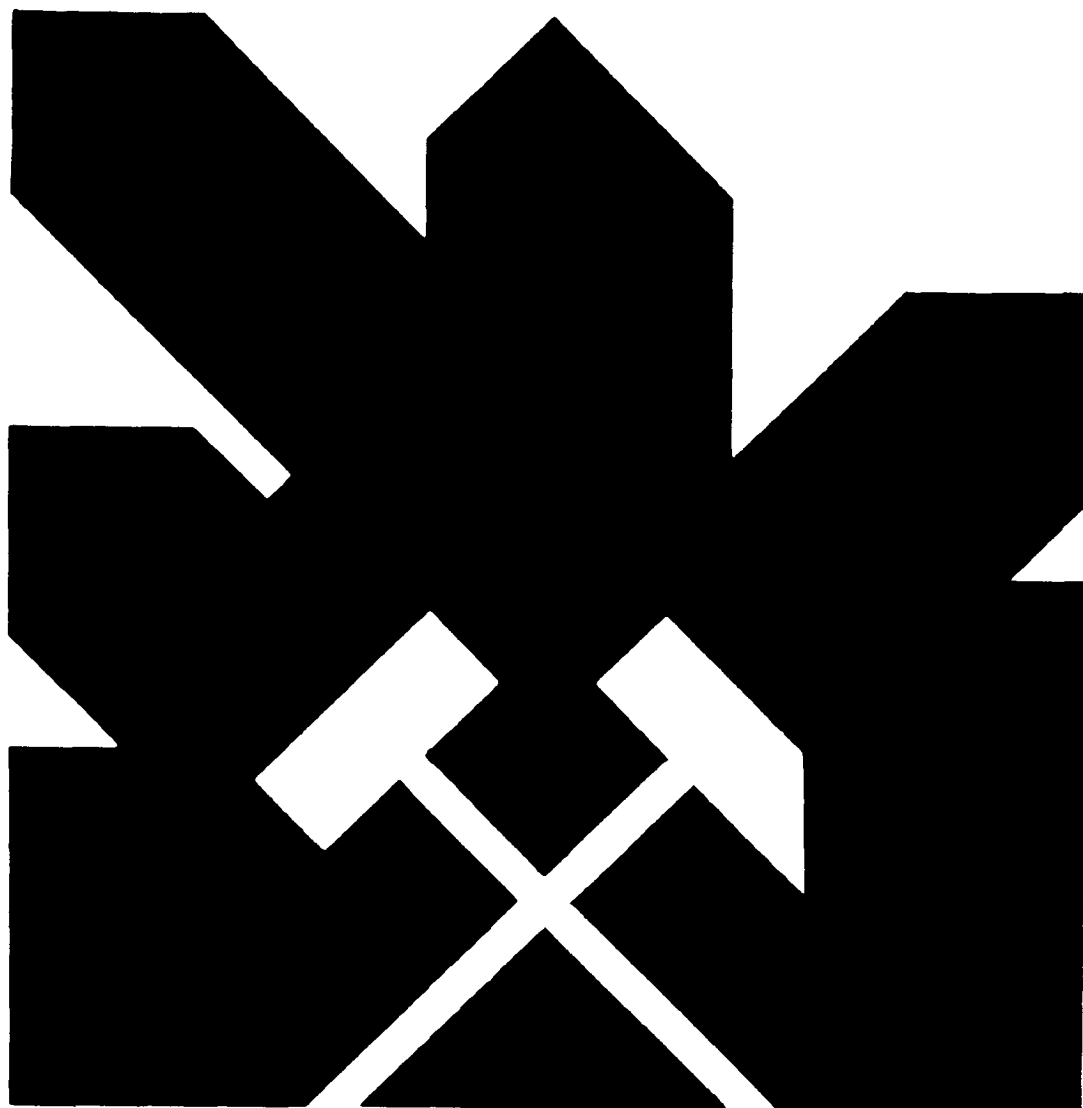


MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA

SECRETARIA DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

**INVESTIGACION GEOMECANICA DE
DEFORMACIONES GRANDES Y SU CAUSALIDAD
Y DISEÑO DE LABORES MINERAS
BAJO LAS MISMAS**

Vol. II B - ANEXOS



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Diciembre 1983

00791

ANEXO 3

ENSAYOS IN-SITU DE DEFORMABILIDAD CON
EL DILATOMETRO (BOREHOLE DEFORMATION
GAGE) (BHD)

3.1.- SITUACION DEL ENSAYO

En la Fig. 1, podemos observar la situación geométrica de la galería en muro (roca), centro de los problemas de estabilidad que han generado este proyecto de investigación, y como, para alcanzar las formaciones geológicas en que se encuentra ubicada, es necesario realizar un sondeo en el culatón intermedio del piso 325 del pozo S. José, a una distancia de 16.15 m de la entrada a dicho culatón (orientado N-S), a partir de la galería en capa (aproximadamente E-W) que vemos en la figura, y que se encuentra encajada en la capa Cervantes Norte (CCN) de unos - 1.70 metros de potencia.

Un sondeo vertical a esa distancia y de unos 25-30 metros de profundidad nos permitiría alcanzar la zona que deseamos estudiar y en la que se encuentra la galería en roca del muro.

3.2.- COLUMNA GEOLOGICA DEL SONDEO

Para la determinación de las características mecánicas - de los materiales del muro de la capa Cervantes Norte, así como para alcanzar la zona de la galería en roca del muro, se realizó un sondeo de 76 mm \varnothing vertical y de 31.50 m de profundidad.

La columna del sondeo así como sus recuperaciones aparecen en la Fig. 2. Las zonas con asteriscos son zonas de muy mala recuperación y de inestabilidad del sondeo por lo que hubo

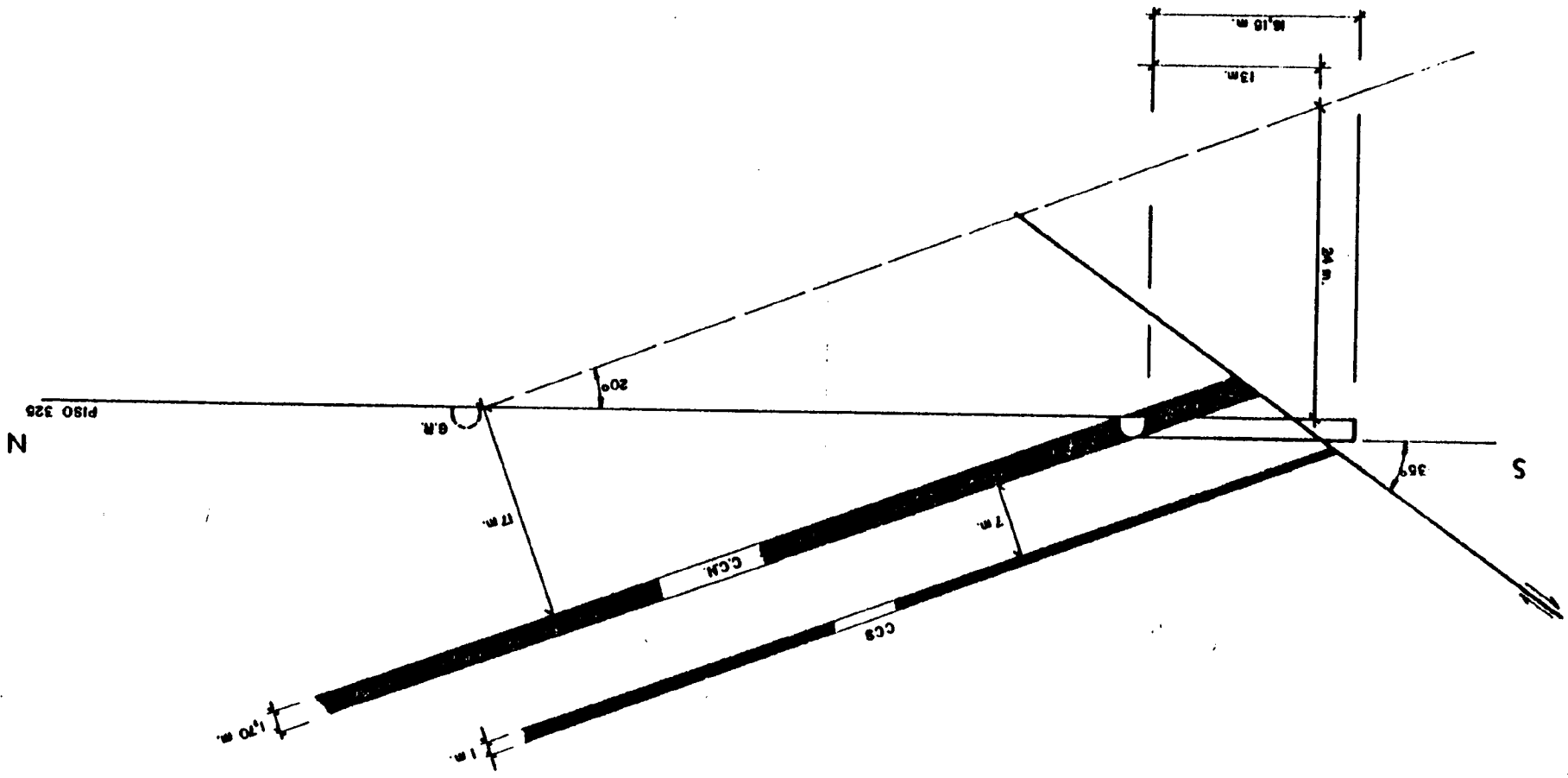
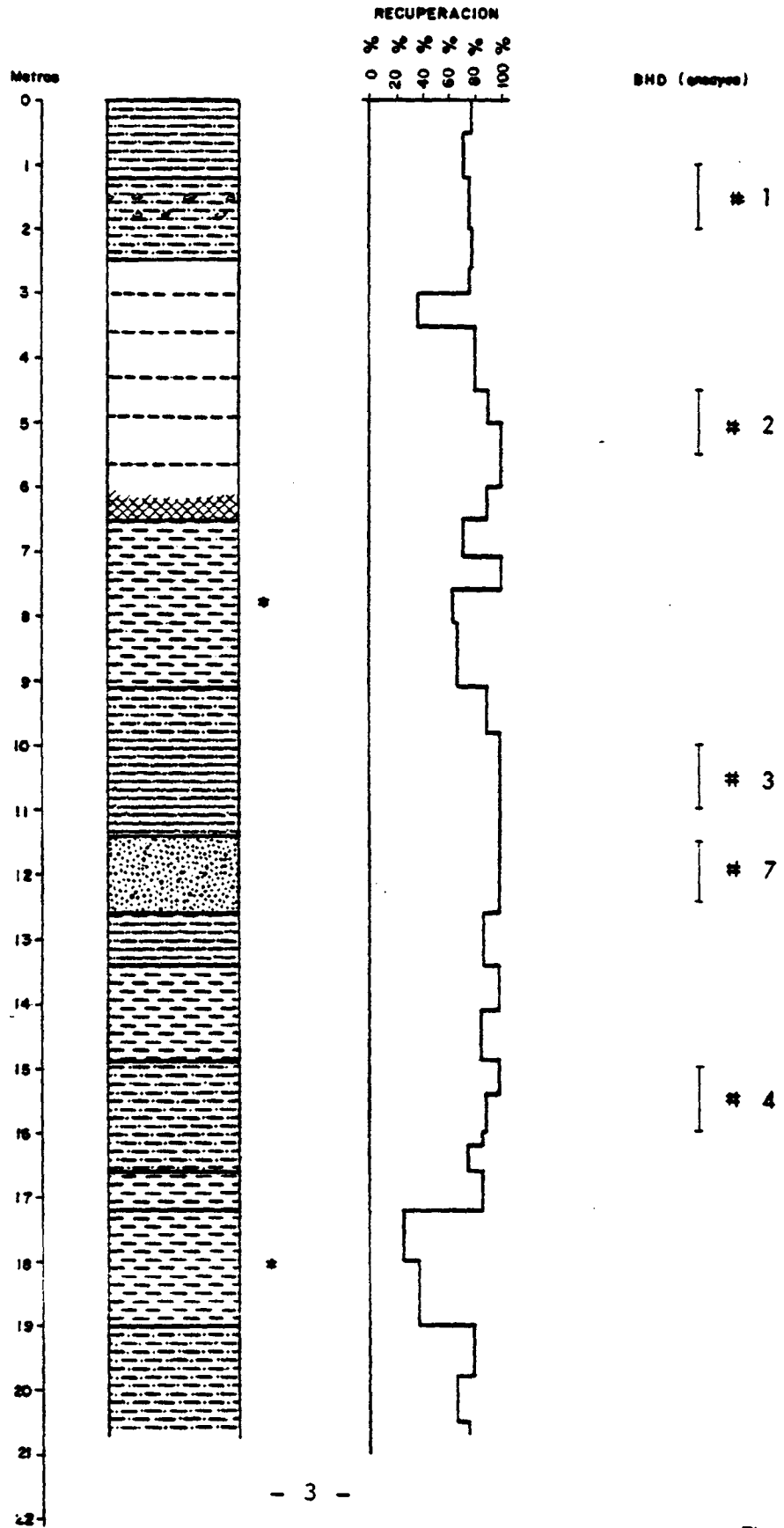
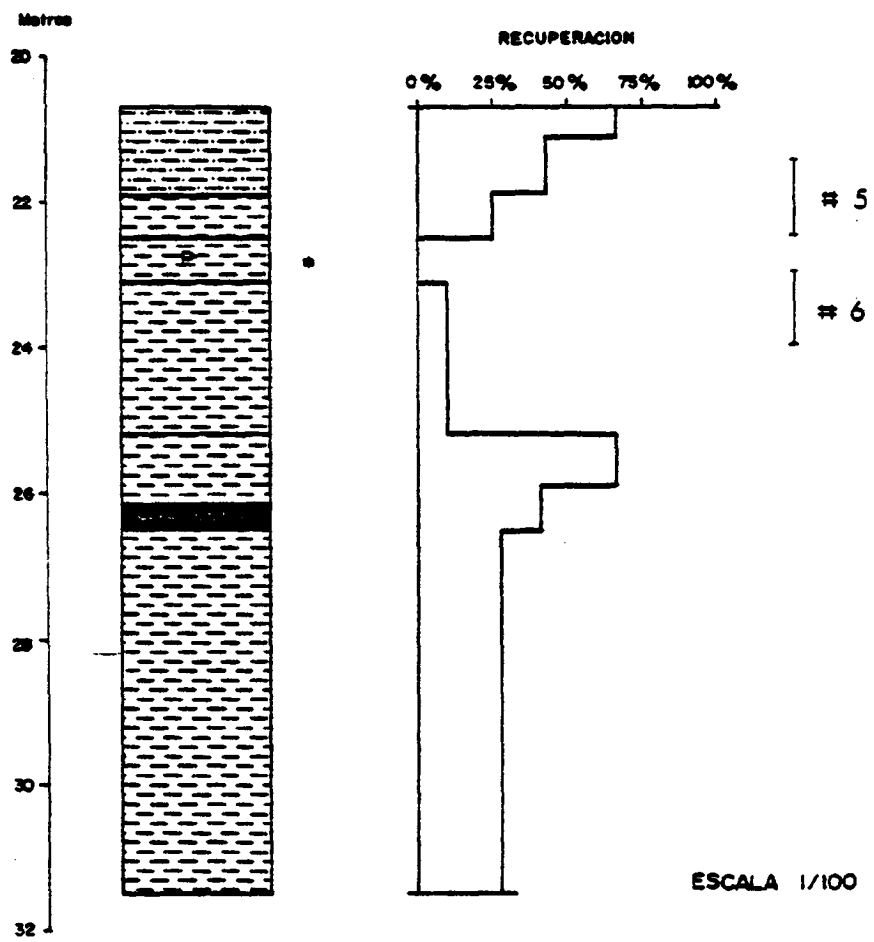


Figure nr 1

SONDEO 1 (BHD)





ANEXO - FIGURA 2

DESCRIPCION LITOLOGICA DEL SONDEO 1.

