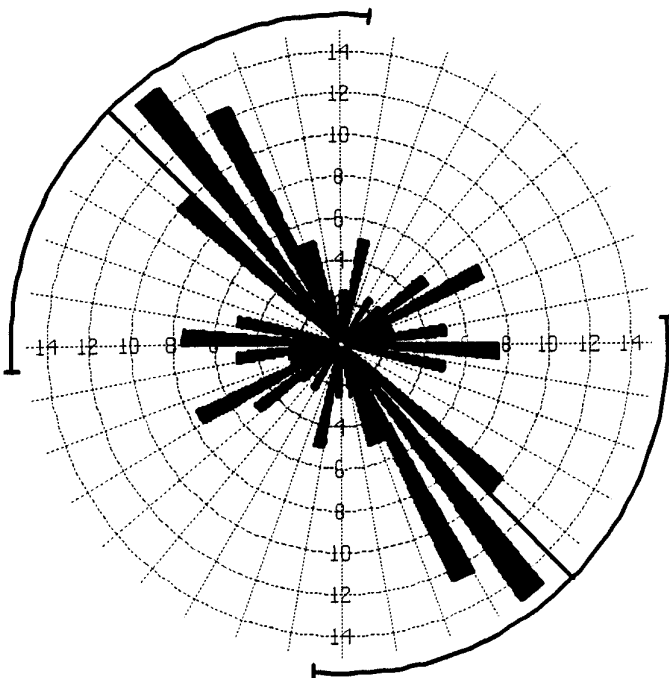


DIAGRAMA EQUIAREAL DE POLOS DE DISCONTINUIDADES



POLOS Y PLANOS MAYORES DE DISCONTINUIDADES



DIACLASAS (E-8)
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 40
 Maximum Percentage ... 15 Percent
 Mean Percentage 5.6 Percent
 Standard Deviation ... 3.64 Percent
 Vector Mean 315.37 Degrees
 Confidence Interval .. 49.78 Degrees
 R-mag 0.25

DIAGRAMA DE DIRECCIONES

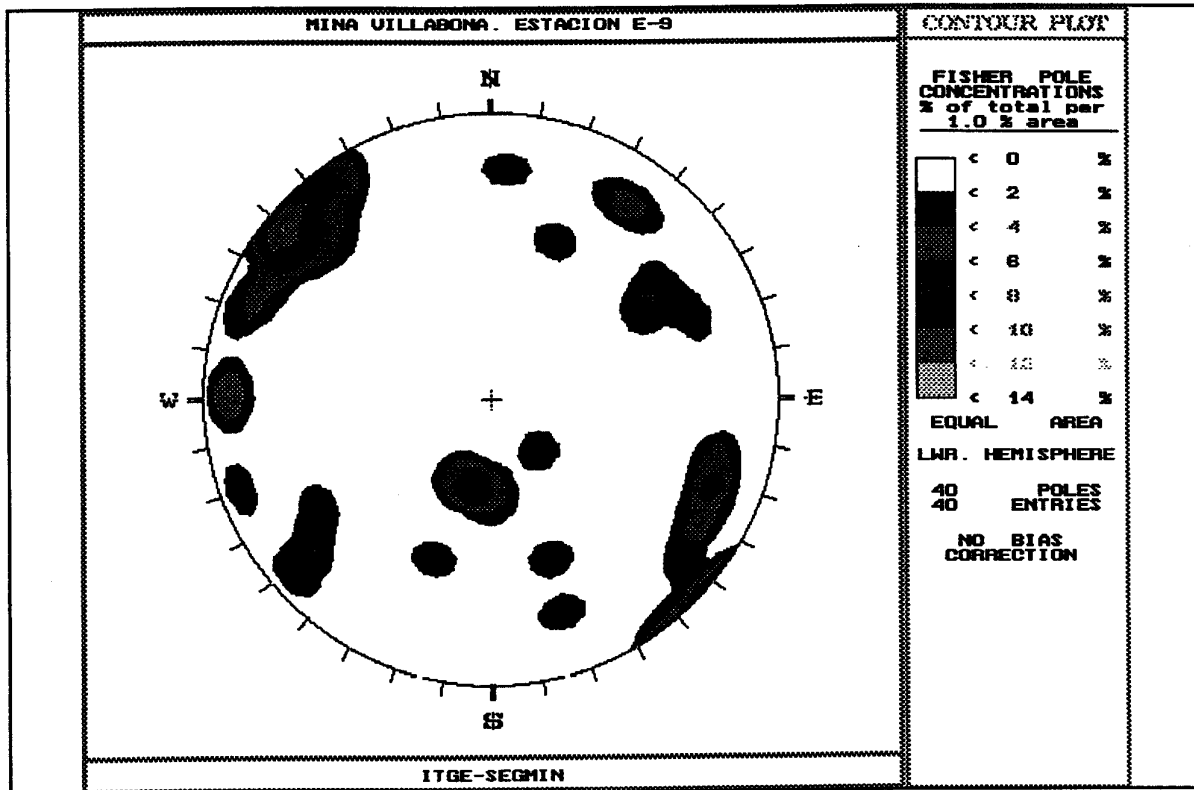
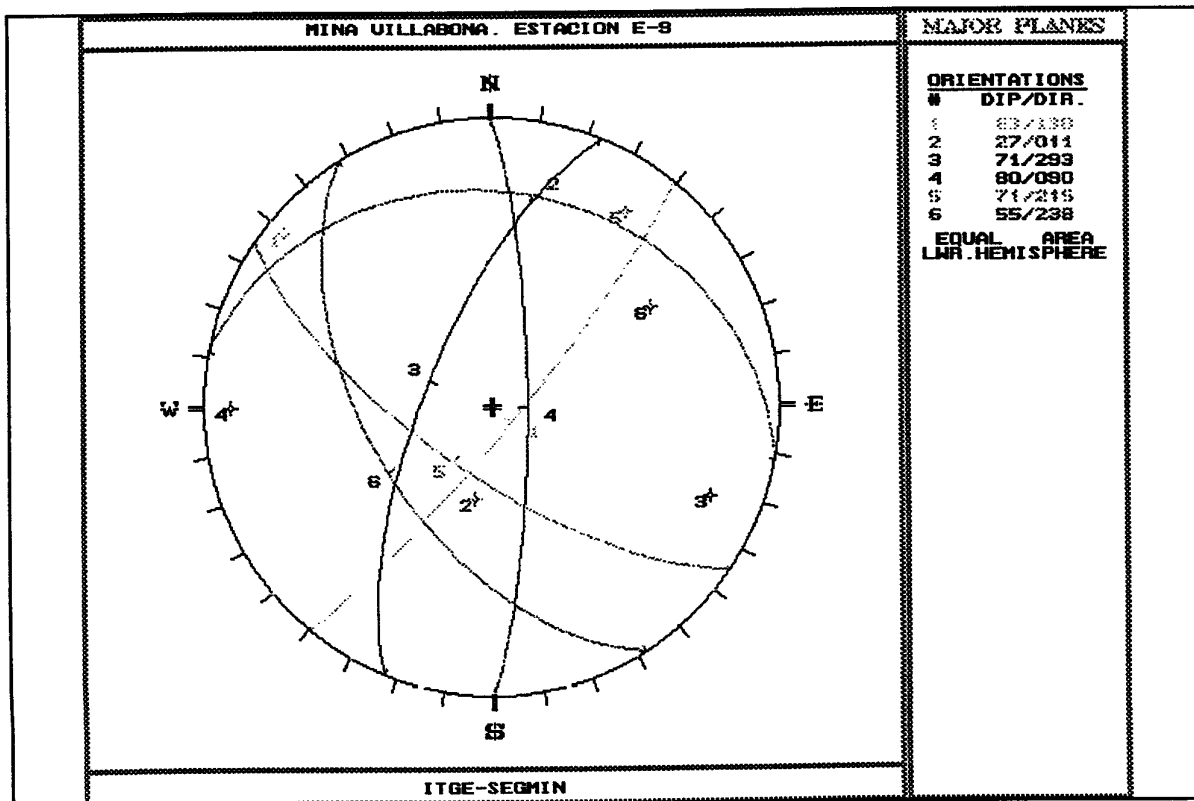
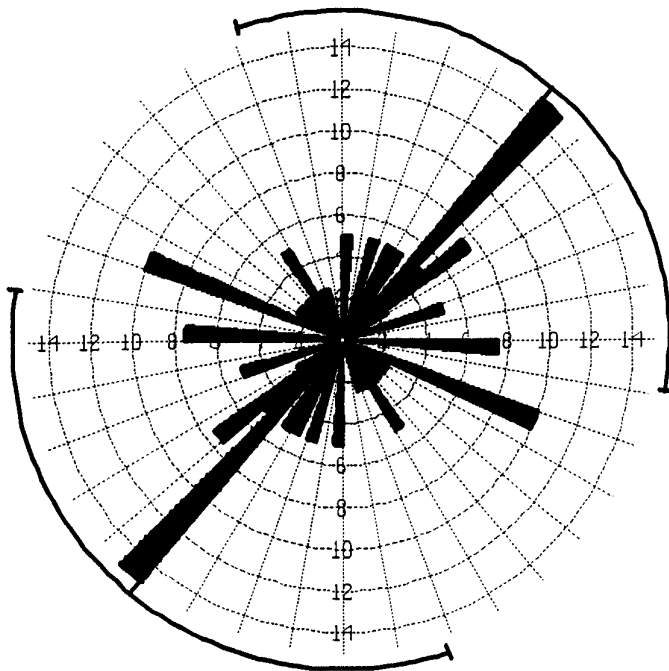


DIAGRAMA EQUIAREAL DE POLOS DE DISCONTINUIDADES



POLOS Y PLANOS MAYORES DE DISCONTINUIDADES



DIACLASAS (E-9)
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 40
 Maximum Percentage ... 15 Percent
 Mean Percentage 4.8 Percent
 Standard Deviation ... 3.11 Percent
 Vector Mean 40.28 Degrees
 Confidence Interval .. 58.9 Degrees
 R-mag 0.21

DIAGRAMA DE DIRECCIONES

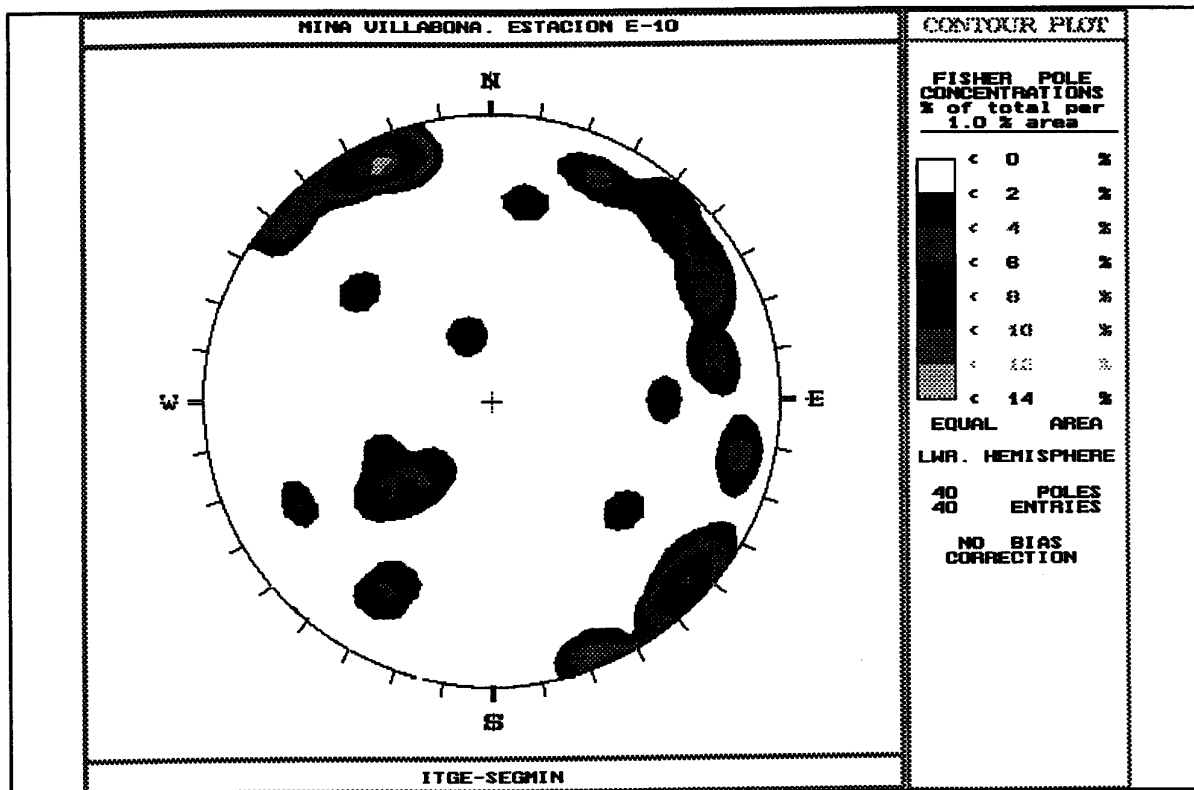
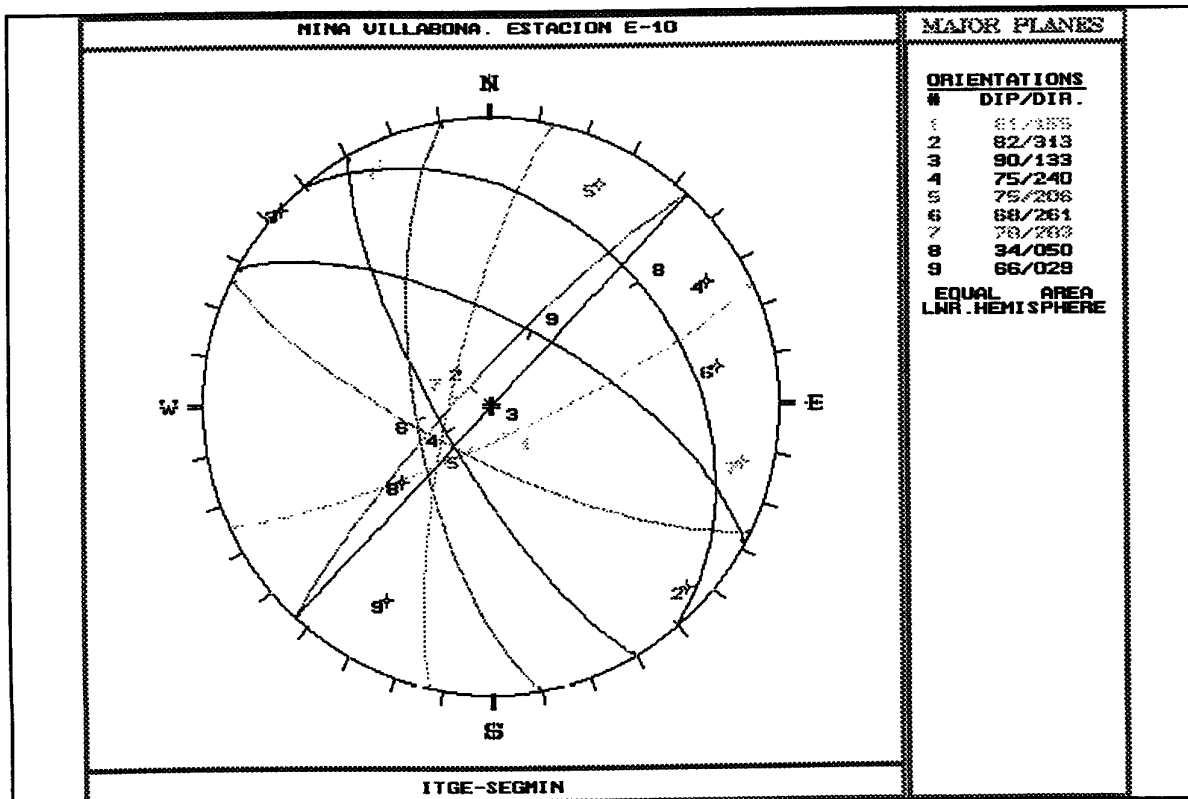
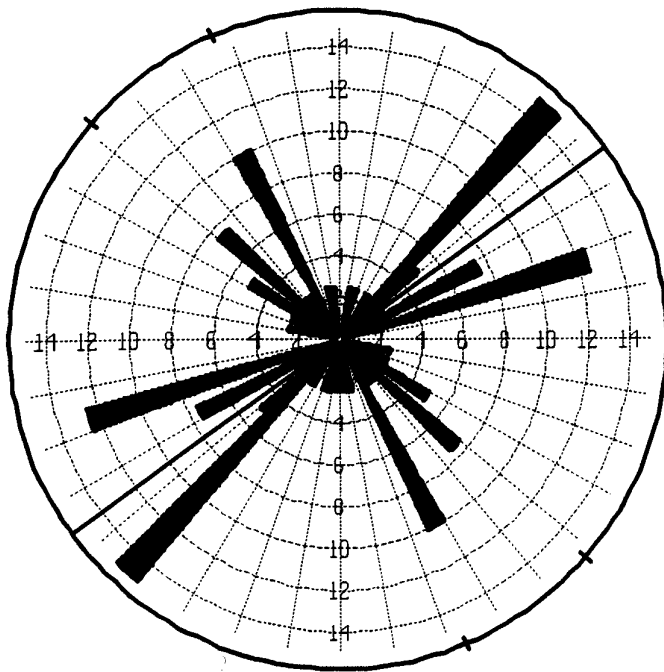