BHD (BOREHOLE DEFORMATION GAUYE)

0	-	1.20 m	Lutita arenosa compacta con pequeños niveles de areniscas.
1.20	-	2.45 m	Lutita poco arenosa con siderosa compacta.
2.45	-	6.50 m	"Capa". Cinco niveles de lutitas y una zona de carbón en la base.
6.30	-	9.10 m	Lutita rota y muy fina. Superficies satinadas y en el contacto con el carbón 45 cm de lutita compacta.
9.10	-	11.40 m	Lutita masiva arenosa.
11.40	-	12.60 m	Arenisca fina a muy fina masiva
12.60	-	13.40 m	Lutita arenosa.
13.40	-	14.90 m	Lutita fina compacta y bien estratificada casi lajosa.
14.90	-	16.60 m	Lutita masiva y poco arenosa.
17.20	-	19 m	Lutita fina y muy rota.
19	-	22 m	Lutita poco arenosa y masiva.
22	-	25.10 m	Lutita fina y muy rota.
25.10	-	26.10 m	Lutita masiva y poco arenosa.
26.10	-	26.40 m	Zona carbonosa.
26.40	-	31.50 m	Lutita fina y muy rota.

que cementar al llegar a esas cotas. También se señalan zonas en donde se realizaron medidas con el dilatómetro. En cada cota la medición es doble, girando el dilatómetro 22.5° , lo cual permite darnos información sobre las características de anisotropía de los materiales existentes. La prueba 4 tuvo que repetirse, por lo que el total de ensayos a las 7 cotas de profundidad fue de 7 cotas x 2 ensayos + ensayo 4 (repetido) = 15 ensayos.

3.3.- EQUIPO DE ENSAYO

El dilatómetro es un aparato que permite efectuar ensayos de deformabilidad en sondeos NX, de diámetro pertenecientes al intervalo entre 76 y 79 mm. Consta esencialmente, de una camisa de goma que envuelve un cilindro metálico bastante rígido y que, por medio de agua bajo presión, se adapta al taladro en la región de macizo cuya deformabilidad se pretende evaluar. La variación del diámetro del taladro provocada por la presión del agua introducida entre la camisa y el cilindro es medida según cuatro direcciones desfasadas 45° , por el desplazamiento de cuatro pares de palpadores ligados a transductores diferenciales. (Fig. 3).

Los transductores diferenciales de inducción utilizados en las unidades empleadas en este estudio son un conjunto formado por un oscilador alimentado por corriente continua y un transformador diferencial ligados a dos circuitos secundarios.

El oscilador convierte la corriente continua de alimentación en corriente alterna de excitación del primario del transformador, en la dependencia del núcleo magnético en el interior del transductor se desenvuelven tensiones inducidas en los dos secundarios del transformador, cada uno de los cuales está inte

grado en un circuito secundario, los dos circuitos secundarios iguales, están conectados en serie-oposición. Cara a este montaje, la tensión continua de salida del transformador es proporcional al desplazamiento del núcleo en relación al centro eléctrico del transductor.

Los desplazamientos de la pared del sondeo en ensayo, que la camisa bajo presión hace acompañar por los palpadores se traducen en desplazamientos relativos del transductor y del respectivo núcleo.

La sensibilidad media de un transductor en un intervalo dado es la relación Δn de la variación del desplazamiento diametral relativo $\Delta \delta$ de los respectivos palpadores con la diferencia de lecturas Δn que define el intervalo. A fin de determinarse las sensibilidades de los transductores utilizados en los ensayos en cuestión, se procedió, siempre que hubo mudanza de transductores, o de longitud de los núcleos a operaciones de calibrado conducidas en el dominio de las lecturas medias efectuadas. (± 1 mm).

3.4.- LOCALIZACION DE LOS ENSAYOS

Los ensayos de dilatómetro fueron efectuados en un único sondeo que alcanzó cerca de 31,5 m de profundidad.

Las profundidades de ensayo y los tipos de roca estudiados fueron los siguientes:

2,0 m	-	Lutita arenosa
5,0 m	-	Carbón
10,5 m	-	Lutita masiva
12,0 m	-	Arenisca fina masiva
15,5 m	-	Lutita masiva
20,5 m	-	Lutita masiva
23,5 m	-	Lutita fina y rota

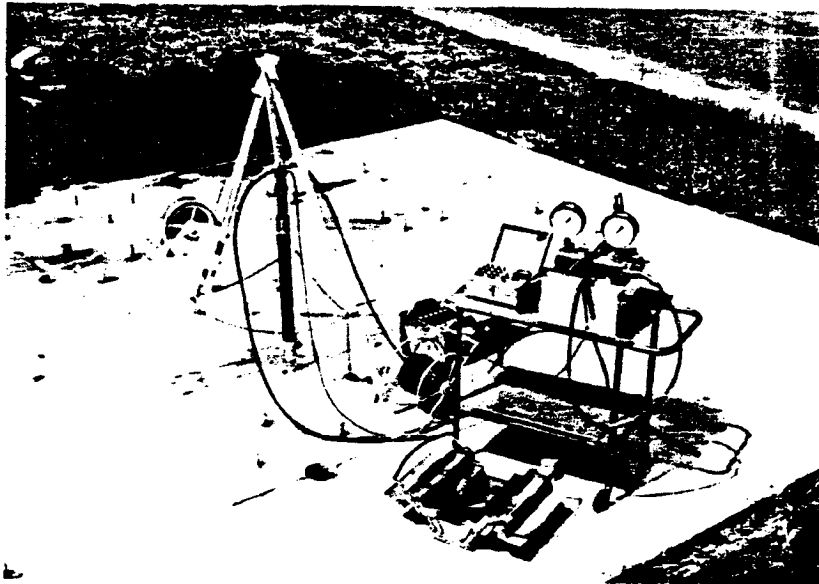
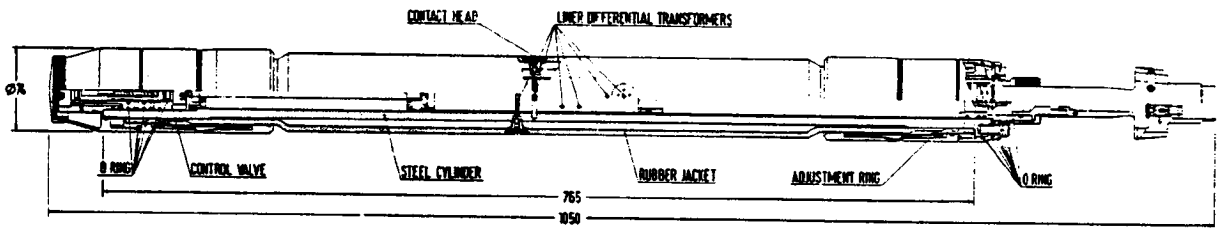


FIG. 3 -

3.5.- TECNICA DE LOS ENSAYOS

La técnica de ensayo utilizada consistió en introducir el dilatómetro hasta la profundidad deseada, aplicando enseguida cuatro o cinco ciclos de carga y descarga de acuerdo con la repetitividad de los ciclos.

En las profundidades de 2,0; 10,5; 12,0; 15,5; y 20,5 m se hicieron lecturas en el primer ciclo de carga a las presiones de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 Kg/cm², esta secuencia de lecturas fue mantenida en los ciclos siguientes tanto en la carga como en la descarga.

A 5,0 m de profundidad las lecturas fueron hechas de 2 en 2 Kg/cm², desde la presión mínima de 2 Kg/cm² hasta la presión máxima de 16 Kg/cm². A 23,5 m de profundidad la secuencia de lecturas fue en todos los ciclos 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 40 Kg/cm².

Los desplazamientos fueron leídos según cuatro direcciones a 45°, coincidiendo la dirección con el eje del culatón.

Así mismo a cada cota de medida el ensayo se duplicó, repitiéndolo girando el dilatómetro 22.5° con el fin de definir la anisotropía del terreno.

3.6.- MODULO DILATOMETRICO

Cada lectura expresa en divisiones, registradas durante los ensayos, corresponde a la variación del diámetro sufrido por el sondeo en la dirección considerada.

En cada punto ensayado y para cada dirección, se tomaron

los puntos correspondientes a las presiones mínimas, en que se admitió haber un ajuste perfecto de la camisa a la pared del sondeo y los correspondientes a las presiones máximas aplicadas y se calculó el módulo dilatométrico por la fórmula:

$$E_d = D (1 + \nu) \frac{\Delta p}{\Delta \delta}$$

en que

E_d = Módulo dilatométrico, en Kg/cm²

D = Diámetro del taladro, en el caso presente 7,6 cm.

ν = Coeficiente de Poisson, igual a 0,2

p = Diferencia entre las presiones final e inicial, en Kg/cm².

δ = Diferencia entre los desplazamientos final e inicial en cm.

Se debe notar que el establecimiento de esta ecuación se apoya en las condiciones de homogeneidad, elasticidad y no rotura de las paredes del taladro durante el ensayo. Dado que, generalmente, una o más de estas condiciones no se verifican, se prefiere la designación de módulo dilatométrico en vez de módulo de deformabilidad, dado que generalmente no es este el valor medido en el ensayo. Como en el caso presente el estado de tensión interno del macizo es elevado, la última condición fue satisfecha, por lo que los valores del módulo dilatométrico se deben aproximar mucho a los del módulo de deformabilidad de la roca, hipótesis esta confirmada por los ensayos uniaxiales de probetas de roca del local ensayados.

3.7.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

3.7.1.- Módulos Elásticos

En el sondeo vertical ensayado los valores del módulo di

latométrico varían entre 3.300 Kg/cm^2 en el carbón y 209.000 Kg/cm^2 en la arenisca, mostrando una gran variación de deformabilidad a lo largo del sondeo. Los resultados de estos ensayos, están inscritos en la tabla I y los diagramas de presiones-desplazamientos radiales son las constantes de las figuras 3 a 9.

Los diagramas presentan un rodar normal, sin indicación de fisuras durante el ensayo. Algunas anomalías verificadas corresponden al ajuste de los palpadores a la pared del taladro.

Podemos pues definir de acuerdo a estos resultados los siguientes datos referentes a los Módulos de Deformación de los materiales del sondeo l.:

- Lutita tableada (techo) $E = 75,500 \text{ Kg/cm}^2 = 1.1 \times 10^6 \text{ psi}$.
- Carbón (antracita) $E = 3.300 \text{ Kg/cm}^2 = 0.5 \times 10^5 \text{ psi}$.
- Arenisca (Muro) $E = 200.000 \text{ Kg/cm}^2 = 3.0 \times 10^6 \text{ psi}$.
- Lutitas masivas (Muro) $E = 150.000 \text{ Kg/cm}^2 = 2.2 \times 10^6 \text{ psi}$.
- Lutitas Muro (fracturadas) . $E = 26.500 \text{ Kg/cm}^2 = 0.4 \times 10^6 \text{ psi}$.

De ellos se desprende que tanto las lutitas (pizarras) - presentan valores muy normales para este tipo de roca, en especial las masivas, que presentan buena consistencia.

Las tableadas disminuyen su módulo por sus características estructurales lógicas, mientras que las más profundas presentan curiosamente valores francamente bajos para este tipo de roca.

En profundidad las lutitas parecen presentar características mucho más deformables, lo cual es significativo dado que es a esta profundidad donde se encuentran los materiales de las galerías en roca del muro.

Las areniscas presentan valores normales y el carbón valores también muy bajos para este tipo de mineral (antracita), probablemente debido a su alto grado de fracturación, generado por el fuerte plegamiento y esfuerzos tectónicos inherentes al fondo del sinclinal en donde nos encontramos.

3.7.2.- Anisotropías

En cuanto a anisotropía de los materiales los ensayos nos detectan claramente, una mayor deformabilidad de las lutitas del techo en dirección de capa que perpendicular a la misma, en una relación de 2 a 3. Igualmente se aprecia esta misma anisotropía, en el carbón, aunque no de forma tan significativa.

En la arenisca es más isótropa, aunque presenta de forma muy constante una ligera mayor deformabilidad en dirección perpendicular a la capa.

Las lutitas masivas presentan también anisotropía, con mayor deformabilidad generalmente en dirección perpendicular a la estratificación.

Las lutitas de fondo (rotas) presentan unas características bastante isótropas, debido a que su alto grado de fracturación, eliminan la propia anisotropía que podrían tener por estratificación.

3.7.3.- Comportamientos Plásticos

En los ensayos de carga y descarga realizados en las pruebas con dilatómetro, queda patente (Fig. 3 a 9), como existen dentro de las formaciones ensayadas, algunas con fuertes comportamientos plásticos, como corresponde a las pizarras de fondo,

con fuertes deformaciones permanentes e irrecuperables.

De forma semejante los materiales de techo presentan una cierta plasticidad así como el carbón (antracita) aunque en una escala mucho menor que la desarrollada por las pizarras plásticas de fondo.

TABLA I

RESULTADO DE LOS ENSAYOS CON DILATOMETRO.

Prof. (m)	Tipo de Roca	Ciclo	DIRECCION				Media del Ciclo	Valor Medio
			A	B	C	D		
2,0	Lutita	1	133	109	60,8	43,0	70,9	75,5
		2	140	106	61,0	55,5	78,4	
		3	148	114	55,5	54,5	77,1	
		4	161	116	56,6	56,3	79,6	
5,0	Carbón	1	3,27	4,45	2,65	2,28	2,98	3,30
		2	3,53	4,68	2,95	2,55	3,26	
		3	3,72	4,84	3,22	2,78	3,49	
		4	3,79	4,78	3,27	2,81	3,53	
10,5	Lutita Masiva	1	107	124	182	-	131	145
		2	117	120	203	174	145	
		3	135	133	182	166	151	
		4	144	129	184	156	151	
		5	142	133	170	152	148	
12,0	Arenisca	1	152	155	249	-	176	207
		2	182	221	255	261	225	
		3	166	166	222	281	199	
		4	228	228	241	-	232	
		5	178	192	248	261	214	
15,5	Lutita Masiva	1	166	-	103	96,0	115	112
		2	156	-	101	96,0	112	
		3	148	-	100	93,5	109	
		4	152	-	98,6	101	113	
29,5	Lutita Masiva	1	143	162	184	-	161	193
		2	159	208	206	289	205	
		3	166	203	206	279	206	
		4	182	203	222	248	211	
		5	149	203	201	222	189	
23,5	Lutita fina y rota	1	12,0	9,10	8,18	12,4	10,1	26,5
		2	45,0	19,7	19,0	28,5	24,9	
		3	39,9	21,9	21,7	32,6	27,1	
		4	35,9	22,3	22,8	34,7	27,5	

Módulos dilatométricos en 10^3 Kg/cm^2
 LNEC - Proc. 45/1/6936

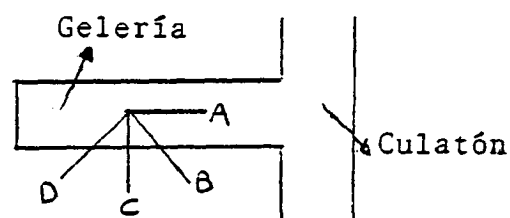
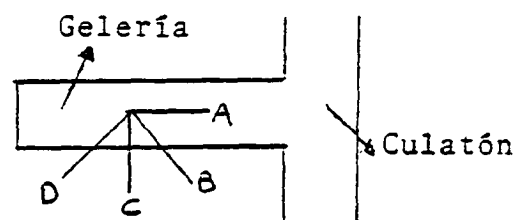


TABLA I (cont.)