DIAGRAMA EQUIAREAL DE POLOS DE DISCONTINUIDADES



POLOS Y PLANOS MAYORES DE DISCONTINUIDADES



DIACLASAS (E-10)
 Calculation Method ... Frequency
 Class Interval 5 Degrees
 Filtering Deactivated
 Data Type Bidirectional
 Rotation Amount 90 Degrees
 Population 40
 Maximum Percentage ... 15 Percent
 Mean Percentage 4.6 Percent
 Standard Deviation ... 3.66 Percent
 Vector Mean 54.37 Degrees
 Confidence Interval .. 102.99 Degrees
 R-mag 0.12

DIAGRAMA DE DIRECCIONES



D.-METODO DEL AREA ATRIBUIDA.
ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD
DE PILARES (HOJA DE CALCULO)

METODO DEL AREA ATRIBUIDA. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE PILARES. REGION I

Pilar	S. pilar(m2)	S. atribuida(m2)	Coefente	C. terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	Tens. admis.(MPa)	Coef. seg.
M23	23,65	114,15	4,83	247,00	122,00	2,95	124,95	376,16	15,91	32,62	2,05
M24	54,12	186,01	3,44	251,00	119,00	2,95	121,95	648,12	11,98	35,25	2,94
M25	38,10	107,51	2,82	255,00	115,00	3,00	118,00	397,68	10,44	33,73	3,23
M26	16,08	87,29	5,43	257,00	118,00	2,95	120,95	320,65	19,94	31,88	1,60
N22	17,01	76,53	4,50	255,00	114,00	3,00	117,00	285,15	16,76	31,82	1,90
N23	267,77	549,51	2,05	249,00	110,00	3,10	113,10	2016,32	7,53	44,69	5,94
P1	55,38	187,55	3,39	252,00	126,00	2,90	128,90	623,36	11,26	35,60	3,16
P2	41,19	142,68	3,46	255,00	123,00	2,95	125,95	497,15	12,07	34,21	2,83
P3	63,43	160,10	2,52	257,00	117,00	2,90	119,90	592,64	9,34	36,21	3,88
P4	19,56	82,76	4,23	259,00	125,00	2,90	127,90	292,95	14,98	32,39	2,16
P5	40,02	134,97	3,37	259,00	121,00	2,90	123,90	492,33	12,30	34,33	2,79
P6	24,95	93,58	3,75	261,00	123,00	2,90	125,90	341,35	13,68	32,93	2,41
Q1	25,24	101,29	4,01	254,00	116,00	3,00	119,00	369,20	14,63	32,60	2,23
Q2	22,31	92,52	4,15	257,00	116,00	2,95	118,95	344,85	15,46	32,49	2,10
Q3	17,43	84,63	4,86	257,00	117,00	2,95	119,95	313,16	17,97	32,01	1,78
Q4	32,85	122,36	3,72	254,00	115,00	3,00	118,00	449,31	13,68	33,28	2,43
Q5	19,21	80,57	4,19	259,00	119,00	2,90	121,90	298,25	15,53	32,35	2,08
Q6	13,35	59,82	4,48	257,00	118,00	2,95	120,95	219,74	16,46	31,61	1,92

METODO DEL AREA ATRIBUIDA. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE PILARES. REGION II

Pilar	S. pilar(m2)	S. atribuida(m2)	Coefente	C. terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	Tens. admis.(MPa)	Coef. seg.
F1	166,48	426,31	2,56	230,00	122,00	3,10	125,10	1207,44	7,25	40,72	5,61
F2	63,23	211,31	3,34	232,00	126,00	3,10	129,10	587,08	9,28	35,17	3,79
F3	47,05	174,97	3,72	231,00	121,00	3,10	124,10	505,02	10,73	34,02	3,17
F4	46,88	157,96	3,37	237,00	130,00	3,10	133,10	443,13	9,45	34,01	3,60
F5	129,78	295,84	2,28	235,00	126,00	3,10	129,10	845,90	6,52	38,99	5,98
F6	37,82	146,40	3,87	233,00	124,00	3,10	127,10	418,60	11,07	33,31	3,01
G1	101,43	266,16	2,62	222,00	110,00	3,05	113,05	782,95	7,72	37,80	4,90
G2	42,68	141,27	3,31	222,00	107,00	3,05	110,05	427,01	10,00	33,90	3,39
G3	28,10	123,54	4,40	221,00	108,00	3,05	111,05	366,75	13,05	32,68	2,50
H1	54,47	142,48	2,62	225,00	72,00	2,90	74,90	577,43	10,60	35,53	3,35
H2	278,96	518,38	1,86	227,00	76,00	2,90	78,90	2072,85	7,43	46,96	6,32
H3	8,72	48,95	5,61	226,00	70,00	2,80	72,80	202,48	23,22	31,57	1,36
H4	38,63	115,79	3,00	227,00	69,00	2,80	71,80	485,21	12,56	34,67	2,76
H5	33,35	129,72	3,89	233,00	82,00	3,15	85,15	517,84	15,53	32,76	2,11
H6	15,39	85,21	5,54	231,00	80,00	3,05	83,05	340,38	22,12	31,52	1,43
H7	203,50	416,54	2,05	222,00	103,00	3,10	106,10	1303,48	6,41	42,28	6,60
H8	64,60	202,18	3,13	223,00	99,00	3,15	102,15	659,70	10,21	35,02	3,43
H9	188,41	384,79	2,04	238,00	83,00	3,55	86,55	1573,46	8,35	38,71	4,64
K1	36,32	156,35	4,30	235,00	125,00	3,05	128,05	451,48	12,43	33,38	2,69
L1	1836,02	2667,75	1,45	230,00	118,00	3,05	121,05	7847,59	4,27	75,11	17,57
L2	50,02	153,00	3,06	223,00	113,00	3,05	116,05	441,81	8,83	34,46	3,90
L3	27,64	100,25	3,63	220,00	107,00	3,10	110,10	297,47	10,76	32,46	3,02
L4	9,76	76,11	7,80	237,00	127,00	3,05	130,05	219,78	22,52	31,05	1,38
L5	66,81	198,53	2,97	222,00	113,00	3,05	116,05	567,92	8,50	35,66	4,19
L6	25,34	115,06	4,54	221,00	110,00	3,05	113,05	335,36	13,23	32,43	2,45
L7	36,62	130,26	3,56	238,00	128,00	3,05	131,05	376,15	10,27	33,40	3,25
L8	34,18	120,67	3,53	222,00	112,00	3,05	115,05	348,45	10,19	33,20	3,26
L9	180,84	406,98	2,25	239,00	130,00	3,00	133,00	1164,78	6,44	42,10	6,54
L10	68,91	175,32	2,54	237,00	124,00	3,00	127,00	520,70	7,56	36,06	4,77
L11	135,70	269,89	1,99	235,00	125,00	3,00	128,00	779,71	5,75	39,96	6,95
L12	64,86	160,91	2,48	232,00	121,00	3,00	124,00	469,21	7,23	35,78	4,95
L13	251,44	463,33	1,84	229,00	116,00	3,00	119,00	1376,09	5,47	44,98	8,22
L14	154,40	324,15	2,10	235,00	128,00	3,00	131,00	910,21	5,90	40,88	6,94
L15	123,86	313,33	2,53	233,00	122,00	3,00	125,00	913,67	7,38	39,35	5,33
M1	25,91	101,92	3,93	223,00	102,00	3,15	105,15	324,30	12,52	32,15	2,57
M2	49,04	160,64	3,28	230,00	100,00	3,20	103,20	549,97	11,21	33,75	3,01
M3	498,45	847,76	1,70	224,00	106,00	3,10	109,10	2630,01	5,28	51,52	9,76
M4	190,24	368,70	1,94	236,00	100,00	3,25	103,25	1321,51	6,95	40,66	5,85
M5	139,59	313,70	2,25	241,00	96,00	3,45	99,45	1198,91	8,59	37,39	4,35
M6	109,62	251,59	2,30	240,00	92,00	3,60	95,60	980,90	8,95	35,36	3,95
M7	128,38	361,89	2,82	226,00	111,00	3,05	114,05	1093,87	8,52	39,25	4,61
M8	1316,32	1881,77	1,43	238,00	106,00	3,05	109,05	6551,66	4,98	67,90	13,64
M9	207,54	385,07	1,86	243,00	100,00	3,45	103,45	1450,89	6,99	39,99	5,72
M10	106,44	254,11	2,39	243,00	96,00	3,00	99,00	987,98	9,28	38,39	4,14
M11	41,13	142,78	3,47	233,00	107,00	3,00	110,00	474,17	11,53	33,98	2,95
M12	255,54	556,89	2,18	234,00	114,00	3,00	117,00	1759,22	6,88	45,14	6,56
M13	99,53	261,69	2,63	239,00	101,00	3,00	104,00	953,86	9,58	37,99	3,96
M14	36,91	140,19	3,80	245,00	109,00	3,00	112,00	503,42	13,64	33,63	2,47
M15	54,30	148,34	2,73	249,00	105,00	2,80	107,80	565,53	10,41	36,05	3,46
M16	96,14	227,19	2,36	247,00	103,00	2,95	105,95	865,22	9,00	38,10	4,23
M17	140,05	308,41	2,20	244,00	100,00	3,20	103,20	1172,45	8,37	38,85	4,64
M18	76,41	256,82	3,36	239,00	119,00	2,95	121,95	811,64	10,62	36,84	3,47
M19	133,30	324,24	2,43	242,00	114,00	2,95	116,95	1094,75	8,21	40,19	4,89
M20	80,02	225,14	2,81	248,00	110,00	3,00	113,00	820,64	10,26	36,80	3,59
M21	63,26	183,35	2,90	251,00	107,00	3,00	110,00	698,01	11,03	35,67	3,23
M22	201,14	406,73	2,02	250,00	106,00	3,05	109,05	1547,87	7,70	42,58	5,53
N3	90,25	227,43	2,52	241,00	90,00	3,55	93,55	905,43	10,03	34,68	3,46
N4	104,11	248,03	2,38	240,00	85,00	3,60	88,60	1013,90	9,74	35,12	3,61

METODO DEL AREA ATRIBUIDA. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE PILARES. REGION II

Pilar	S. pilar(m2)	S. atribuida(m2)	Coefente	C. terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	Tens. admis.(MPa)	Coef. seg.
N5	349,72	565,13	1,62	241,00	95,00	3,60	98,60	2172,81	6,21	43,21	6,96
N7	128,54	293,68	2,28	247,00	103,00	3,20	106,20	1116,45	8,69	38,31	4,41
N8	102,55	262,50	2,56	244,00	100,00	3,25	103,25	997,57	9,73	36,73	3,78
N9	37,63	103,64	2,75	242,00	97,00	3,70	100,70	395,40	10,51	31,34	2,98
N11	27,56	111,66	4,05	243,00	99,00	3,55	102,55	423,43	15,36	31,12	2,03
N12	19,10	97,01	5,08	246,00	102,00	3,35	105,35	368,40	19,29	31,03	1,61
N13	28,15	133,03	4,73	245,00	104,00	3,40	107,40	494,23	17,56	31,57	1,80
N14	28,73	102,23	3,56	244,00	102,00	3,40	105,40	382,57	13,32	31,61	2,37
N17	14,53	90,03	6,20	249,00	105,00	3,20	108,20	342,26	23,56	31,06	1,32
N18	34,62	138,87	4,01	247,00	107,00	3,25	110,25	512,74	14,81	32,51	2,20
N19	36,73	110,11	3,00	246,00	106,00	3,20	109,20	406,70	11,07	32,85	2,97
N20	72,38	196,59	2,72	247,00	99,00	3,05	102,05	769,38	10,63	36,03	3,39