2ª MEDICION

Prof. (m)	Tipo de Roca	Ciclo	DIRECCION				Media del Ciclo	Valor Medio
			A	B	C	D		
2,0	Lutita	1	139	108	60,4	43,1	70,8	75,4
		2	146	100	61,0	55,5	78,2	
		3	144	115	55,2	54,6	77,4	
		4	166	112	56,3	56,4	79,1	
5,0	Carbón	1	3,22	4,48	2,67	2,20	2,99	3,33
		2	3,54	4,64	2,96	2,52	3,28	
		3	3,77	4,89	3,22	2,74	3,49	
		4	3,79	4,75	3,29	2,83	3,50	
10,5	Lutita Masiva	1	106	122	180	-	133	144
		2	116	124	209	176	144	
		3	134	138	180	164	156	
		4	142	129	181	153	155	
		5	143	131	171	152	142	
12,0	Arenisca	1	154	152	249	-	172	206
		2	184	223	258	266	222	
		3	168	165	223	285	192	
		4	229	227	242	-	232	
		5	170	198	241	261	212	
15,5	Lutita Masiva	1	162	-	102	96,3	114	112
		2	153	-	104	96,2	112	
		3	145	-	108	93,1	103	
		4	154	-	98,6	104	111	
29,5	Lutita Masiva	1	142	166	187	-	162	192
		2	154	207	208	283	204	
		3	166	205	209	274	205	
		4	188	203	224	246	218	
		5	142	202	202	228	189	
23,5	Lutita fina y rota	1	12,1	9,11	8,14	12,6	10,2	26,4
		2	45,2	19,5	19,9	28,4	24,4	
		3	39,3	21,6	21,0	32,6	27,8	
		4	35,4	22,8	22,2	34,3	27,9	

Módulos dilatométricos en 10^3 Kg/cm^2
 LNEC - Proc. 45/1/6936



SERVIÇO DE BARRAGENS
DIVISÃO DE FUNDAÇÕES ROCHOSAS

ENSAIOS COM DILATÔMETRO
DIAGRAMAS DE CARGA

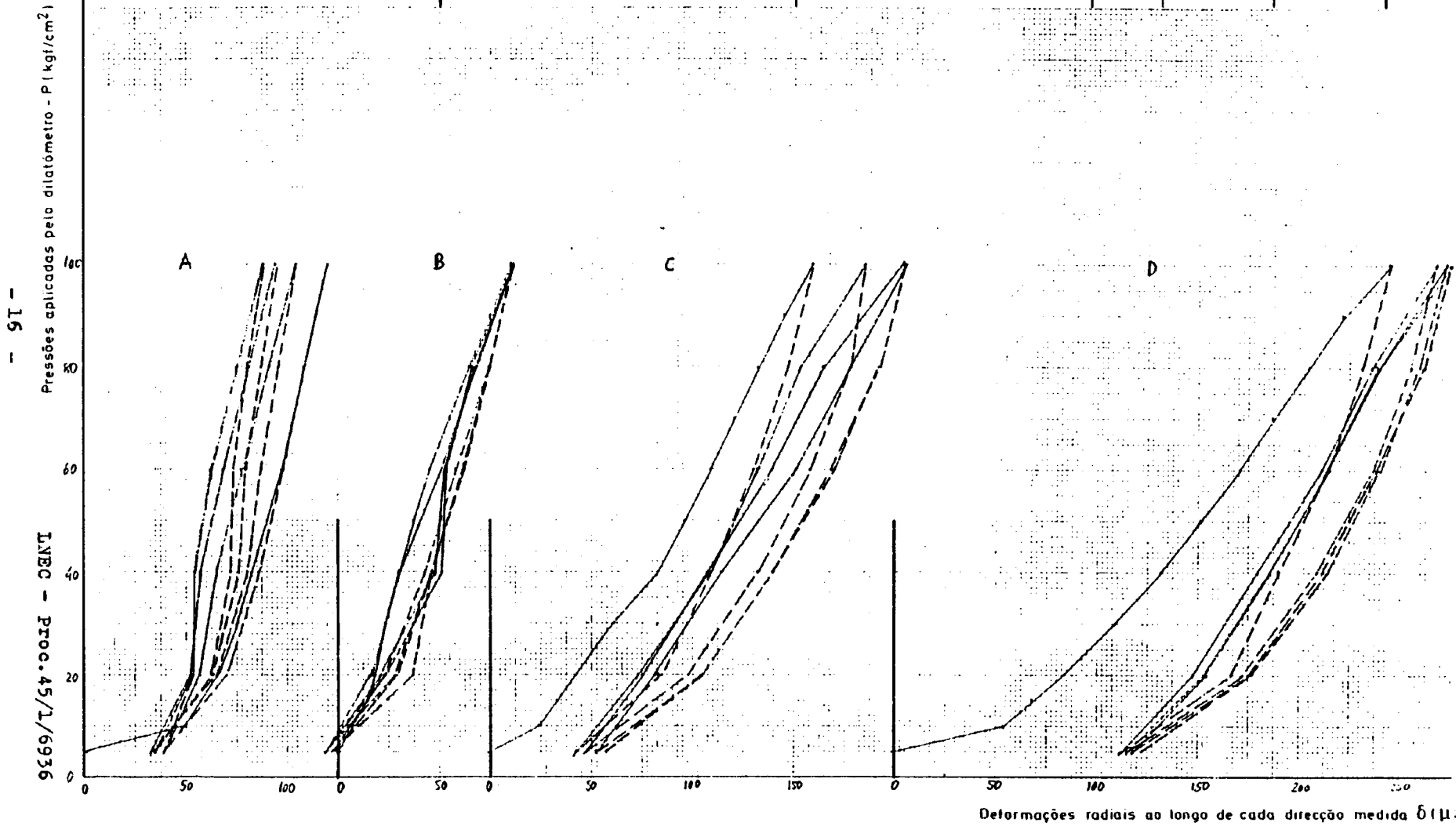
Furo Profundidade 2,0 m

Proc.º 45/1 / 6936

Local Peñarroya

CICLO	CARGA	DESCARGA
1º		
2º		
3º		
4º		

FIG. 3



SERVIÇO DE BARRAGENS
DIVISÃO DE FUNDAÇÕES ROCHOSAS

ENSAIOS COM DILATÔMETRO
DIAGRAMAS DE CARGA

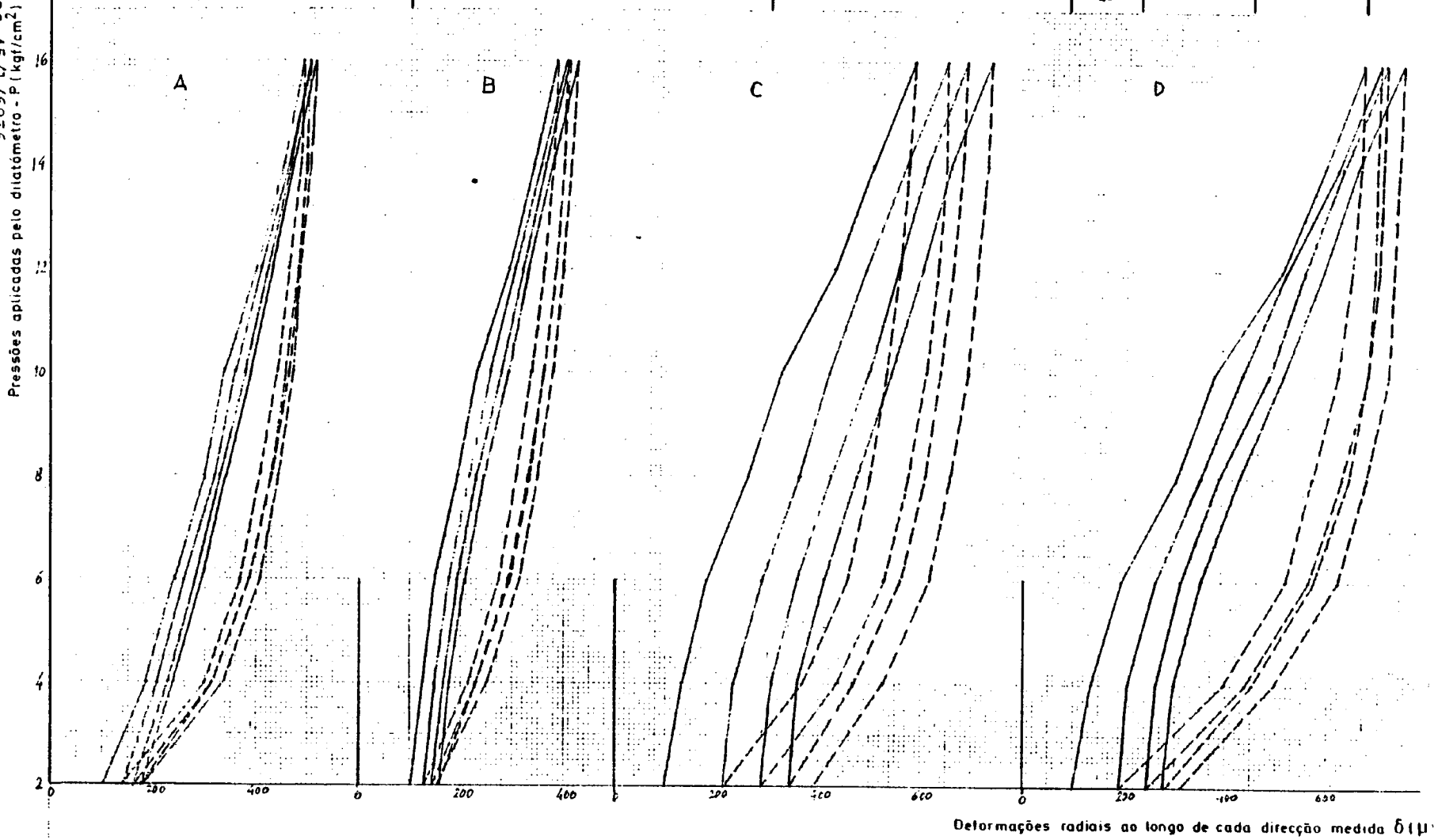
Furo Profundidade 5.0 m

Proc. 45/1 / 6936

Local Pefiarroya

CICLO	CARGA	DESCARGA
1º		
2º		
3º		
4º		

FIG 4



Deformações radiais ao longo de cada direcção medida δ(μ)

SERVIÇO DE BARRAGENS
DIVISÃO DE FUNDAÇÕES ROCHOSAS

ENSAIOS COM DILATÓMETRO
DIAGRAMAS DE CARGA

Furo Profundidade 10,5 m

Proc# 45/1 / 6936

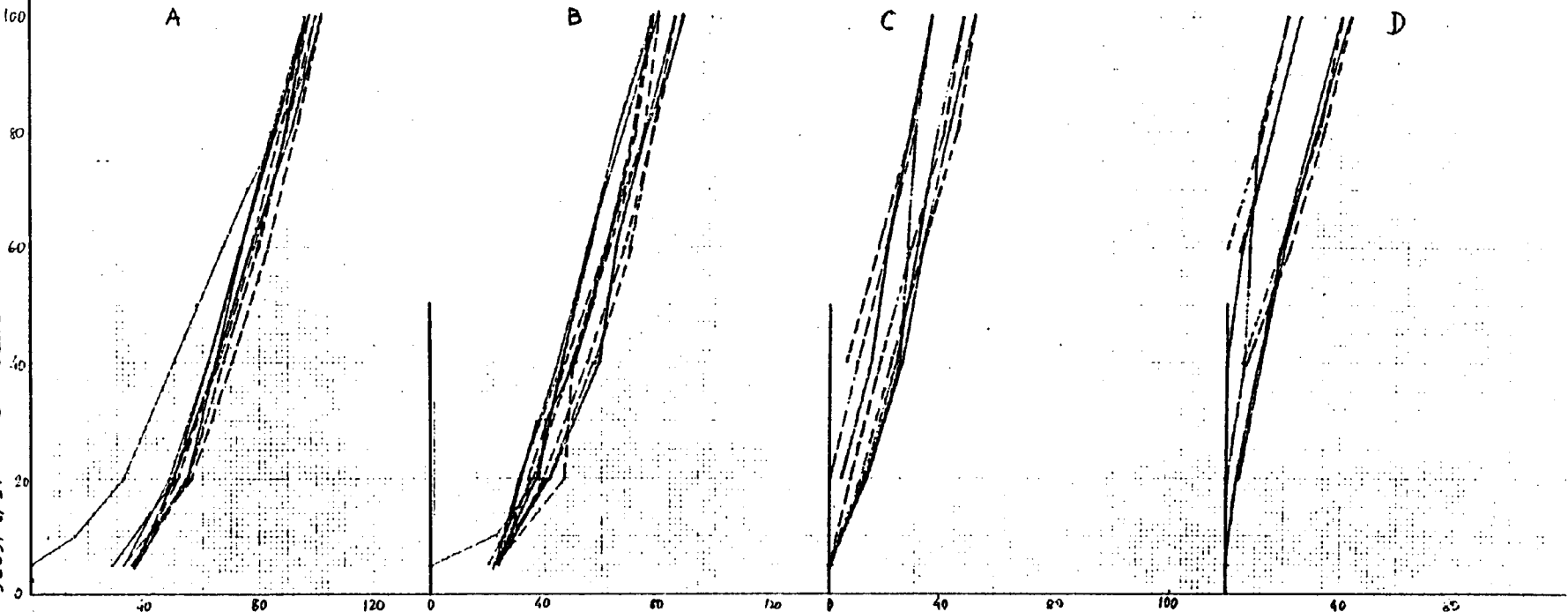
Local Peñarroya

CICLO	CARGA	DESCARGA
1º		
2º		
3º		
4º		

FIG. 1

Pressões aplicadas pelo dilatômetro - P (kgf/cm²)

LNBC - Porc. 45/1/6936



Deformações radiais ao longo de cada direcção medida δ (μ)

SERVIÇO DE BARRAGENS
DIVISÃO DE FUNDAÇÕES ROCHOSAS

ENSAIOS COM DILATÔMETRO
DIAGRAMAS DE CARGA

Furo Profundidade 12,0 m

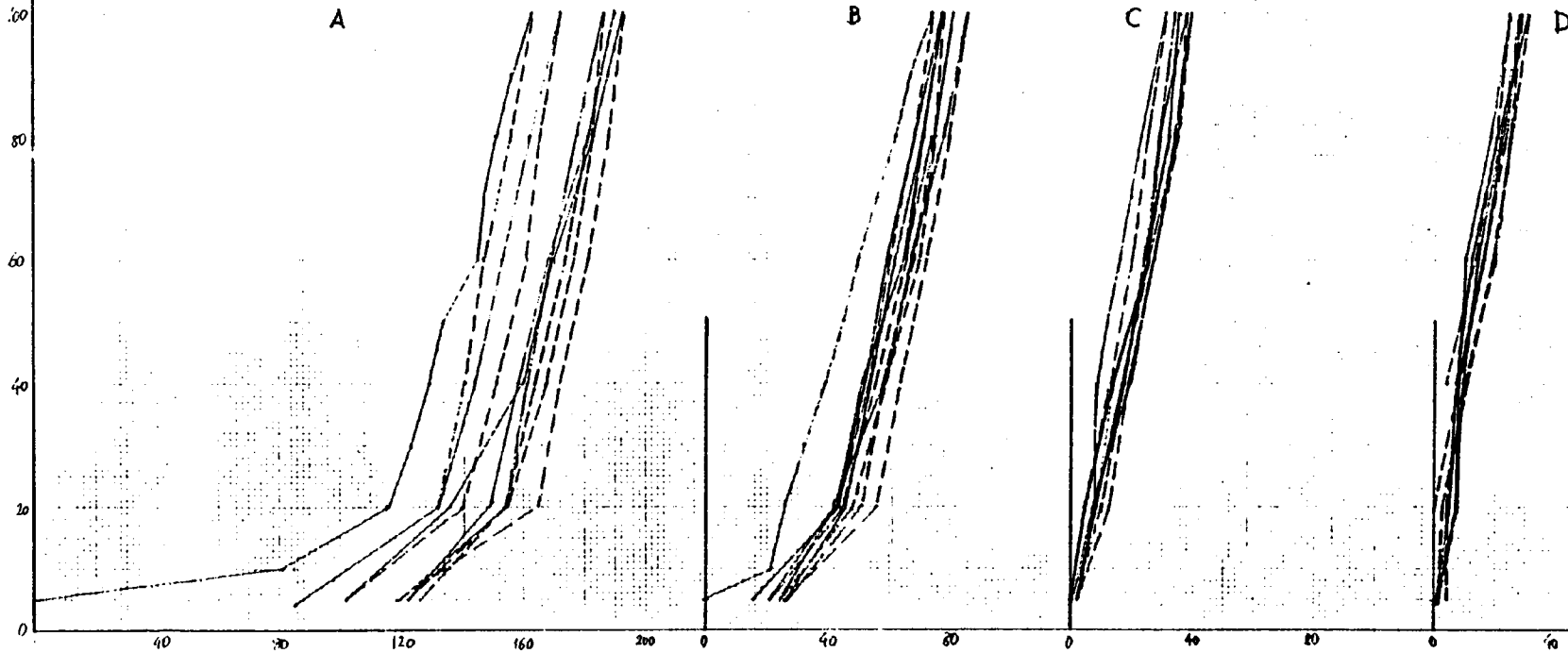
Proc.º 45/1 / 6936

Local Peñarroya

CICLO	CARGA	DESCARGA
1º		
2º		
3º		
4º		

FIG. 6

Pressões aplicadas pelo dilatômetro - P (kgf/cm²)



Deformações radiais ao longo de cada direcção medida δ (μ)

SERVIÇO DE BARRAGENS
DIVISÃO DE FUNDAÇÕES ROCHOSAS

ENSAIOS COM DILATÔMETRO

DIAGRAMAS DE CARGA

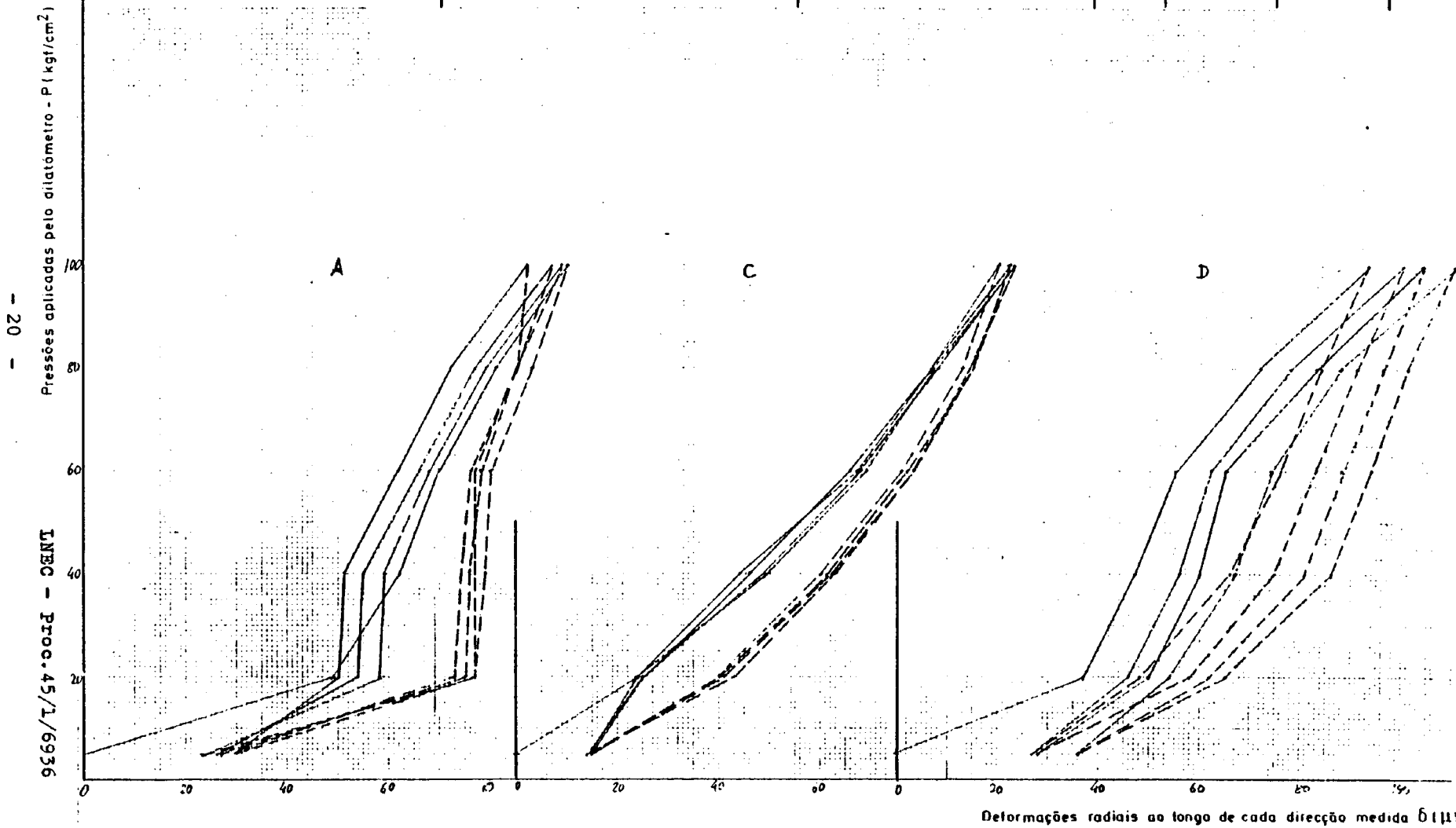
Furo Profundidade 15,5 m

Proc.º 45/1 / 6936

Local peñarroya

CICLO	CARGA	DESCARGA
1º		
2º		
3º		
4º		

FIG. 7



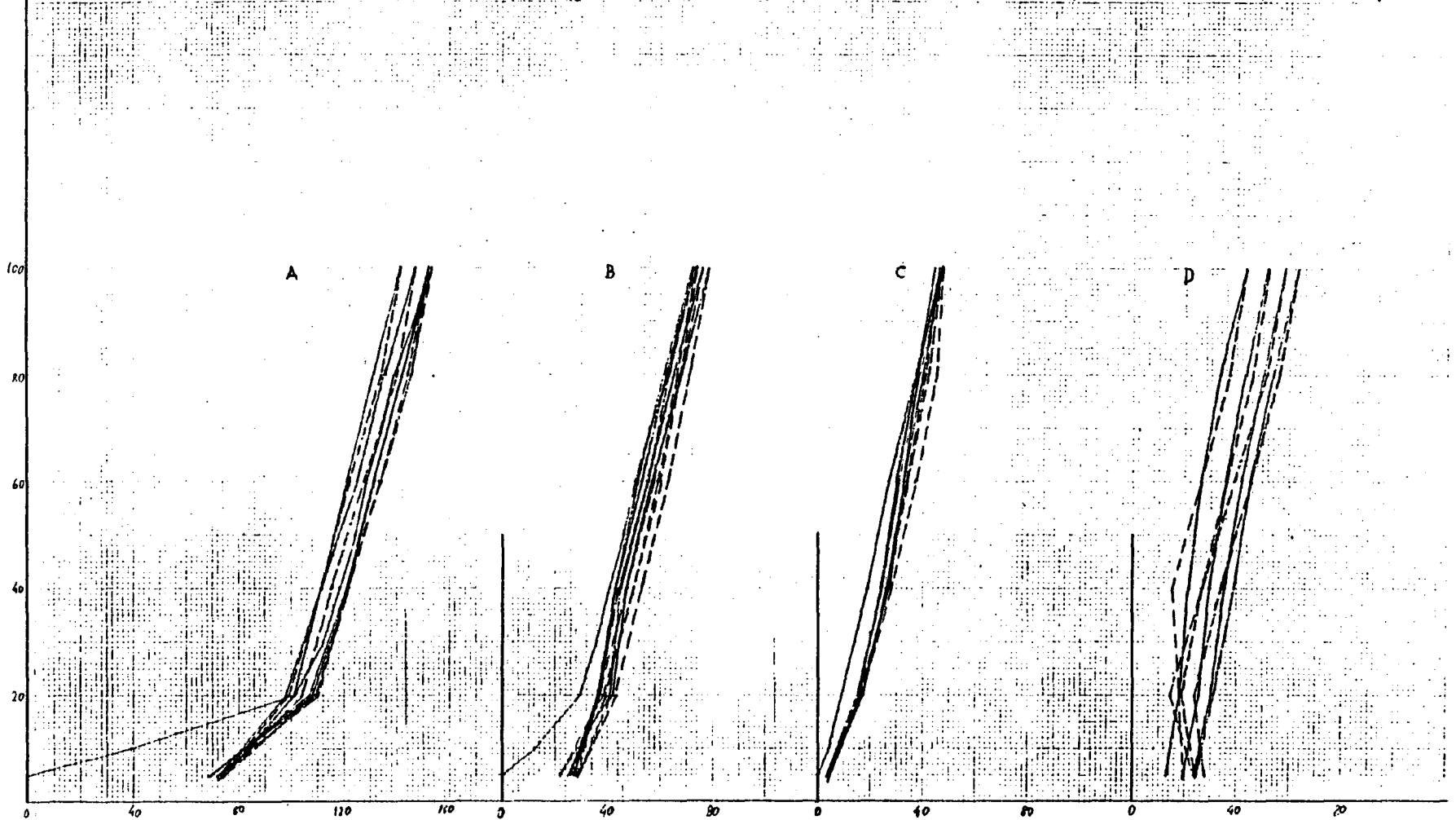
INEC - Proc. 45/1/6936

- 21 -

Pressões aplicadas pelo dilatômetro - P (kgf/cm²)

SERVIÇO DE BARRAGENS DIVISÃO DE FUNDAÇÕES ROCHOSAS	ENSAIOS COM DILATÔMETRO DIAGRAMAS DE CARGA Furo Profundidade 20,5 m	Proc. 45/1 / 6936 Local Peñarroya	CICLO	CARGA	DESCARGA
			1º		
			2º		
			3º		
			4º		

FIG 8



Deformações radiais ao longo de cada direcção medida δ (μ)

SERVIÇO DE BARRAGENS
DIVISÃO DE FUNDAÇÕES ROCHOSAS

ENSAIOS COM DILATÔMETRO
DIAGRAMAS DE CARGA

Furo Profundidade 23.5 m

Proc.º 45/1 / 6936

Local Peñarroya

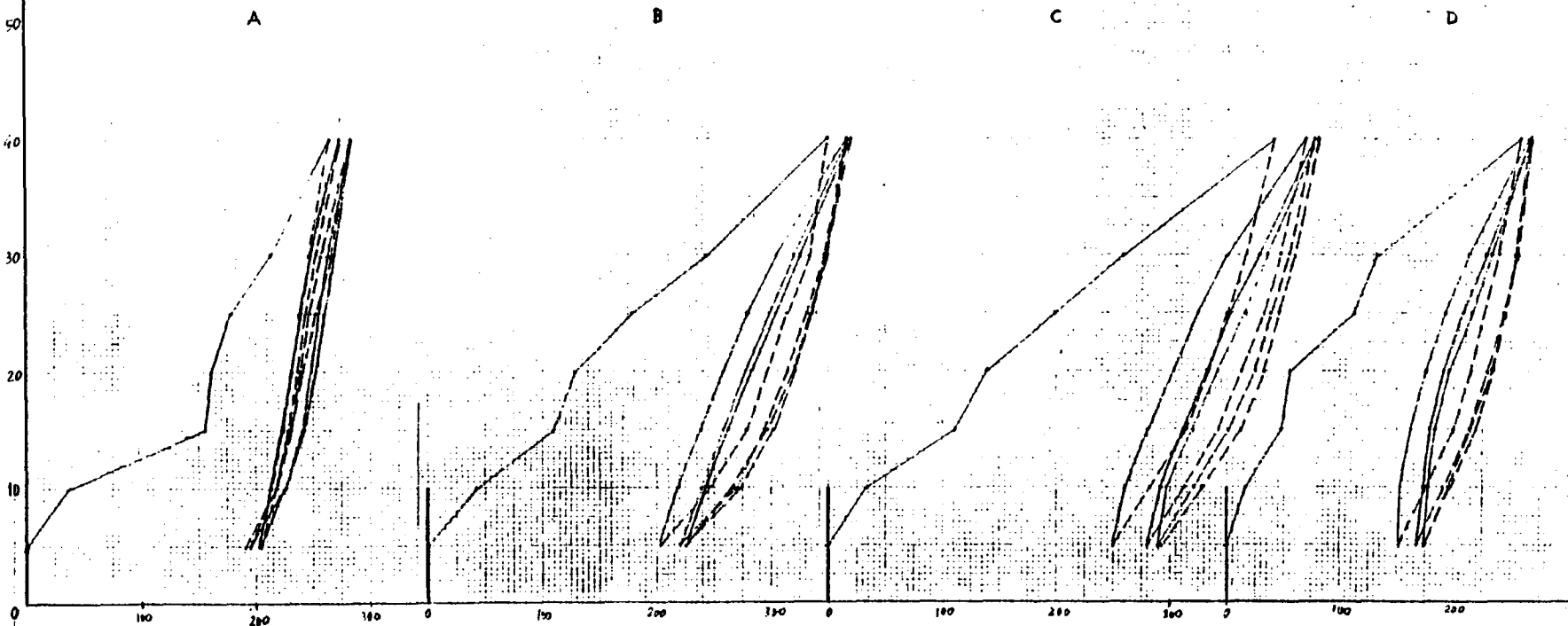
CICLO	CARGA	DESCARGA
1º		
2º		
3º		
4º		

FIG. 9

Pressões aplicadas pelo dilatômetro - P (kgf/cm²)

- 22 -

INBC - Proc. 45/1/6936



Deformações radiais ao longo de cada direcção medida δ (μ)

ANEXO 4

ANALISIS LABORATORIO

(RESISTENCIA, SONIC, COHESION,
FRICCION, DENSIDAD, RAYOS X)

4.1.- INTRODUCCION

Las probetas se tomaron de un conjunto de sondeos mineros realizados por ENCASUR en las proximidades del pozo S. Rafael, orientados al estudio de viabilidad de las cortas S. Ricardo y Castellana - Langreo.

De los análisis reflejados inicialmente en el proyecto (320); se han realizado sobre 161 muestras, ensayos de resistencia uniaxial, corte y sónico con un total de 483 ensayos, más - los análisis mineralógicos, no previstos; y análisis de fluencia de duración doble a la inicialmente considerada y que se reseñan más adelante.

4.2.- ESQUEMA GENERAL

Los ensayos de laboratorio realizados sobre los testigos recogidos fueron:

- Determinación de Densidad aparente
- Velocidad Sónica
- Ensayo de Carga Puntual (para conocer la resistencia a compresión simple equivalente)
- Resistencia al corte a través de discontinuidades
- Mineralogía

Los ensayos se realizaron en los laboratorios de ADARO.

4.2.1.- Determinación de Densidad Aparente

La densidad aparente de areniscas, pizarras, lutitas y diabasas es del orden de 2.45, 2.50 y 2.55 t/m³, respectivamente, con ligeros aumentos con la profundidad en el caso de areniscas y pizarras y una cierta disminución en las diabasas. Se puede asignar al conjunto de rocas de caja una densidad natural media de 2.4 T/m³.

4.2.2.- Resistencia a la Compresión Simple

Estas se han obtenido a partir de ensayos de carga puntual, realizándose 86 roturas sobre testigos tanto en sentido diametral como axial.

Para las pizarras - lutitas la compresión Uniaxial equivale a 500-550 Kg/cm² en dirección perpendicular a los planos de estratificación y 250-300 Kg/cm² en dirección paralela a la estratificación.

En las areniscas, los valores son más homogéneos pudiendo alcanzar los 750 Kg/cm², si bien, el valor medio es de 250-300 Kg/cm².

Las diabasas, llegando a 900 Kg/cm², ofrecen promedios de 200 Kg/cm², dado su frecuente empobrecimiento con carbón o pizarras carbonosas.

4.2.3.- Velocidad Sónica

En las lutitas varía entre 2.000 y 3.000 m/seg, casi independiente de la profundidad. Para las areniscas oscila entre 1.500 y 3.900 con escasa influencia de la profundidad, y para

SONDEO Nº	MUESTRA	DESCRIPCION	γ APARENTE tn/m ³	Q _u EQUIV. kg/cm ²	VELOCIDAD ONDAS P m/seg.	RESISTENCIA AL CORTE	
						CR ^{Kg/cm²} tn/m ²	ϕ R/Grados
SRA-18	32,40	Pizarra	-	39	-	1,3	11°
	36,80	"	2.572	3,8	-	-	-
	45,50	Arenisca	2.771	16,7	3.326	-	-
	38,75	Pizarra	2.662	277	2.750	-	-
	57,60	Arenisca	2.657	36,7	-	-	-
SRA-19	85,30	Pizarra	2.564	117	-	-	-
	91,00	"	2.610	246	-	2,0	40°
	93,40	"	2.682	108	-	-	-
	95,40	"	2.673	10	2.936	-	-
	99,80	"	2.610	41	-	-	-
SRA-21	102,10	"	2.625	15,6	-	-	-
	18,60	"	2.695	345	-	-	-
	72,40	"	2.674	91	2.914	-	-
	24,50	Conglomerado	2.826	262	5.146	-	-
	36,00	"	2.709	74	1.830	-	-
SRA-22	51,70	Arenisca	-	161	-	-	-
	53,10	Pizarra	2.822	37	-	-	-
	60,35	"	2.768	405	1.818	-	-
	82,35	"	2.746	317	3.100	-	-
	85,00	"	2.563	8,2	-	-	-
SRA-23	30,20	"	2.528	12	-	-	-
	30,50	"	2.649	27	2.664	-	-
	45,00	"	2.634	41	3.229	-	-
	57,60	"	2.627	270	2.708	-	-
	79,70	"	3.535	525	2.293	-	-
SRA-24	15,90	Arenisca	2.447	52	1.730	-	-
	25,90	Pizarra	2.611	1.078	-	1,2	18°
	36,00	Arenisca	2.623	34	-	1,8	16°
SRA-32	1,70	"	2.520	9	2.271	-	-
	3,00	Microconglom.	2.953	548	-	-	-
	5,50	"	2.616	16	2.750	-	-
SRA-33	6,70	Arenisca	2.587	18	-	1,8	46°
	7,70	Pizarra	2.550	244	-	-	-
	26,65	"	-	165	-	-	-
	2,10	"	2.548	4	-	-	-
	6,35	"	2.634	6	1.076	-	-
SRA-36	15,00	"	2.888	2	-	2,0	33°
	21,60	Arenisca	2.788	582	3.529	2,3	19°
	26,10	"	2.560	8	3.040	0,5	35°
	31,40	"	2.656	12	3.084	-	-
	39,15	Pizarra	2.569	2	2.454	-	-
	45,75	"	2.564	65	3.780	0,4	32°
	53,10	"	2.552	12	1.706	0,8	20°