METODO DEL AREA ATRIBUIDA. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE PILARES. REGION III

Pilar	S. pilar(m2)	S. atribuida(m2)	Coefente	C. terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	Tens. admis.(MPa)	Coef. seg.
A1	29,17	138,06	4,73	201,00	-5,00	3,55	-1,45	754,66	25,87	31,22	1,21
A2	94,99	237,90	2,50	203,00	-1,00	3,60	2,60	1287,23	13,55	34,70	2,56
A3	16,11	77,51	4,81	202,00	-4,00	3,50	-0,50	423,79	26,31	30,48	1,16
A4	61,94	183,40	2,96	200,00	-7,00	3,45	-3,55	1007,94	16,27	33,59	2,06
A5	85,12	222,57	2,61	203,00	-2,00	3,40	1,40	1211,49	14,23	35,08	2,46
B1	74,46	236,57	3,18	199,00	-11,00	3,45	-7,55	1319,32	17,72	34,29	1,94
B2	45,72	165,99	3,63	201,00	-4,00	3,40	-0,60	903,52	19,76	32,77	1,66
C1	293,56	523,96	1,78	205,00	5,00	3,30	8,30	2782,70	9,48	43,89	4,63
C2	296,64	561,12	1,89	209,00	10,00	3,40	13,40	2963,39	9,99	43,21	4,33
C3	197,42	434,13	2,20	213,00	18,00	3,40	21,40	2245,84	11,38	39,94	3,51
D1	50,00	162,07	3,24	203,00	1,00	3,30	4,30	869,49	17,39	33,42	1,92
D2	146,04	345,13	2,36	202,00	0,00	3,40	3,40	1850,66	12,67	37,93	2,99
D3	43,96	145,03	3,30	205,00	4,00	3,35	7,35	773,96	17,61	32,83	1,86
D4	80,07	213,70	2,67	203,00	3,00	3,45	6,45	1134,07	14,16	34,59	2,44
D5	32,40	118,21	3,65	205,00	6,00	3,50	9,50	623,97	19,26	31,57	1,64
D8	44,56	150,43	3,38	205,00	6,00	3,60	9,60	793,64	17,81	32,04	1,80
D9	50,38	136,52	2,71	209,00	13,00	3,50	16,50	709,56	14,08	32,72	2,32
D10	82,66	194,37	2,35	207,00	9,00	3,65	12,65	1019,95	12,34	33,91	2,75
D11	46,16	164,76	3,57	207,00	9,00	3,75	12,75	864,13	18,72	31,69	1,69
D15	63,63	172,41	2,71	209,00	12,00	3,65	15,65	900,06	14,15	32,95	2,33
D19	403,34	842,67	2,09	213,00	17,00	3,45	20,45	4380,91	10,86	45,74	4,21
D20	163,88	331,95	2,03	209,00	13,00	3,55	16,55	1724,86	10,53	37,82	3,59
D23	66,52	196,01	2,95	217,00	24,00	3,20	27,20	1004,47	15,10	34,91	2,31
D24	56,38	149,36	2,65	216,00	22,00	3,30	25,30	769,04	13,64	33,84	2,48
D25	413,83	672,14	1,62	215,00	20,00	3,35	23,35	3478,02	8,40	46,86	5,58
D28	61,57	180,58	2,93	217,00	23,00	3,25	26,25	930,03	15,11	34,38	2,28
I1	251,18	486,91	1,94	221,00	25,00	3,15	28,15	2535,32	10,09	43,68	4,33
I2	77,45	221,78	2,86	219,00	23,00	3,25	26,25	1154,20	14,90	35,34	2,37
I3	118,40	238,73	2,02	218,00	22,00	3,30	25,30	1242,09	10,49	37,25	3,55
I4	80,60	210,41	2,61	216,00	18,00	3,35	21,35	1105,82	13,72	35,06	2,56
I5	40,26	122,61	3,05	219,00	17,00	3,35	20,35	657,62	16,33	32,58	1,99
I9	243,79	414,11	1,70	224,00	28,00	3,20	31,20	2155,69	8,84	43,02	4,87
I10	14,54	55,33	3,81	221,00	24,00	3,30	27,30	289,37	19,90	30,82	1,55
I11	82,32	190,35	2,31	217,00	18,00	3,40	21,40	1005,28	12,21	34,93	2,86
I13	49,87	126,95	2,55	223,00	27,00	3,30	30,30	660,51	13,24	33,41	2,52
I14	73,15	202,04	2,76	221,00	26,00	3,35	29,35	1045,47	14,29	34,64	2,42
I15	25,88	104,96	4,06	219,00	23,00	3,40	26,40	545,81	21,09	31,40	1,49
I16	48,81	131,29	2,69	218,00	18,00	3,40	21,40	696,91	14,28	32,97	2,31
I18	308,41	478,51	1,55	227,00	36,00	3,30	39,30	2425,04	7,86	44,34	5,64
I19	40,83	100,44	2,46	224,00	30,00	3,35	33,35	517,02	12,66	32,62	2,58
I20	90,05	220,12	2,44	221,00	40,00	3,45	43,45	1055,22	11,72	35,11	3,00
I21	9,60	59,69	6,22	228,00	36,00	3,40	39,40	303,95	31,66	30,32	0,96
I22	21,05	92,57	4,40	227,00	36,00	3,45	39,45	468,76	22,27	30,93	1,39
I23	138,78	316,32	2,28	224,00	31,00	3,45	34,45	1618,88	11,67	37,35	3,20
I24	68,71	165,72	2,41	221,00	27,00	3,45	30,45	852,60	12,41	33,97	2,74
I25	104,82	213,92	2,04	219,00	24,00	3,45	27,45	1106,36	10,55	35,83	3,39
I26	50,63	158,44	3,13	228,00	39,00	3,50	42,50	793,55	15,67	32,73	2,09
I27	8,64	52,13	6,03	226,00	35,00	3,50	38,50	263,91	30,54	30,11	0,99
I28	39,69	135,04	3,40	223,00	28,00	3,50	31,50	698,22	17,59	32,05	1,82
I29	57,62	141,83	2,46	222,00	26,00	3,50	29,50	737,16	12,79	33,15	2,59
I30	111,00	246,45	2,22	221,00	23,00	3,45	26,45	1294,56	11,66	36,12	3,10
I32	52,15	138,83	2,66	222,00	24,00	3,50	27,50	729,07	13,98	32,83	2,35
N1	71,32	171,77	2,41	234,00	48,00	3,60	51,60	845,93	11,86	33,53	2,83
N2	1466,74	2076,21	1,42	229,00	45,00	3,60	48,60	10112,80	6,89	61,75	8,96
N6	485,57	862,06	1,78	234,00	54,00	3,60	57,60	4105,82	8,46	46,42	5,49
N10	160,30	282,40	1,76	237,00	54,00	3,40	57,40	1369,41	8,54	38,52	4,51
N15	129,95	227,69	1,75	239,00	61,00	3,30	64,30	1073,99	8,26	37,79	4,57
N16	98,67	188,81	1,91	236,00	62,00	3,30	65,30	870,21	8,82	36,27	4,11

METODO DEL AREA ATRIBUIDA. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE PILARES. REGION III

Pilar	S. pilar(m ²)	S. atribuida(m ²)	Codente	C.terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	Tens. admis.(MPa)	Coef. seg.
N21	75,77	159,04	2,10	241,00	64,00	3,20	67,20	746,31	9,85	35,48	3,60
N24	84,70	166,43	1,96	241,00	62,00	3,20	65,20	789,98	9,33	36,01	3,86
O1	203,35	373,72	1,84	235,00	46,00	3,40	49,40	1872,79	9,21	40,16	4,36
O2	85,28	184,66	2,17	237,00	50,00	3,35	53,35	915,65	10,74	35,31	3,29
O3	45,34	128,26	2,83	235,00	46,00	3,40	49,40	642,74	14,18	32,75	2,31
O4	110,14	226,89	2,06	241,00	58,00	3,25	61,25	1101,15	10,00	37,12	3,71
O5	48,94	149,77	3,06	238,00	48,00	3,35	51,35	754,77	15,42	33,16	2,15
O6	13,18	62,23	4,72	237,00	51,00	3,35	54,35	306,89	23,28	30,61	1,31
O7	17,89	92,57	5,17	239,00	57,00	3,30	60,30	446,64	24,97	31,07	1,24
R1	91,60	172,24	1,88	239,00	74,00	3,30	77,30	751,98	8,21	35,89	4,37

METODO DEL AREA ATRIBUIDA. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD DE PILARES. REGION IV

Pilar	S. pilar(m ²)	S. atribuida(m ²)	Coefente	C. terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	Tens. admis.(MPa)	Coef. seg.
B3	51,80	158,76	3,06	197,00	-19,00	3,40	-15,60	911,31	17,59	33,16	1,88
B4	332,22	602,07	1,81	199,00	-14,00	3,45	-10,55	3406,42	10,25	43,86	4,28
D6	149,39	321,52	2,15	201,00	-10,00	3,50	-6,50	1801,32	12,06	37,52	3,11
D7	233,78	522,85	2,24	199,00	-12,00	3,45	-8,55	2929,97	12,53	40,88	3,26
D12	108,07	256,26	2,37	203,00	3,00	3,50	6,50	1359,59	12,58	35,75	2,84
D13	38,51	121,60	3,16	201,00	-8,00	3,40	-4,60	675,03	17,53	32,29	1,84
D14	59,56	179,84	3,02	198,00	-10,00	3,40	-6,60	993,47	16,68	33,64	2,02
D16	167,46	319,97	1,91	206,00	0,00	3,40	3,40	1750,30	10,45	38,80	3,71
D17	104,44	239,56	2,29	204,00	-4,00	3,40	-0,60	1323,38	12,67	36,06	2,85
D18	80,29	213,46	2,66	201,00	-7,00	3,40	-3,60	1179,20	14,69	34,82	2,37
D21	172,51	344,72	2,00	205,00	-2,00	3,40	1,40	1894,99	10,98	39,00	3,55
D22	48,18	146,98	3,05	204,00	-5,00	3,40	-1,60	815,92	16,93	32,93	1,94
D26	78,64	204,60	2,60	209,00	4,00	3,35	7,35	1113,95	14,17	34,95	2,47
D27	117,86	315,84	2,68	207,00	1,00	3,40	4,40	1727,71	14,66	36,69	2,50
D29	70,07	185,32	2,64	209,00	3,00	3,35	6,35	1013,99	14,47	34,46	2,38
I6	67,10	213,32	3,18	214,00	11,00	3,40	14,40	1149,62	17,13	34,08	1,99
I7	38,48	126,60	3,29	212,00	7,00	3,35	10,35	689,28	17,91	32,45	1,81
I8	127,00	288,25	2,27	211,00	3,00	3,40	6,40	1592,35	12,54	37,11	2,96
I12	53,27	169,68	3,19	213,00	8,00	3,40	11,40	923,60	17,34	33,25	1,92
I17	80,55	228,67	2,84	216,00	13,00	3,45	16,45	1232,04	15,30	34,62	2,26
I31	47,63	155,35	3,26	217,00	15,00	3,45	18,45	832,81	17,48	32,72	1,87
J1	256,85	453,04	1,76	209,00	3,00	3,40	6,40	2478,22	9,65	41,97	4,35
J2	90,18	210,17	2,33	214,00	9,00	3,45	12,45	1143,71	12,68	35,11	2,77
J3	45,14	152,82	3,39	215,00	12,00	3,45	15,45	823,37	18,24	32,56	1,79
J4	32,62	111,87	3,43	216,00	14,00	3,45	17,45	599,72	18,38	31,73	1,73



E.- ESTABILIDAD DEL MURO. ESTIMACION
DE COEFICIENTES DE SEGURIDAD
(HOJA DE CALCULO)

ESTABILIDAD DEL MURO. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD. REGION I

Pilar	S. pilar(m2)	S. atribuida(m2)	C. terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	C.p. muro(MPa)	Coef. seg.
M23	23,65	114,15	247,00	122,00	2,95	124,95	376,16	15,91	2001,05	125,81
M24	54,12	186,01	251,00	119,00	2,95	121,95	648,12	11,98	2104,16	175,70
M25	38,10	107,51	255,00	115,00	3,00	118,00	397,68	10,44	2055,19	196,90
M26	16,08	87,29	257,00	118,00	2,95	120,95	320,65	19,94	1965,77	98,58
N22	17,01	76,53	255,00	114,00	3,00	117,00	285,15	16,76	1970,50	117,55
N23	267,77	549,51	249,00	110,00	3,10	113,10	2016,32	7,53	2476,60	328,90
P1	55,38	187,55	252,00	126,00	2,90	128,90	623,36	11,26	2107,68	187,25
P2	41,19	142,68	255,00	123,00	2,95	125,95	497,15	12,07	2065,34	171,12
P3	63,43	160,10	257,00	117,00	2,90	119,90	592,64	9,34	2129,28	227,90
P4	19,56	82,76	259,00	125,00	2,90	127,90	292,95	14,98	1982,84	132,39
P5	40,02	134,97	259,00	121,00	2,90	123,90	492,33	12,30	2061,55	167,58
P6	24,95	93,58	261,00	123,00	2,90	125,90	341,35	13,68	2006,50	146,66
Q1	25,24	101,29	254,00	116,00	3,00	119,00	369,20	14,63	2007,70	137,25
Q2	22,31	92,52	257,00	116,00	2,95	118,95	344,85	15,46	1995,27	129,08
Q3	17,43	84,63	257,00	117,00	2,95	119,95	313,16	17,97	1972,59	109,79
Q4	32,85	122,36	254,00	115,00	3,00	118,00	449,31	13,68	2036,96	148,93
Q5	19,21	80,57	259,00	119,00	2,90	121,90	298,25	15,53	1981,19	127,61
Q6	13,35	59,82	257,00	118,00	2,95	120,95	219,74	16,46	1951,04	118,53

ESTABILIDAD DEL MURO. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD. REGION II

Pilar	S. pilar(m2)	S. atribulda(m2)	C. terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	C.p. muro(MPa)	Coef. seg.
F1	166,48	426,31	230,00	122,00	3,10	125,10	1207,44	7,25	2333,49	321,74
F2	63,23	211,31	232,00	126,00	3,10	129,10	587,08	9,28	2128,76	229,27
F3	47,05	174,97	231,00	121,00	3,10	124,10	505,02	10,73	2083,59	194,12
F4	46,88	157,96	237,00	130,00	3,10	133,10	443,13	9,45	2083,08	220,38
F5	129,78	295,84	235,00	126,00	3,10	129,10	845,90	6,52	2271,02	348,43
F6	37,82	146,40	233,00	124,00	3,10	127,10	418,60	11,07	2054,25	185,60
G1	101,43	266,16	222,00	110,00	3,05	113,05	782,95	7,72	2216,41	287,13
G2	42,68	141,27	222,00	107,00	3,05	110,05	427,01	10,00	2070,10	206,91
G3	28,10	123,54	221,00	108,00	3,05	111,05	366,75	13,05	2019,15	154,71
H1	54,47	142,48	225,00	72,00	2,90	74,90	577,43	10,60	2105,14	198,58
H2	278,96	518,38	227,00	76,00	2,90	78,90	2072,85	7,43	2490,59	335,18
H3	8,72	48,95	226,00	70,00	2,80	72,80	202,48	23,22	1922,07	82,78
H4	38,63	115,79	227,00	69,00	2,80	71,80	485,21	12,56	2056,96	163,77
H5	33,35	129,72	233,00	82,00	3,15	85,15	517,84	15,53	2038,75	131,30
H6	15,39	85,21	231,00	80,00	3,05	83,05	340,38	22,12	1962,18	88,72
H7	203,50	416,54	222,00	103,00	3,10	106,10	1303,48	6,41	2389,83	373,10
H8	64,60	202,18	223,00	99,00	3,15	102,15	659,70	10,21	2132,31	208,80
H9	188,41	384,79	238,00	83,00	3,55	86,55	1573,46	8,35	2367,54	283,49
K1	36,32	156,35	235,00	125,00	3,05	128,05	451,48	12,43	2049,16	164,85
L1	1836,02	2667,75	230,00	118,00	3,05	121,05	7847,59	4,27	3571,76	835,65
L2	50,02	153,00	223,00	113,00	3,05	116,05	441,81	8,83	2092,41	236,89
L3	27,64	100,25	220,00	107,00	3,10	110,10	297,47	10,76	2017,35	187,45
L4	9,76	76,11	237,00	127,00	3,05	130,05	219,78	22,52	1929,14	85,67
L5	66,81	198,53	222,00	113,00	3,05	116,05	567,92	8,50	2137,94	251,51
L6	25,34	115,06	221,00	110,00	3,05	113,05	335,36	13,23	2008,11	151,73
L7	36,62	130,26	238,00	128,00	3,05	131,05	376,15	10,27	2050,19	199,60
L8	34,18	120,67	222,00	112,00	3,05	115,05	348,45	10,19	2041,71	200,27
L9	180,84	406,98	239,00	130,00	3,00	133,00	1164,78	6,44	2356,02	365,79
L10	68,91	175,32	237,00	124,00	3,00	127,00	520,70	7,56	2143,21	283,64
L11	135,70	269,89	235,00	125,00	3,00	128,00	779,71	5,75	2281,65	397,09
L12	64,86	160,91	232,00	121,00	3,00	124,00	469,21	7,23	2132,98	294,84
L13	251,44	463,33	229,00	116,00	3,00	119,00	1376,09	5,47	2455,64	448,70
L14	154,40	324,15	235,00	128,00	3,00	131,00	910,21	5,90	2313,77	392,49
L15	123,86	313,33	233,00	122,00	3,00	125,00	913,67	7,38	2260,15	306,39
M1	25,91	101,92	223,00	102,00	3,15	105,15	324,30	12,52	2010,44	160,62
M2	49,04	160,64	230,00	100,00	3,20	103,20	549,97	11,21	2089,53	186,32
M3	498,45	847,76	224,00	106,00	3,10	109,10	2630,01	5,28	2723,14	516,10
M4	190,24	368,70	236,00	100,00	3,25	103,25	1321,51	6,95	2370,29	341,22
M5	139,59	313,70	241,00	96,00	3,45	99,45	1198,91	8,59	2288,50	266,45
M6	109,62	251,59	240,00	92,00	3,60	95,60	980,90	8,95	2232,89	249,54
M7	128,38	361,89	226,00	111,00	3,05	114,05	1093,87	8,52	2268,48	266,24
M8	1316,32	1881,77	238,00	106,00	3,05	109,05	6551,66	4,98	3300,18	663,05
M9	207,54	385,07	243,00	100,00	3,45	103,45	1450,89	6,99	2395,66	342,68
M10	106,44	254,11	243,00	96,00	3,00	99,00	987,98	9,28	2226,57	239,88
M11	41,13	142,78	233,00	107,00	3,00	110,00	474,17	11,53	2065,15	179,13
M12	255,54	556,89	234,00	114,00	3,00	117,00	1759,22	6,88	2460,97	357,47
M13	99,53	261,69	239,00	101,00	3,00	104,00	953,86	9,58	2212,49	230,86
M14	36,91	140,19	245,00	109,00	3,00	112,00	503,42	13,64	2051,18	150,39
M15	54,30	148,34	249,00	105,00	2,80	107,80	565,53	10,41	2104,66	202,08
M16	96,14	227,19	247,00	103,00	2,95	105,95	865,22	9,00	2205,40	245,06
M17	140,05	308,41	244,00	100,00	3,20	103,20	1172,45	8,37	2289,31	273,46
M18	76,41	256,82	239,00	119,00	2,95	121,95	811,64	10,62	2161,41	203,48
M19	133,30	324,24	242,00	114,00	2,95	116,95	1094,75	8,21	2277,37	277,30
M20	80,02	225,14	248,00	110,00	3,00	113,00	820,64	10,26	2169,85	211,58
M21	63,26	183,35	251,00	107,00	3,00	110,00	698,01	11,03	2128,84	192,93
M22	201,14	406,73	250,00	106,00	3,05	109,05	1547,87	7,70	2386,40	310,10