SONDEO Nº	MUESTRA	DESCRIPCION	δ APARENTE tn/m ³	Q _u EQUIV. kg/cm ²	VELOCIDAD ONDAS P m/seg.	RESISTENCIA AL CORTE	
						C _R tn/m ²	ϕ R/Grados
SRA-2	45,30	Conglomerado	2.749	6.980	4.800	-	-
SRA-3	27,00	Arenisca	1.932	4.885	2.700	-	-
	49,50	"	2.571	764	2.520	-	-
	62,00	"	2.697	2.540	2.770	-	-
SRA-7	15,00	Conglomerado	2.767	111'	3.600	-	-
	28,00	Pizarra	2.756	457	-	-	-
	33,75	Conglomerado	2.832	97	2.100	-	-
	38,50	Pizarra	2.748	37	3.000	-	-
	45,00	"	2.855	384	1.700	-	-
	52,00	Arenisca	2.811	16	2.800	-	-
	57,70	Pizarra	2.429	112	2.700	-	-
	64,00	"	2.780	3,6	2.000	-	-
SRA-8	26,50	"	2.742	10	2.200	-	-
SRA-10	15,00	"	2.655	66	-	-	-
	19,00	"	2.721	474	2.900	-	-
	39,00	"	2.790	64	2.400	-	-
SRA-13	49,00	"	2.770	345	-	-	-
	20,55	"	2.665	126	2.300	-	-
	24,00	Conglomerado	2.727	12	3.700	-	-
	31,54	Pizarra	2.774	18	2.000	-	-
	45,57	"	2.757	214	3.200	-	-
SRA-15	50,95	"	2.774	14	2.400	-	-
	15,00	"	2.570	55	1.923	-	-
	29,55	"	2.758	4	2.200	-	-
	38,00	"	2.800	55	2.830	-	-
	46,30	"	2.840	40	-	-	-
	47,60	Arenisca	2.716	167	2.987	-	-
	52,15 (A)	Conglomerado	2.689	10	3.900	-	-
	52,15 (B)	Idem + Pizarra	2.684	78	3.300	-	-
52,15 (C)	Conglomerado	2.744	1.155	3.100	-	-	
SRA-16	71,20	Arenisca	2.776	145	3.100	-	-
	78,00	Pizarra	2.770	25	3.400	-	-
	83,55	Conglomerado	2.630	244	3.500	-	-
	9,64	Arenisca	2.562	43	2.140	-	-
	29,00	Pizarra	2.814	216	2.628	0,5	23°
	40,00	"	2.695	450	2.000	-	-
	43,00	"	-	231	-	-	-
SRA-19	55,25	"	2.507	5	2.700	-	-
	66,50	Conglomerado	1.360	127	4.800	-	-
	74,80	Arenisca	2.771	80	3.400	-	-
	81,00	Pizarra	2.754	10	-	-	-
SRA-17bis	105,60	"	2.793	5	-	-	-
	8,00	Arenisca	2.460	3	1.577	-	-
	30,25	Pizarra	-	2,6	-	-	-

SONDEO	MUESTRA	DESCRIPCION	γ APARENTE (tn/m ³)	Q _u EQUIVALENTE * (kg/cm ²)	VELOCIDAD ONDAS P (m/seg.)	DURABILIDAD (°/o)	RESISTENCIA AL CORTE	
							C _R tn/m ²	θ _R (grados)
SCE 19	10.20 14.77 48.50 80.26 89.50	Pizarra Pizarra Pizarra Diabasa y carbón Arenisca	2,463 2,417 2,478 2,443 2,569	418 97 237	2,143 2,030 3,545 1,980	96.80	0	32
SCE 21	25.94 29.15 32.91 52.50 58.92 60.64 65.88	Arenisca Pizarra Arenisca Pizarra Pizarra Pizarra Pizarra	2,467 2,318 2,547	76 177 69	1,050		2.8 4.2	27.5 11
SCE 22	17.40 22.47 26.00 29.00 31.50 37.80 41.30 58.15 61.00 64.00 77.86	Pizarra Pizarra Arenisca Pizarra Pizarra Arenisca Pizarra Arenisca Pizarra Pizarra Diabasa	2,364 2,318 2,488 2,415 2,605 2,508 2,162	23 293 253 463 64	3,150 2,727 3,990 1,917 1,971 2,956	87.20	2,1 0,1	37 43
SCE 27	18.00 31.50 37.45 56.20 73.65 85.80 96.50 97.00	Pizarra Pizarra Pizarra Arenisca Arenisca Pizarra Diabasa Diabasa	2,593	516 1,136 702 488	2,780 3,418 4,971	96.40	0,6	27
SCE 28	5.00 8.70 15.20 36.90	Pizarra Arenisca Arenisca Pizarra	2,599 2,506 2,469	103	2,720 3,997		1,1 0,3 2,8 **	36 30 23 **
SCE 32	25.00 28.50 52.20	Pizarra Pizarra Diabasa	2,654 2,499	440 178 153	2,200 2,780		2,5	36
SCE 38	52.80 57.60	Pizarra Pizarra	2,825		3,309			
SCE 39	9.30 26.30 36.50 37.20 43.40 50.80	Arenisca Diabasa Diabasa Diabasa Pizarra Pizarra	3,061 2,594 2,741	256 396	3,350 3,077 2,077	95.80	0,2 6,5 ** 5,8 **	49 30 ** 27 **
SCE 40	18.20 23.30 56.50 69.45 75.70	Pizarra Pizarra Diabasa Diabasa Diabasa	2,683 2,255	614 944	3,149 2,839	96.80	4,5 ** 9,0	22 ** 11
SCE 41	14.20 23.90 35.00 41.15 53.00 61.50 91.50	Pizarra Arenisca Pizarra Arenisca Arenisca Pizarra Pizarra	2,451	281 440 283	1,545 1,960 4,802		4,8 **	25 **
SCE 42	21.50 31.30	Pizarra Pizarra	2,522 2,564					
SCE 43	12.95 23.10	Arenisca Pizarra	2,455	144 320	2,260 1,830			
SCE 44	19.80 29.10 39.00 42.55 51.80 55.00 57.40 59.80 69.00 73.20 82.50	Diabasa Diabasa Pizarra Diabasa y carbón Diabasa Diabasa Diabasa Diabasa Diabasa Diabasa Pizarra-arenisca	2,648 2,038 2,515 2,585 2,261 2,659 2,500	75 150 150 44 662 811	1,761 1,225 2,715 3,500 1,840 2,786 4,920	91,00	2,8 ** 3,2 **	30 ** 21,5 **

* La resistencia a compresión simple equivalente deducida del ensayo de rotura entre puntos, ofrece los valores más desfavorables obtenidos.

** Ensayos de corte con dos escalones de carga a 2 y 8 kg/cm², respectivamente.

CUADRO RESUMEN DE PROPIEDADES MECANICAS

las diabasas entre 1.200 y 5.000 con aumento ostensible con la profundidad.

En los cuadros se incluyen todos estos datos.

4.2.4.- Resistencia al Corte

Se han llevado a cabo diversos ensayos de corte o rozamiento en discontinuidades de las areniscas y pizarras, principalmente.

Se han ensayado muestras bloque y testigos con discontinuidades, así como con aparatos de corte de laboratorio y campo, estos últimos sobre discontinuidades creadas por rotura de carga puntual o cortadas con disco.

- a) Estratificaciones naturales y muestras próximas a la formación carbonífera, con ángulo de rozamiento entre 25° y 29° y cohesiones de 3 a 8 t/m^2 .
- b) Discontinuidades artificiales. Ángulo de rozamiento entre 30° y 35° y cohesión entre 10 y 17 t/m^2 .

Las areniscas y diabasas ensayadas, presentan valores que oscilan entre ambos límites.

En zonas más tectonizadas, los ensayos realizados sobre pizarras muestran los comportamientos diferentes:

- a) Pizarras con rozamiento de 20° a 25° y cohesiones de 4 a 10 t/m^2 .
- b) Pizarras con rozamientos de 24° a 26° y cohesiones de 15 a 18 t/m^2 .

También se ha determinado la resistencia residual en muchas muestras, con valores del rozamiento residual, comprendido entre 15^o y 40^o y cohesiones residuales de 0.2 a 9 t/m².

4.2.5.- Análisis Mineralógico

En cuanto a los ensayos mineralógicos por Rayos X y de fábrica por microscopia electrónica, cabe indicar que los minerales predominantes son la caolinita y la illita y en menor cantidad, cloritas y feldespatos, en las pizarras de muro.

La presencia de feldespatos y caolín indica que las lutitas son potencialmente meteorizables a grado medio, puesto que parte de los feldespatos se habrán ya transformado en caolín.

El análisis químico porcentual realizado en el Departamento de Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid da los siguientes resultados, sobre 39 ensayos:

Si O ₂	52.20%
Al ₂ O ₃	30,22%
Mg O	4,48%
FeO + Fe ₂ O ₃	2.96%
Ca O	0.16%
K ₂ O	5.94%
Na ₂ O	2.92%
Ti ₂ O	0.57%

En los estudios en lámina delgada se aprecia una marcada laminación de los granos de cuarzo orientados según la estratificación. La presencia de intercalaciones de carbón, cerca de las capas, origina una fuerte anisotropía mecánica, que se favorece en el contacto con la neoformación de silicatos laminales, dando superficies fácilmente exfoliables.

Es importante hacer resaltar de este estudio mineralógico la ausencia de minerales arcillosos tipo montmorilonita, silicato hidratado de aluminio, formado por dos láminas de silicato, y una de hidróxido de aluminio intimamente ligadas, que hinchan extremadamente ante la presencia de agua. Esto elimina el origen mineralógico de la fuerte presión del terreno en las galerías del muro.

Los minerales arcillosos que se han detectado son la Kaolinita y la Illita, mucho menos activas ante el agua que la montmorilonita, en especial la Kaolinita.

ANEXO 5

MEDIDAS DE TENSIONES IN-SITU CON CELULAS
TRIAXIALES (STRESS TENSOR GAGE) (STG)

5.1.- EQUIPOS DE LOS ENSAYOS

Estos ensayos se utilizan para determinar el estado inicial de tensiones existente en el macizo rocoso, mediante una - instrumentación apropiada realizada en el interior de sondeos , consistiendo en la medición de las deformaciones que experimenta la roca después de que ha sido liberada de las tensiones que sobre ella actuaban.

El aparato consiste en un cilindro de material plástico (Fig. 1) , dentro del cual se encuentran tres rosetas de tres bandas extensométricas en cada una de ellas. Estas rosetas están conectadas a un cable. El cable pasa a través del varillaje de instalación del aparato y hace que sea posible la lectura desde fuera del sondeo de las deformaciones detectadas por las bandas extensométricas. Estas deformaciones se leen mediante un indicador portable de deformaciones, conectado a las diferentes salidas del cable mediante un switch también transportable.

El aparato es adherido a la roca, el cemento de adhesión se introduce en el sondeo mediante un cartucho, el cual se fija al aparato mediante un muelle elástico. La posición vertical y la rigidez del cartucho se asegura mediante un varillaje con - guiaderas y un muelle elipsoidal previamente introducido en el cartucho.

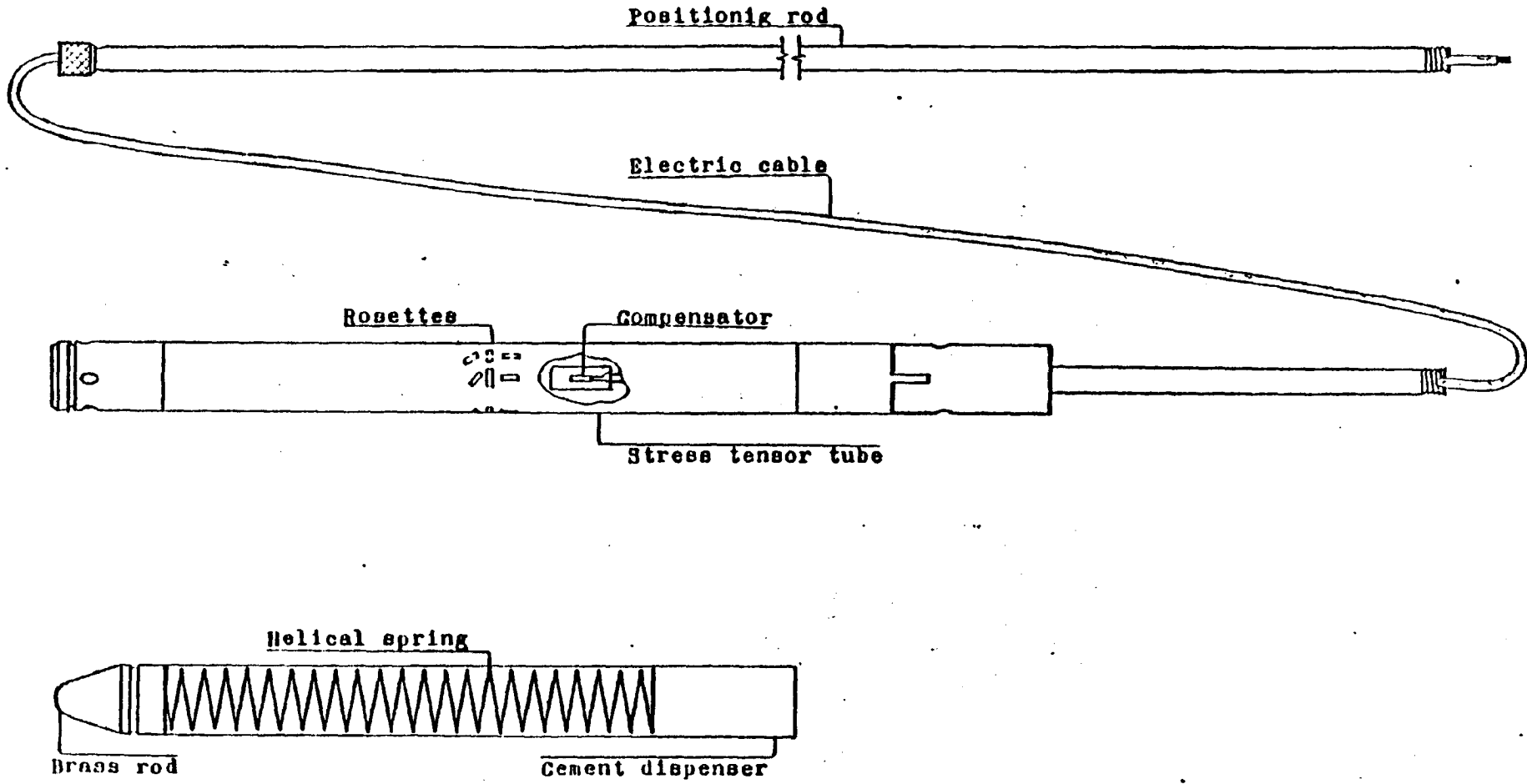


FIG. 1-

5.2.- TECNICA DEL ENSAYO

Las diferentes fases del ensayo se presentan esquemáticamente en la figura 2. Las principales operaciones son:

- a) Perforación de un sondeo de 115 mm de diámetro, hasta la profundidad requerida por los ensayos.
- b) Coaxial con este sondeo se abre otro sondeo a la profundidad donde se quiera hacer en ensayo, con un diámetro de 37 mm, y de unos 90 cm de longitud.
- c) El aparato (STG) ("Stress Tensor Gage") y el cartucho conteniendo el cemento aglutinador, se introducen en el sondeo de 37 mm, utilizando el varillaje de instalación que al mismo tiempo permite la orientación del medidor (STG).
- d) Una vez que se ha producido la polimerización del cemento, el cual requiere un periodo de 48 horas, se toman las primeras lecturas iniciales de las bandas extensométricas; se inicia la operación de trepanado ("overcoring") con el fin de distensionar y relajar a la masa rocosa; luego, una vez que las deformaciones correspondientes han tenido lugar, se toman nuevas lecturas.
- e) La última operación consiste en la recuperación del testigo (cilindro hueco) obtenido durante la trepanación en 115 mm.