ESTABILIDAD DEL MURO. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD. REGION II

Pilar	S. pilar(m ²)	S. atribuida(m ²)	C. terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	C.p. muro(MPa)	Coef. seg.
N3	90,25	227,43	241,00	90,00	3,55	93,55	905,43	10,03	2192,79	218,57
N4	104,11	248,03	240,00	85,00	3,60	88,60	1013,90	9,74	2221,87	228,15
N5	349,72	565,13	241,00	95,00	3,60	98,60	2172,81	6,21	2573,24	414,17
N7	128,54	293,68	247,00	103,00	3,20	106,20	1116,45	8,69	2268,77	261,21
N8	102,55	262,50	244,00	100,00	3,25	103,25	997,57	9,73	2218,70	228,08
N9	37,63	103,64	242,00	97,00	3,70	100,70	395,40	10,51	2053,61	195,44
N11	27,56	111,66	243,00	99,00	3,55	102,55	423,43	15,36	2017,04	131,28
N12	19,10	97,01	246,00	102,00	3,35	105,35	368,40	19,29	1980,67	102,69
N13	28,15	133,03	245,00	104,00	3,40	107,40	494,23	17,56	2019,35	115,02
N14	28,73	102,23	244,00	102,00	3,40	105,40	382,57	13,32	2021,60	151,82
N17	14,53	90,03	249,00	105,00	3,20	108,20	342,26	23,56	1957,58	83,11
N18	34,62	138,87	247,00	107,00	3,25	110,25	512,74	14,81	2043,26	137,96
N19	36,73	110,11	246,00	106,00	3,20	109,20	406,70	11,07	2050,56	185,19
N20	72,38	196,59	247,00	99,00	3,05	102,05	769,38	10,63	2151,75	202,43

ESTABILIDAD DEL MURO. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD. REGION III

Pilar	S. pilar(m2)	S. atribuida(m2)	C. terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	C.p. muro(MPa)	Coef. seg.
A1	29,17	138,06	201,00	-5,00	3,55	-1,45	754,66	25,87	2023,29	78,21
A2	94,99	237,90	203,00	-1,00	3,60	2,60	1287,23	13,55	2202,97	162,57
A3	16,11	77,51	202,00	-4,00	3,50	-0,50	423,79	26,31	1965,93	74,73
A4	61,94	183,40	200,00	-7,00	3,45	-3,55	1007,94	16,27	2125,39	130,61
A5	85,12	222,57	203,00	-2,00	3,40	1,40	1211,49	14,23	2181,46	153,27
B1	74,46	236,57	199,00	-11,00	3,45	-7,55	1319,32	17,72	2156,77	121,72
B2	45,72	165,99	201,00	-4,00	3,40	-0,60	903,52	19,76	2079,55	105,23
C1	293,56	523,96	205,00	5,00	3,30	8,30	2782,70	9,48	2508,43	264,63
C2	296,64	561,12	209,00	10,00	3,40	13,40	2963,39	9,99	2512,14	251,47
C3	197,42	434,13	213,00	18,00	3,40	21,40	2245,84	11,38	2380,95	209,30
D1	50,00	162,07	203,00	1,00	3,30	4,30	869,49	17,39	2092,35	120,32
D2	146,04	345,13	202,00	0,00	3,40	3,40	1850,66	12,67	2299,66	181,47
D3	43,96	145,03	205,00	4,00	3,35	7,35	773,96	17,61	2074,12	117,81
D4	80,07	213,70	203,00	3,00	3,45	6,45	1134,07	14,16	2169,97	153,21
D5	32,40	118,21	205,00	6,00	3,50	9,50	623,97	19,26	2035,33	105,69
D8	44,56	150,43	205,00	6,00	3,60	9,60	793,64	17,81	2075,98	116,56
D9	50,38	136,52	209,00	13,00	3,50	16,50	709,56	14,08	2093,46	148,64
D10	82,66	194,37	207,00	9,00	3,65	12,65	1019,95	12,34	2175,90	176,34
D11	46,16	164,76	207,00	9,00	3,75	12,75	864,13	18,72	2080,90	111,16
D15	63,63	172,41	209,00	12,00	3,65	15,65	900,06	14,15	2129,80	150,57
D19	403,34	842,67	213,00	17,00	3,45	20,45	4380,91	10,86	2630,41	242,17
D20	163,88	331,95	209,00	13,00	3,55	16,55	1724,86	10,53	2329,30	221,31
D23	66,52	196,01	217,00	24,00	3,20	27,20	1004,47	15,10	2137,21	141,53
D24	56,38	149,36	216,00	22,00	3,30	25,30	769,04	13,64	2110,44	154,72
D25	413,83	672,14	215,00	20,00	3,35	23,35	3478,02	8,40	2641,14	314,25
D28	61,57	180,58	217,00	23,00	3,25	26,25	930,03	15,11	2124,42	140,64
I1	251,18	486,91	221,00	25,00	3,15	28,15	2535,32	10,09	2455,30	243,25
I2	77,45	221,78	219,00	23,00	3,25	26,25	1154,20	14,90	2163,86	145,20
I3	118,40	238,73	218,00	22,00	3,30	25,30	1242,09	10,49	2249,90	214,47
I4	80,60	210,41	216,00	18,00	3,35	21,35	1105,82	13,72	2171,19	158,25
I5	40,26	122,61	219,00	17,00	3,35	20,35	657,62	16,33	2062,33	126,26
I9	243,79	414,11	224,00	28,00	3,20	31,20	2155,69	8,84	2445,59	276,58
I10	14,54	55,33	221,00	24,00	3,30	27,30	289,37	19,90	1957,63	98,37
I11	82,32	190,35	217,00	18,00	3,40	21,40	1005,28	12,21	2175,13	178,12
I13	49,87	126,95	223,00	27,00	3,30	30,30	660,51	13,24	2091,97	157,95
I14	73,15	202,04	221,00	26,00	3,35	29,35	1045,47	14,29	2153,62	150,69
I15	25,88	104,96	219,00	23,00	3,40	26,40	545,81	21,09	2010,32	95,32
I16	48,81	131,29	218,00	18,00	3,40	21,40	696,91	14,28	2088,85	146,30
I18	308,41	478,51	227,00	36,00	3,30	39,30	2425,04	7,86	2526,13	321,27
I19	40,83	100,44	224,00	30,00	3,35	33,35	517,02	12,66	2064,18	163,01
I20	90,05	220,12	221,00	40,00	3,45	43,45	1055,22	11,72	2192,35	187,09
I21	9,60	59,69	228,00	36,00	3,40	39,40	303,95	31,66	1928,08	60,90
I22	21,05	92,57	227,00	36,00	3,45	39,45	468,76	22,27	1989,67	89,35
I23	138,78	316,32	224,00	31,00	3,45	34,45	1618,88	11,67	2287,08	196,06
I24	68,71	165,72	221,00	27,00	3,45	30,45	852,60	12,41	2142,72	172,68
I25	104,82	213,92	219,00	24,00	3,45	27,45	1106,36	10,55	2223,31	210,64
I26	50,63	158,44	228,00	39,00	3,50	42,50	793,55	15,67	2094,18	133,61
I27	8,64	52,13	226,00	35,00	3,50	38,50	263,91	30,54	1921,50	62,91
I28	39,69	135,04	223,00	28,00	3,50	31,50	698,22	17,59	2060,47	117,13
I29	57,62	141,83	222,00	26,00	3,50	29,50	737,16	12,79	2113,84	165,23
I30	111,00	246,45	221,00	23,00	3,45	26,45	1294,56	11,66	2235,61	191,69
I32	52,15	138,83	222,00	24,00	3,50	27,50	729,07	13,98	2098,57	150,11
N1	71,32	171,77	234,00	48,00	3,60	51,60	845,93	11,86	2149,17	181,19
N2	1466,74	2076,21	229,00	45,00	3,60	48,60	10112,80	6,89	3383,58	490,75
N6	485,57	862,06	234,00	54,00	3,60	57,60	4105,82	8,46	2711,13	320,63
N10	160,30	282,40	237,00	54,00	3,40	57,40	1369,41	8,54	2323,49	271,98

ESTABILIDAD DEL MURO. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD. REGION III

Pilar	S. pilar(m ²)	S. atribuida(m ²)	C.terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	C.p. muro(MPa)	Coef. seg.
N15	129,95	227,69	239,00	61,00	3,30	64,30	1073,99	8,26	2271,33	274,83
N16	98,67	188,81	236,00	62,00	3,30	65,30	870,21	8,82	2210,70	250,66
N21	75,77	159,04	241,00	64,00	3,20	67,20	746,31	9,85	2159,90	219,29
N24	84,70	166,43	241,00	62,00	3,20	65,20	789,98	9,33	2180,51	233,79
O1	203,35	373,72	235,00	46,00	3,40	49,40	1872,79	9,21	2389,61	259,47
O2	85,28	184,66	237,00	50,00	3,35	53,35	915,65	10,74	2181,82	203,21
O3	45,34	128,26	235,00	46,00	3,40	49,40	642,74	14,18	2078,39	146,61
O4	110,14	226,89	241,00	58,00	3,25	61,25	1101,15	10,00	2233,92	223,44
O5	48,94	149,77	238,00	48,00	3,35	51,35	754,77	15,42	2089,23	135,47
O6	13,18	62,23	237,00	51,00	3,35	54,35	306,89	23,28	1950,08	83,75
O7	17,89	92,57	239,00	57,00	3,30	60,30	446,64	24,97	1974,86	79,10
R1	91,60	172,24	239,00	74,00	3,30	77,30	751,98	8,21	2195,71	267,46

ESTABILIDAD DEL MURO. ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD. REGION IV

Pilar	S. pilar(m2)	S. atribulda(m2)	C. terreno	C. muro	Alt. pilar(m)	C.techo	Carga(MN)	Tens.(MPa)	C.p. muro(MPa)	Coef. seg.
B3	51,80	158,76	197,00	-19,00	3,40	-15,60	911,31	17,59	2097,57	119,23
B4	332,22	602,07	199,00	-14,00	3,45	-10,55	3406,42	10,25	2553,64	249,05
D6	149,39	321,52	201,00	-10,00	3,50	-6,50	1801,32	12,06	2305,36	191,19
D7	233,78	522,85	199,00	-12,00	3,45	-8,55	2929,97	12,53	2432,20	194,06
D12	108,07	256,26	203,00	3,00	3,50	6,50	1359,59	12,58	2229,82	177,24
D13	38,51	121,60	201,00	-8,00	3,40	-4,60	675,03	17,53	2056,56	117,33
D14	59,56	179,84	198,00	-10,00	3,40	-6,60	993,47	16,68	2119,08	127,04
D16	167,46	319,97	206,00	0,00	3,40	3,40	1750,30	10,45	2335,06	223,41
D17	104,44	239,56	204,00	-4,00	3,40	-0,60	1323,38	12,67	2222,54	175,40
D18	80,29	213,46	201,00	-7,00	3,40	-3,60	1179,20	14,69	2170,48	147,79
D21	172,51	344,72	205,00	-2,00	3,40	1,40	1894,99	10,98	2343,06	213,30
D22	48,18	146,98	204,00	-5,00	3,40	-1,60	815,92	16,93	2086,98	123,24
D26	78,64	204,60	209,00	4,00	3,35	7,35	1113,95	14,17	2166,65	152,96
D27	117,86	315,84	207,00	1,00	3,40	4,40	1727,71	14,66	2248,87	153,41
D29	70,07	185,32	209,00	3,00	3,35	6,35	1013,99	14,47	2146,09	148,30
I6	67,10	213,32	214,00	11,00	3,40	14,40	1149,62	17,13	2138,68	124,83
I7	38,48	126,60	212,00	7,00	3,35	10,35	689,28	17,91	2056,46	114,80
I8	127,00	288,25	211,00	3,00	3,40	6,40	1592,35	12,54	2265,95	180,72
I12	53,27	169,68	213,00	8,00	3,40	11,40	923,60	17,34	2101,76	121,22
I17	80,55	228,67	216,00	13,00	3,45	16,45	1232,04	15,30	2171,07	141,94
I31	47,63	155,35	217,00	15,00	3,45	18,45	832,81	17,48	2085,33	119,26
J1	256,85	453,04	209,00	3,00	3,40	6,40	2478,22	9,65	2462,66	255,24
J2	90,18	210,17	214,00	9,00	3,45	12,45	1143,71	12,68	2192,63	172,89
J3	45,14	152,82	215,00	12,00	3,45	15,45	823,37	18,24	2077,78	113,91
J4	32,62	111,87	216,00	14,00	3,45	17,45	599,72	18,38	2036,13	110,75



F.- CALCULO VOLUMETRICO ESTIMATIVO
DE CAMARAS



En el cuadro nº 16 se expone por regiones geotécnicas y general de la zona de estudio, los volúmenes estimados de cámaras, calculados en función de las áreas de pilares, áreas atribuidas y altura media de pilares:

REGION	AREAS (m ²)			ALTURA MEDIA DE PILARES (m)	VOLUMEN (m ³)
	Atribuida	Pilares	Diferencia		
I	2.463,83	791,65	1.672,18	2,95	4.932,93
II	20.608,55	9.776,06	10.832,49	3,13	33.905,69
III	17.506,78	8.397,48	9.109,30	3,41	31.062,71
IV	6.243,12	2.651,60	3.591,52	3,42	12.283,00
GENERAL	---	---	---	---	82.184,33

CUADRO Nº 16. Volumen de cámaras

Es decir, el volumen total estimado de cámaras puede cifrarse en:

75.000 - 90.000 m³