5.3.- SITUACION DE LAS PRUEBAS

Las campañas de medidas de tensiones del terreno fueron dos, la primera realizada en el culatón intermedio del piso 325 del pozo S. José, este es el mismo lugar que el ensayo con el dilatómetro, y la segunda se llevó a cabo en el primer culatón

FASES DE ENSAYO

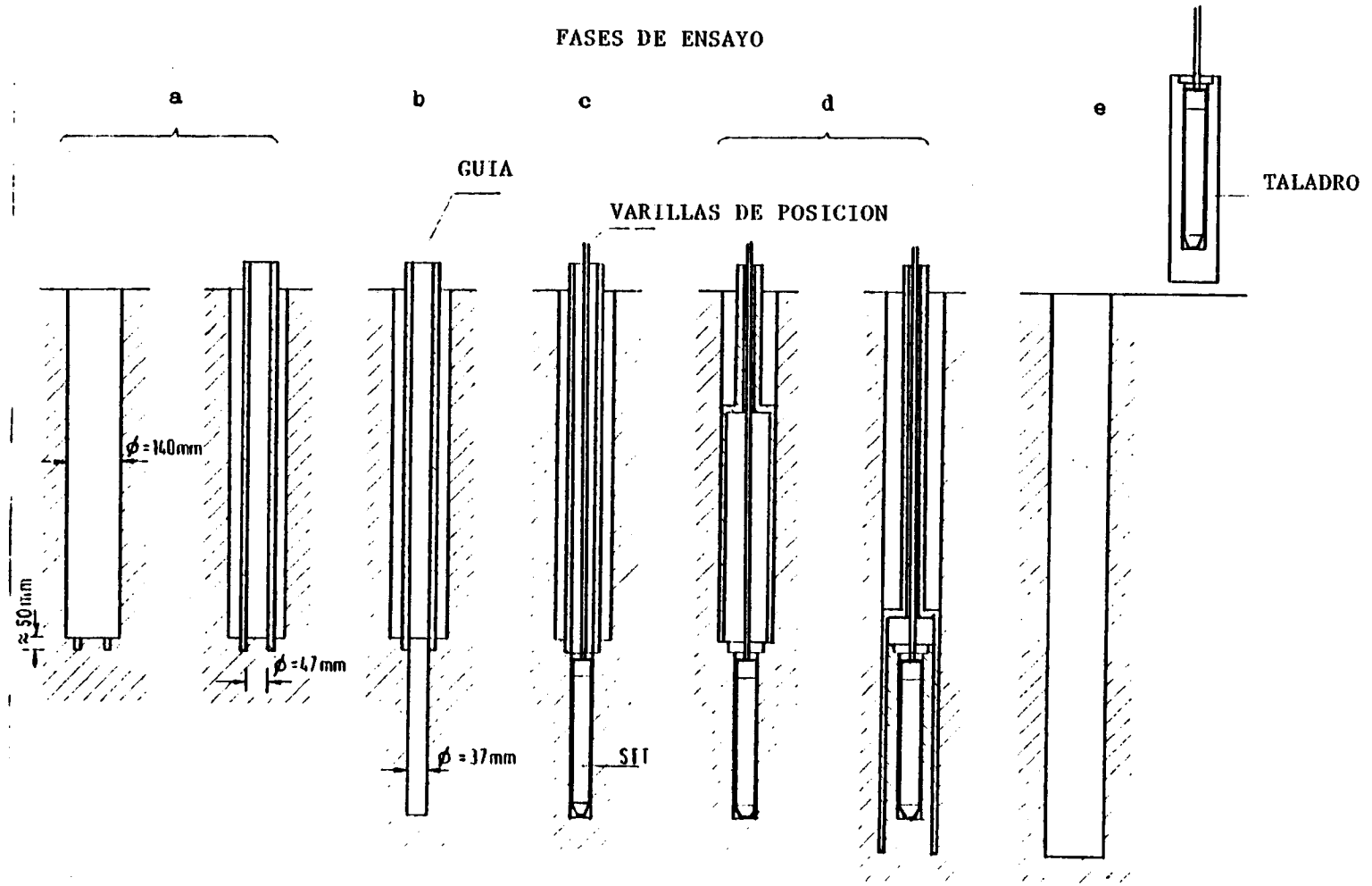


Fig. 2

(el más oriental) del mismo piso del mismo pozo S. José, a 120 metros más al Oeste del culatón intermedio.

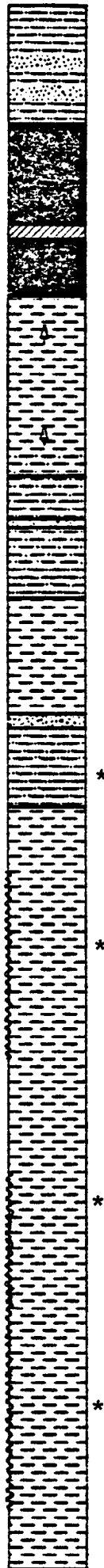
En la primera campaña (culatón intermedio) se realizaron las medidas en un sondeo de 115 mm \emptyset y 26 metros de profundidad (Sondeo 2) y en la segunda (primer culatón), los sondeos de 115 mm \emptyset y 25 y 20 metros respectivamente de profundidad. (Sondeos 3 y 4).

El sondeo 2 (Fig. 3), fué perforado a 2 metros más al norte del 1, ensayándose a 16.5 m y a 20.65 m en pizarra masiva y en pizarra menos compacta más fracturada por lo que esta segunda prueba tuvo que repetirse. En esta primera campaña se hicieron 9 ensayos (tres por prueba o cota), correspondientes a las tres rosetas extensométricas necesarias por prueba, (parte inferior Tabla I).

En la segunda campaña se realizaron los sondeos 3 y 4 de 115 mm \emptyset y 25 y 20 metros de profundidad en donde se realizaron 4 pruebas (12 ensayos). El sondeo 3 se hizo a tricono hasta - cerca de los 25 metros, donde se intentó realizar una segunda prueba dando fallida por las malas características del material, altamente fracturado, superior a lo esperado, de acuerdo a lo observado en los sondeos 1 (Dilatómetro) y 2 (STG) realizados en el culatón intermedio. Se intentó seguir perforando hasta conseguir mejores condiciones, al no encontrarlo y por estar en el límite de capacidad de la máquina de perforaciones, se abandonó este sondeo y a poca distancia de él, se realizó otro idéntico (4) con 20 metros de profundidad y en donde se realizaron otras 4 pruebas (Fig. 4); a 9.75, 12.40, 16 y 18 metros.

Se realizaron pues para estos ensayos de medidas de tensiones in-situ un total de 71 metros de 115 mm de diámetro y 4

SONDEO 4
(FLUENCIA)



- LEYENDA -

	Pizarra fina
	Pizarra poco arenosa
	Pizarra arenosa
	Pizarra muy arenosa
	Pizarra carbonosa
	Arenisco
	Carbón
	Nivel con plantas
	Zona muy rota

* pruebas

ESCALA 1/100

metros de 37 mm con recuperación de testigo.

5.4.- DETERMINACION DEL ESTADO TENSIONAL

En coordenadas polares (r, θ , Z) el estado de deformación en el medidor de tensiones viene representado por:

$$\epsilon'_r = M_1 \frac{P_x + P_y}{E} + N_1 \cos(2\theta) \frac{P_x - P_y}{E} - M_2 \frac{P_z}{E} + 2 N_1 \sin(2\theta) \frac{P_{xy}}{E}$$

$$\epsilon'_\theta = M'_1 \frac{P_x + P_y}{E} + N_2 \cos(2\theta) \frac{P_x - P_y}{E} - M'_2 \frac{P_z}{E} + 2 N_2 \sin(2\theta) \frac{P_{xy}}{E}$$

$$\epsilon'_z = \frac{P_x + P_y}{E} + \frac{P_z}{E}$$

$$\gamma'_{r\theta} = N_3 \sin(2\theta) \frac{P_x - P_y}{E} - 2 \cos(2\theta) \frac{P_{xy}}{E}$$

$$\gamma'_{\theta z} = M_3 \cos(2\theta) \frac{P_{yz}}{E} - \sin(2\theta) \frac{P_{zx}}{E}$$

$$\gamma'_{zr} = M'_3 \sin(\theta) \frac{P_{yz}}{E} + \cos(\theta) \frac{P_{zx}}{E}$$

en donde

PP: Tensiones en el sistema de ejes (x, y, z)

ϵ' y γ' : Deformaciones unitarias y distorsiones en el sistema de ejes (r, θ , z).

E y ν : Modulos de Elasticidad y ratio de Poisson del material.

Los valores de M_1 , M'_1 , M_2 , M'_2 , M_3 y M'_3 así como los de N_1 , N_2 y N_3 , son, considerando las características del material plástico del que está fabricado el medidor:

$$M_1 = (a - bs) + v(c + ds)$$

$$M_1' = (a + bs) + v(c - ds)$$

$$M_2 = v(a - bs) + (c + ds)$$

$$M_2' = v(a + bs) + (c - ds)$$

Siendo:

$$a = 0.20589$$

$$b = 1.13124$$

$$c = 0.32479$$

$$d = 0.46268$$

$$s = 0.88246$$

$$M_3 = 2.35021 (1 + v) (1 + s)$$

$$M_3' = 2.35021 (1 + v) (1 - s)$$

$$N_1 = 1.62179 (1 - v^2)$$

$$N_2 = 2.44402 (1 - v^2)$$

$$N_3 = 1.06743 (1 - v^2)$$

Las deformaciones unitarias medidas por las rossetas de bandas extensométricas, considerando sus orientaciones y sus posiciones son:

$$\epsilon_1 = -v \frac{P_X - P_Y}{E} + \frac{P_Z}{E}$$

$$\epsilon_2 = \frac{M_1' - v}{2} \frac{P_X + P_Y}{E} + \frac{N_2}{2} \frac{P_X - P_Y}{E} + \frac{1 - M_2'}{2} \frac{P_Z}{E} + \frac{M_3}{2} \frac{P_{YZ}}{E}$$

$$\epsilon_3 = M_1' \frac{P_X + P_Y}{E} + N_2 \frac{P_X - P_Y}{E} - M_2' \frac{P_Z}{E}$$

$$\epsilon_4 = -v \frac{P_X + P_Y}{E} + \frac{P_Z}{E}$$

$$\epsilon_5 = \frac{M_1' - \nu}{2} \frac{P_x + P_y}{E} - N_2 \frac{P_x - P_y}{E} + \frac{1 - M_2'}{2} \frac{P_z}{E} - \frac{M_3}{2} \frac{P_{zx}}{E}$$

$$\epsilon_6 = M_1' \frac{P_x + P_y}{E} - N_2 \frac{P_x - P_y}{E} - M_2' \frac{P_z}{E}$$

$$\epsilon_7 = -\nu \frac{P_x + P_y}{E} + \frac{P_z}{E}$$

$$\epsilon_8 = \frac{M_1' - \nu}{2} \frac{P_x + P_y}{E} + \frac{1 - M_2'}{2} \frac{P_z}{E} + N_2 \frac{P_{xy}}{E} - \frac{2}{4} M_3 \frac{P_{yz} - P_{zx}}{E}$$

$$\epsilon_9 = M_1' \frac{P_x - P_y}{E} - M_2' \frac{P_z}{E} - 2 N_2 \frac{P_{xy}}{E}$$

Este sistema de nueve ecuaciones con seis incógnitas puede resolverse usando el método de los mínimos cuadrados y así obtener los valores más probables de las tensiones (P_s'), con los cuales se obtienen subsecuentemente las tensiones principales y sus orientaciones con referencia al sistema inicial de ejes de referencia (x, y, z).

5.5.- RESULTADO DE LOS ENSAYOS

Los resultados de las pruebas se presentan en las tablas I y II y las variaciones de las deformaciones unitarias (ϵ_1 a ϵ_9) en las figuras 5, 6, 7 y 8 para las pruebas realizadas.

De los resultados obtenidos se desprenden las siguientes conclusiones:

- 1^o) A 16.5 m de profundidad, las tensiones principales σ_1' , σ_2' y σ_3' toman los valores y disposiciones espaciales siguientes: (ver fig. 9)

TABLA I

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CON EL SGT.-

ENSAYO A 16.50 m. DE PROFUNDIDAD.-

EXTENSO METRO	DEFORMACIONES (10 ⁻⁶)			TENSIONES (Kg/cm ²)		CONSTANTES ELASTICAS		
	Inic.	Final	Difer.					
ε ₁	9684	8962	722	σ _x	68,7	E=208300 Kg/cm ²		
ε ₂	9884	9670	214		68,2			
ε ₃	9786	9444	342	σ _y	86,1	ν = 0,21		
ε ₄	9634	8936	698	τ _{yz}	8,9			
ε ₅	9864	9702	162	τ _{yx}	6,4	Angulo con		
ε ₆	9756	9310	446	τ _{xy}	1,5	x	y	z
ε ₇	9772	9120	652	σ _I	92	70°	34°	64°
ε ₈	9898	9472	426	σ _{II}	67	106°	111°	27°
ε ₉	9810	9310	500	σ _{III}	64	26°	115°	84°

ENSAYO A 20.65 m. DE PROFUNDIDAD.-

EXTENSO METRO	DEFORMACIONES (10 ⁻⁶)			TENSIONES (Kg/cm ²)		CONSTANTES ELASTICAS		
	Inic.	Final	Difer.					
ε ₁	10990	10258	732	σ _x	59,9	E=192300 Kg/cm ²		
ε ₂	11012	10714	298	σ _y	61,2			
ε ₃	10956	10938	18	σ _z	106,1	ν = 0,19		
ε ₄	11008	10404	604	τ _{yz}	32,5			
ε ₅	10968	10400	568	τ _{zx}	- 2,0	Angulo con		
ε ₆	11004	10340	664	τ _{xy}	5,6	x	y	z
ε ₇	10810	10348	462	σ _I	123	91°	118°	28°
ε ₈	10908	10546	362	σ _{II}	42	108°	33°	64°
ε ₉	10902	10617	285	σ _{III}	62	18°	74°	81°

ORIENTACION EN EL ESPACIO.-

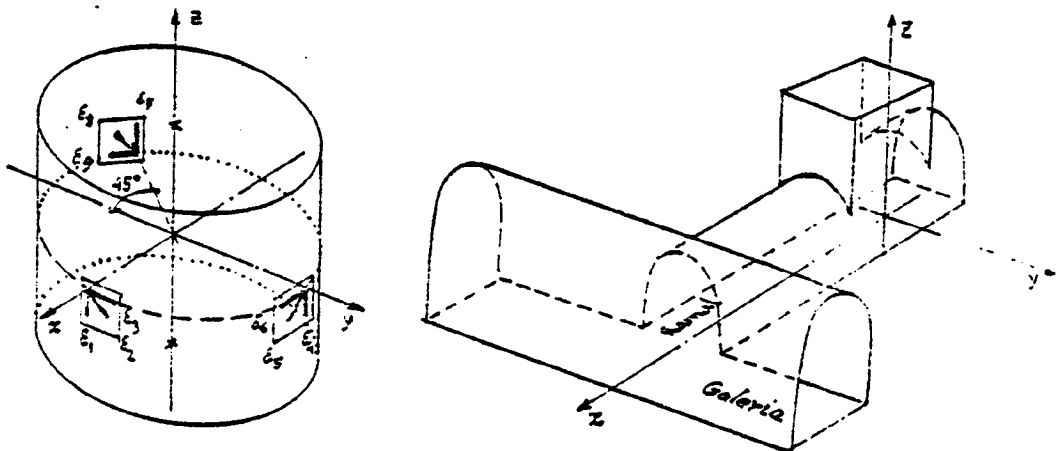


TABLE II

Results of stress tensor tube tests

Test at 9.75 m

Gauge	Strain (10^{-6})			Stresses* (kgf/cm ²)		Elastic Constants		
	Initial	Final	Difer.					
E ₁	39995	39755	240	σ_x	51.5	E=329000 kgf/cm ² V=0.26		
E ₂	40020	39973	47	σ_y	45.4			
E ₃	40008	39742	266	σ_z	50.6	Angle		
E ₄	39993	39627	386	τ_{yz}	-3.5			
E ₅	40109	40009	100	τ_{zx}	3.7	x	y	z
E ₆	40000	39878	122	τ_{xy}	8.4			
E ₇	39998	39757	241	σ_I	58	146°	121°	79°
E ₈	40007	39878	129	σ_{II}	52	93°	66°	24°
E ₉	40161	40069	92	σ_{III}	38	57°	136°	69°

Test at 12.40 m

Gauge	Strain (10^{-6})			Stresses* (kgf/cm ²)		Elastic Constants		
	Initial	Final	Difer.					
E ₁	39980	39452	528	σ_x	99.3	E=420000 kgf/cm ² V=0.26		
E ₂	40017	39942	75	σ_y	100.6			
E ₃	39990	39750	240	σ_z	76.8	Angle		
E ₄	39980	39465	515	τ_{yz}	8.8			
E ₅	40015	39998	17	τ_{zx}	-7.0	x	y	z
E ₆	39990	39674	316	τ_{xy}	3.5			
E ₇	39980	39507	473	σ_I	104	113°	154°	79°
E ₈	39995	39917	78	σ_{II}	101	28°	108°	69°
E ₉	39995	39788	207	σ_{III}	72	106°	72°	24°

* Compression positive

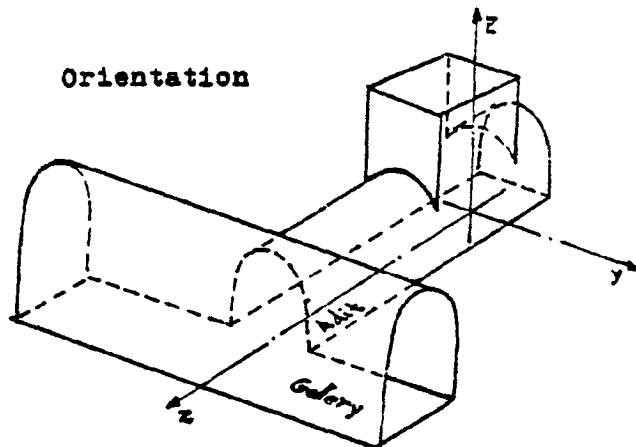
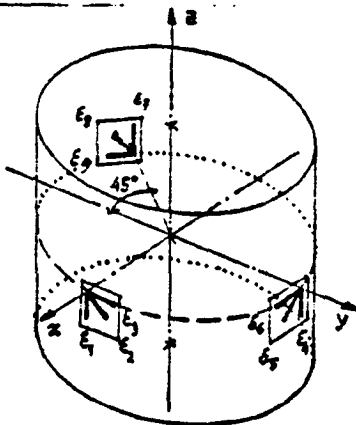


TABLA II (Cont.)

ENSAYO A 16 m. DE PROFUNDIDAD

EXTENSO METRO	DEFORMACIONES (10^{-6})			TENSIONES (Kg/cm ²)		CONSTANTES ELASTICAS		
	Inic.	Final	Difer.					
ϵ_1	9789	8923	710	σ_x	69,2	E = 214000 kg/cm ² v = 0,20		
ϵ_2	9994	9562	220	σ_y	67,5			
ϵ_3	9832	9320	352	σ_z	82,1	Angulo con		
ϵ_4	9743	8960	699	τ_{yz}	9,0			
ϵ_5	9648	9601	166	τ_{zx}	6,3	x	y	z
ϵ_6	9657	9401	455	τ_{xy}	1,0			
ϵ_7	9702	9202	623	σ_I	90	72°	33°	65°
ϵ_8	9900	9470	462	σ_{II}	68	110°	108°	26°
ϵ_9	9108	9272	511	σ_{III}	66	25°	120°	80°

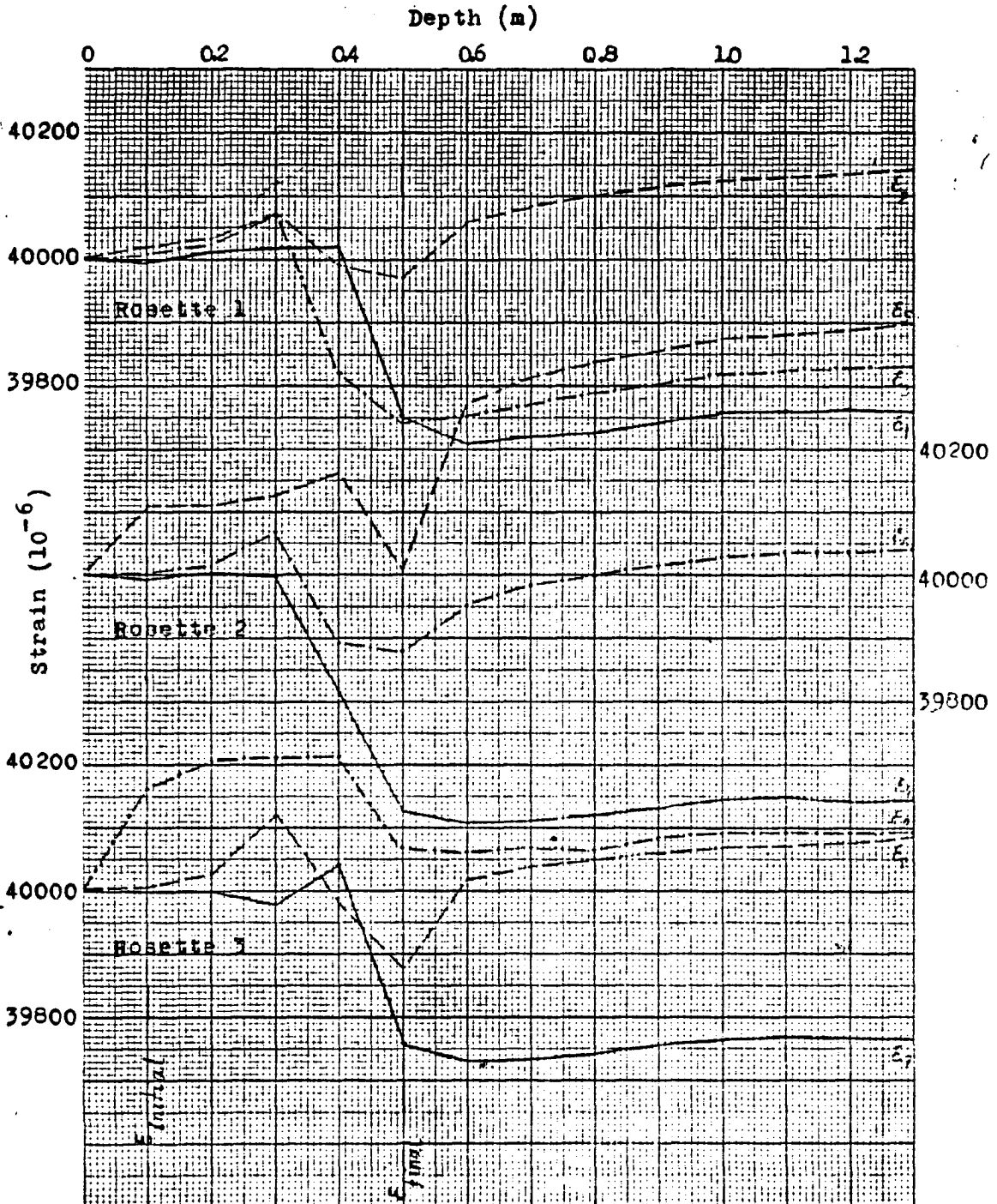
ENSAYO A 18 m. DE PROFUNDIDAD

EXTENSO METRO	DEFORMACIONES (10^{-6})			TENSIONES (Kg/cm ²)		CONSTANTES ELASTICAS		
	Inic.	Final	Difer.					
ϵ_1	10990	10354	734	σ_x	60,2	E = 210000 Kg/cm ² v = 0,20		
ϵ_2	11212	10624	288	σ_y	60,2			
ϵ_3	10900	10832	21	σ_z	110,1	Angulo con		
ϵ_4	11080	10348	656	τ_{yz}	33,5			
ϵ_5	10697	10456	588	τ_{zx}	-1,8	x	y	z
ϵ_6	11040	10402	672	τ_{xy}	5,8			
ϵ_7	10099	10222	482	σ_I	120	90°	120°	29°
ϵ_8	10990	10643	377	σ_{II}	44	100°	30°	65°
ϵ_9	10880	10599	286	σ_{III}	60	19°	76°	82°

STRESS TENSOR TUBE TESTS (STT)

Test at 9.75 m

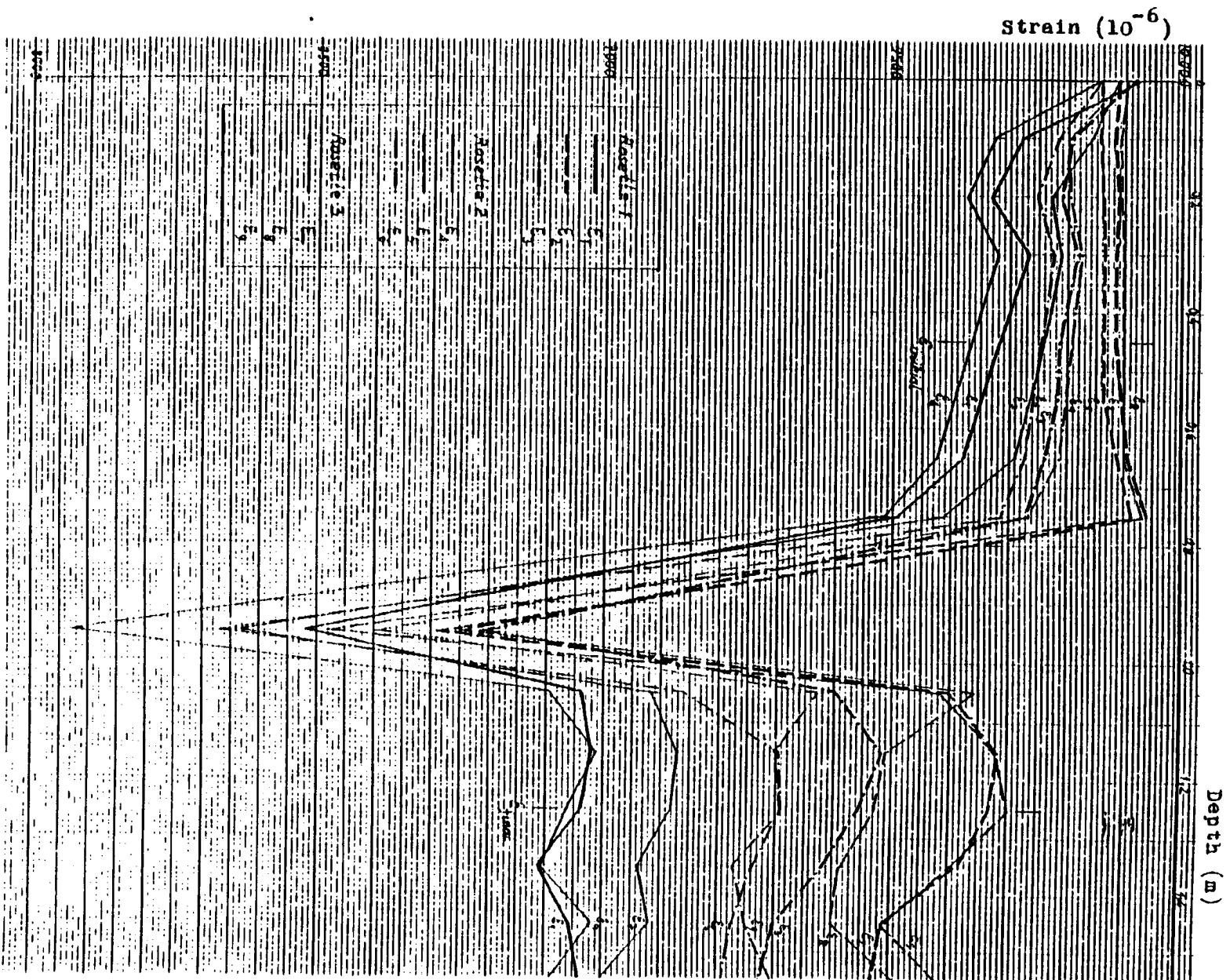
Strain-depth diagram.



STRESS SENSOR TUBE TESTS (SIN)

Test at 16.8m

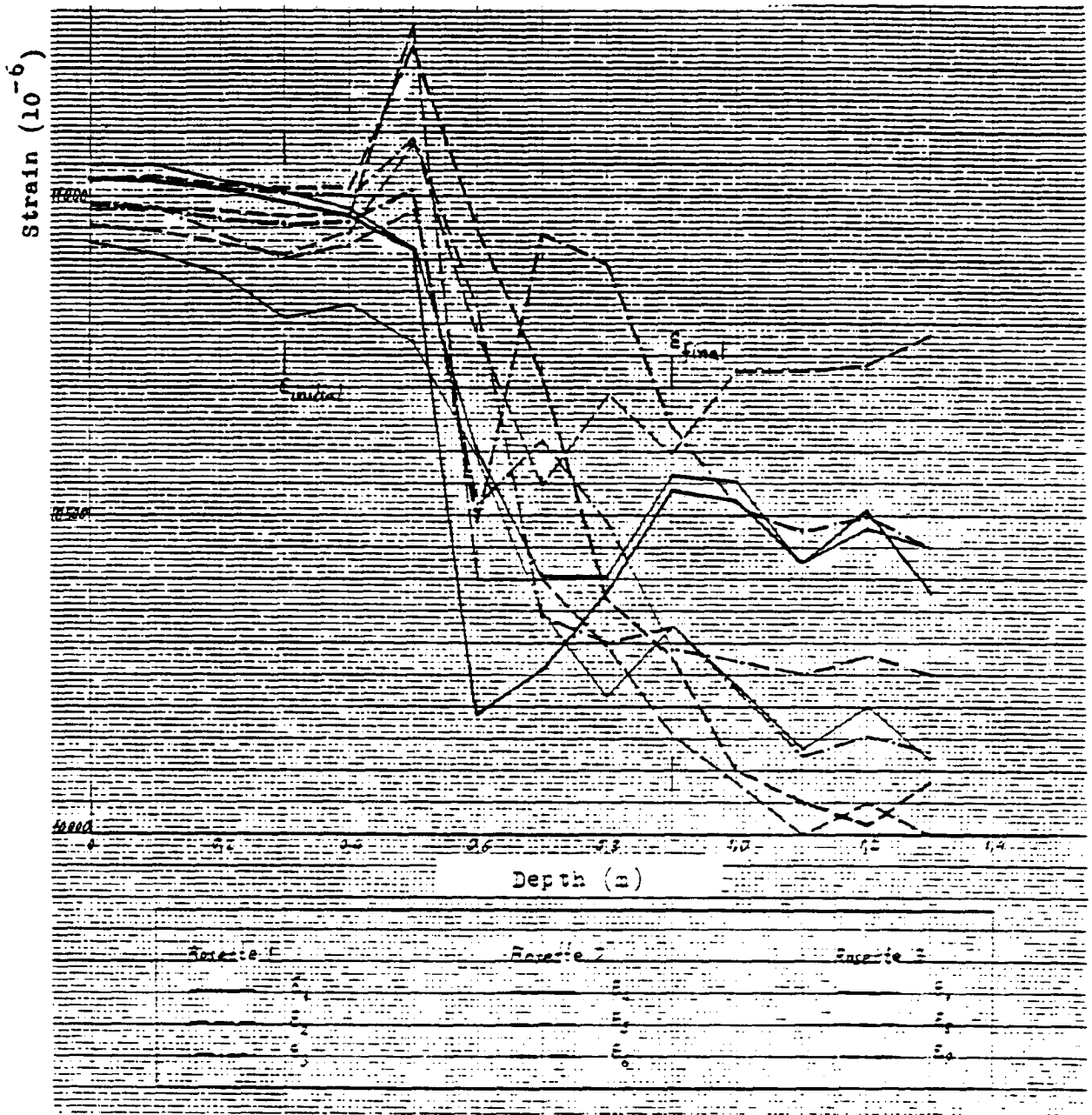
Strain-depth diagram



STRESS TENSOR TUBE TESTS (STT)

Test at 20.2m

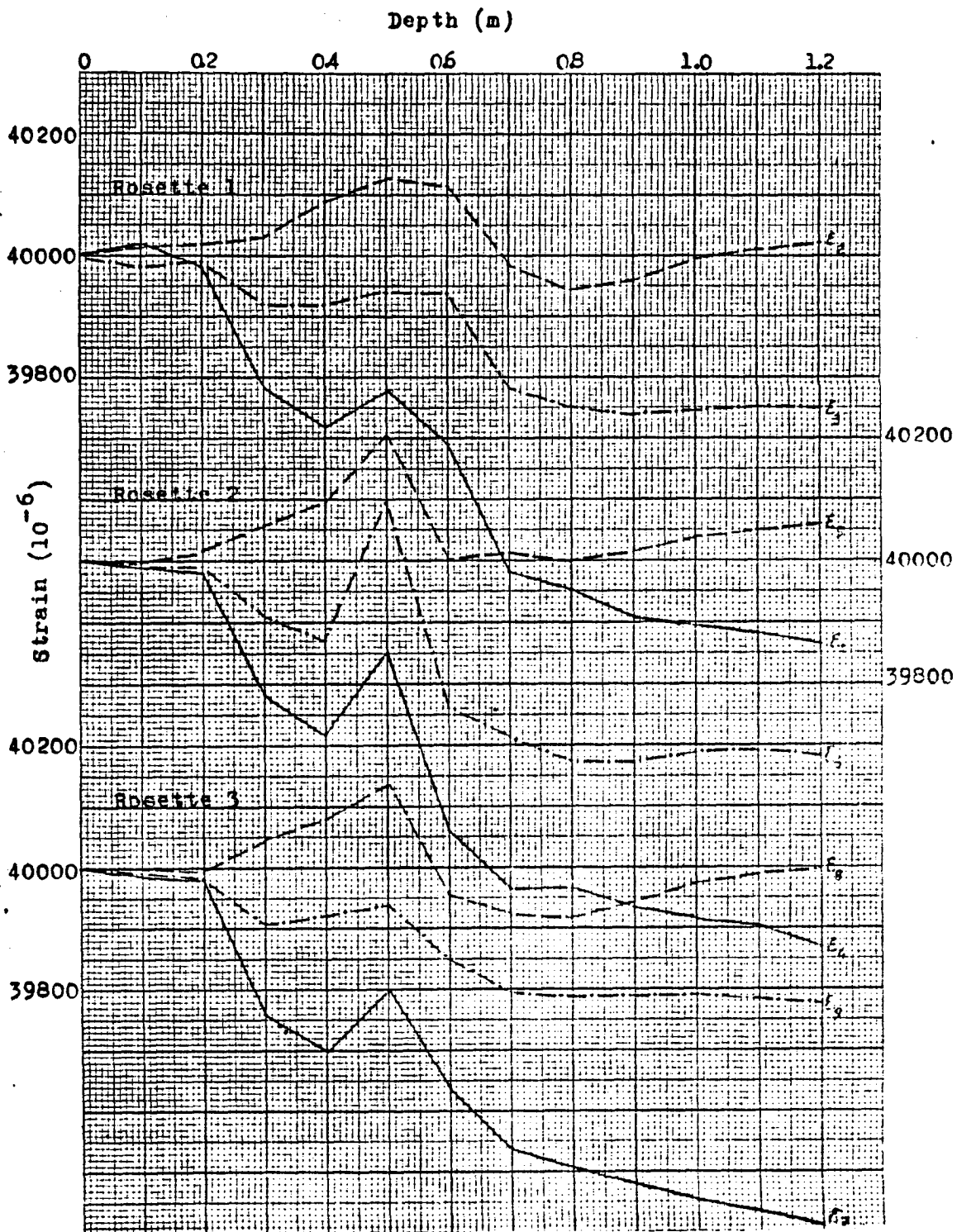
Strain-depth diagram



STRESS TENSOR TUBE TESTS (STT)

Test at 12.4 m

Strain-depth diagram



$\sigma_1' = 92 \text{ kg/cm}^2$	S76 E/ 34 E
$\sigma_2' = 67 \text{ kg/cm}^2$	N54 W/ 68 W
$\sigma_3' = 64 \text{ kg/cm}^2$	S14 W/ 22 W

- La falla representada en la fig. 9, es la detectada en el análisis estructural del culatón (Estación Interior II) , con orientación N 10 SE/ 33^oN.

De la fig. 9 observamos como σ_1' se orienta en practicamente la misma dirección que en falla, tomando σ_1' muy poca inclinación (34^o). σ_3' se hace muy horizontal (22^o) y practicamente perpendicular al plano de falla, lo cual es lógico ya - que la tensión principal mínima dentro de un campo de falla se orienta perpendicularmente al plano de ruptura (falla) , como ocurre en este caso.

Por su parte σ_2' adopta la postura ortogonal a σ_1' y σ_3' y con la mayor de las inclinaciones (68^o).

En magnitud la falla condiciona en su dirección la tensión máxima ($\sigma_1' = 92 \text{ kg/cm}^2$) casi horizontal y deja a las tensiones intermedia y mínima (σ_2' y σ_3') en posición casi vertical y horizontal perpendicular a la falla, con valores practicamente iguales de 67 y 64 kg/cm^2 respectivamente, estableciéndose una relación $\frac{\sigma_1'}{\sigma_2' = \sigma_3'} = 1.4$ muy baja.

Si nos fijamos en los valores de las tensiones verticales - (σ_z) y horizontales (σ_x y σ_y) vemos que las horizontales son practicamente idénticas iguales a 68.7 y 68.8 kg/cm^2 respectivamente y menores a la vertical (86.1 kg/cm^2), con lo que la relación $\frac{\sigma_v}{\sigma_h} = 1.26$, o lo que es lo mismo una tensión

horizontal igual al 80% de la vertical, lo cual indica la presencia de tensiones horizontales altas de origen tectónico-residual ante la acción del campo tensional de fallas; del orden de un Factor de Concentración de Tensiones horizontales de 2.4.

A la profundidad a que nos encontramos y suponiendo una densidad media de los materiales geológicos de 2.4 Tn/m^3 , la tensión vertical debería de ser 82 kg/cm^2 extraordinariamente próximo a los 86.1 kg/cm^2 medidos, esto nos indica un Factor de Concentración de Tensiones Verticales de 1.05, mientras que las tensiones horizontales suponiendo la no existencia de tensiones residuales y con un coeficiente de Poisson medio de 0,2, deberían de ser:

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_v = \frac{0.2}{1-0.2} 82 \text{ Kg/cm}^2 = 20.50 \text{ Kg/cm}^2$$

muy por debajo de lo medido por lo que prueba la existencia de fuertes tensiones residuales horizontales asociadas a los campos de fallas, como hemos comentado.

2º) A 20.65 metros de profundidad, las tensiones principales σ_1 , σ_2 y σ_3 toman los valores y disposiciones espaciales siguientes (fig. 9):

$\sigma_1 = 123 \text{ kg/cm}^2$	N 89 W/ 62 W
$\sigma_2 = 42 \text{ kg/cm}^2$	N 78 E/ 32 E
$\sigma_3 = 62 \text{ kg/cm}^2$	S 04 E/ 18 S

En donde vemos como ahora la Tensión Principal Máxima σ_1 se orienta en la dirección de la capa de carbón (N 90 W / 20 S), y con una inclinación mucho más alta (62°W) que cuan

do el estado tensional se encontraba influido por la falla anterior.

Por su parte la Tensión Principal Intermedia σ_2 , se hace muy horizontal (32° E) y con una orientación próxima a la capa (N 78 E).

σ_3 por su parte tiene una actitud claramente situada en el plano de capa (S 04 E/18 S).

- El estado Tensional Tridimensional al estar fuera de influencias del campo de fallas y discontinuidades, toma una disposición tal que σ_3 sigue la línea de máxima pendiente de la capa, y σ_1 y σ_2 se orientan en dirección según la corrida de la capa con σ_1 casi vertical (62° W) y perpendicular a la capa y σ_2 casi horizontal (32° E).
- La relación entre las tensiones σ_1 , σ_2 y σ_3 , en este caso son:

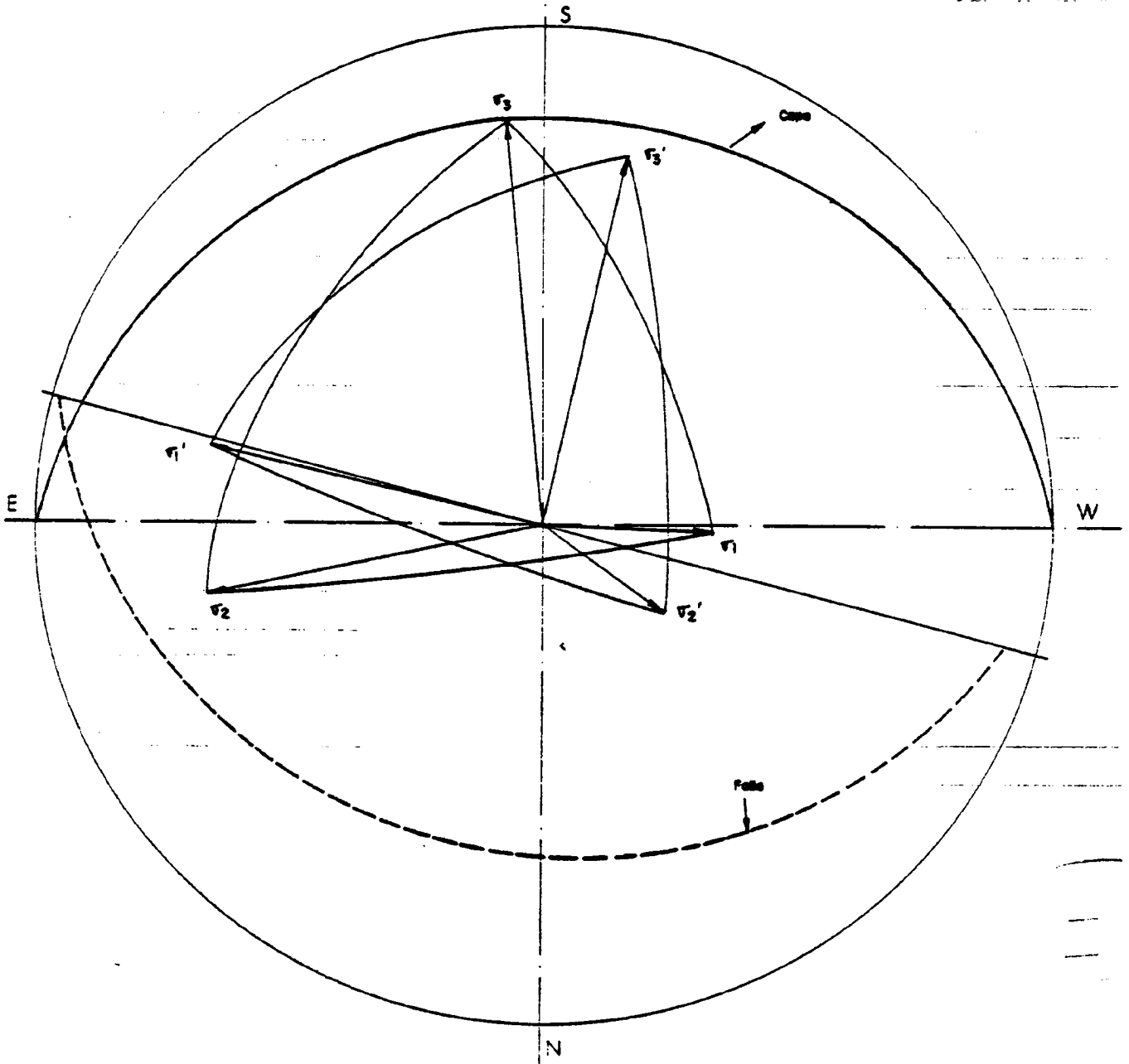
$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 2.93 \quad \text{y} \quad \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = 1.98$$

esta es una relación entre 2 y 3.

- En este caso las tensiones verticales ($\sigma_z = 106.1 \text{ kg/cm}^2$) y las horizontales ($\sigma_x \approx \sigma_y = 60 \text{ kg/cm}^2$) tienen una relación

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_h} = 1.67$$

esto es, una tensión horizontal igual al 70% de la tensión vertical, lo cual nos indica que siguen actuando tensiones horizontales tectónico-residuales a lo normal, con un Fac-



tor de Concentraciones Horizontales igual a 2.2.

Así mismo existe un Factor de Concentración de Tensiones -
Verticales de 1.20.

- 3^o) Tanto en un caso como en otro las tensiones horizontales son uniformes, y presentan componentes altos de actividad tectónica.

La disposición geométrico-espacial de las Tensiones Principales se ve fuertemente perturbada por la presencia de fallas, de forma tal que σ_3 se orienta en dirección perpendicular a las superficies de falla, para luego actual como eje de giro sobre σ_1 y σ_2 , a las que somete a un giro de casi 90^o, adaptando σ_1 a la dirección de la falla.

De la segunda campaña se desprende:

- 1^o) Las orientaciones y valores de las tensiones principales tomadas en esta segunda campaña son:

$$\begin{array}{ll} \sigma_1 = 104 \text{ kg/cm}^2 & \text{S } 66^\circ \text{ E} / 10^\circ \text{ E} \\ \sigma_2 = 103 \text{ kg/cm}^2 & \text{N } 18^\circ \text{ E} / 21^\circ \text{ E} \\ \sigma_3 = 72 \text{ kg/cm}^2 & \text{S } 48^\circ \text{ W} / 66^\circ \text{ W} \end{array}$$

Los estados de tensión aquí medidos prueban que la dirección de la Tensión Principal Primaria es prácticamente perpendicular a la capa de carbón (plano del sinclinal), la Tensión Intermedia es para efectos prácticos horizontal y contenida en el plano de la capa de carbón y la Tensión Principal Mínima está contenida en el plano de capa y buzando en la misma dirección que el plano de la capa de carbón.

La prueba a 9-10 metros de profundidad captó la influencia de la falla comentada y sus datos no pueden considerarse representativos del estado tensional de toda la masa rocosa - en estudio.

- 2^o) Las tensiones horizontales (σ_x, σ_y) son prácticamente homogéneas e iguales a 100 kg/cm^2 , mientras que la tensión vertical toma el valor de 77 kg/cm^2 , quedando pues la tensión horizontal igual a 1.3 la vertical ($\sigma_h = 1.3 \sigma_v$); esto lleva consigo la presencia de fuertes tensiones horizontales atípicas con Factores de Concentración del orden de 4.
- 3^o) Por su parte la tensión vertical medida (σ_z) toma valores por debajo ligeramente (5%) del valor teórico esperado por su profundidad. Esto nos lleva a Factores de Concentración de Tensiones Verticales de 0.95.

5.6.- RESUMEN DE CONCLUSIONES

- 1^o) En el 75% de los resultados la tensión vertical medida (σ_z) es 1.05 - 0.95 veces la teórica (σ_v) prácticamente coincidente con un Factor de Concentración de 1; mientras que en el restante 25% de las mediciones la σ_z es un 20% superior a σ_v , esto es un Factor de Concentración Vertical de 1.2.

$$\sigma_z = (1 - 1.2) \sigma_v$$

- 2^o) De forma semejante para las tensiones horizontales medidas ($\sigma_h = \sigma_x = \sigma_y$), éstas presentan valores en el 75% de los casos igual al 70-80% de la tensión vertical medida, mientras que en un 25% este valor era del 130% de la tensión vertical medida.

$$\sigma_h = (0.7 - 1.3) \sigma_z$$

- 3^o) La actitud espacial de las tensiones de campo está fuertemente condicionada a la geometría del sinclinal, con una σ_1 perpendicular a la capa de carbón, σ_2 horizontal o subhorizontal y en dirección de la capa y σ_3 siguiendo la línea de máxima pendiente o buzamiento de la formación carbonífera.
- 4^o) La presencia de fallas importantes y significativas fuerza localmente y en sus proximidades la disposición geométrica del estado tensional, en un entorno de alrededor de los 10 metros, pero solo en las fallas como hemos comentado importantes.

ANEXO 6

ANALISIS MICROSISMICO

6.1.- INTRODUCCION

La evolución de la investigación geomecánica llevada a cabo en el Pozo S. José de las minas de ENCASUR en Peñarroya, y en especial los significativos datos e información suministrada por la campaña de ensayos in situ en sondeos verticales con dilatómetros (BHD), en la que se definían las características mecánico elásticas in-situ de las rocas de techo, muro y carbón, y en particular las características altamente deformables de las lutitas de fondo, nos han inducido a establecer un programa de investigación microsísmica de las rocas de caja de la capa Cervantes, con el fin de proporcionarnos una doble rectificación - por métodos dinámicos de las características mecano - elásticas de dichos materiales, mediante la captación de los tiempos de Tránsito de las ondas longitudinales (P) y transversales (S).

Los datos recogidos por la recuperación de los sondeos - 1(BHD) 2(STG) y 4(STG) nos han detectado la presencia de una zona fracturada en las lutitas del muro por debajo de los 20 metros, a partir del nivel 325. Faltaba comprobar si esa zona corresponde a un material de relativamente alta deformabilidad, en comparación con el resto de las pizarras del muro, tal y como - parecen indicar los resultados del dilatómetro, así como el perfil de características geomecánicas definidas por este último ensayo.

Esta campaña se realizó en sustitución del "estudio geofísico de galerías" inicialmente considerado, ya que las carac

terísticas del problema y la información que se venía recogiendo hicieron considerarlo más adecuado al diagnóstico que se venía observando.

6.2.- REALIZACION DEL ENSAYO

El ensayo requería la existencia de tres sondeos verticales de 76 mm \emptyset , alineados y situados en el culatón intermedio - del piso 325.

De los sondeos existentes en el culatón intermedio(1 y 2) de 76 y 115 mm \emptyset solo el 1 podría ser utilizado para los ensayos de microsísmica. El 2, por su parte, de 115 mm \emptyset , había sido cementado en previsión de una eventual segunda campaña de mediciones con dilatómetro. Se intentó recuperarlo para la microsísmica, pero fue imposible mantener la verticalidad del sondeo, dato este muy importante para la realización de la microsísmica. Por otra parte el cemento utilizado no había conseguido fraguar del todo, quizás posiblemente por la intensa emanación de gas grisú que burbujeaba constantemente de los sondeos, el cual había conferido al cemento una estructura extremadamente porosa.

Los sondeos 3 y 4 de la segunda campaña de medidas de tensiones aún no se habían abierto, ya que ésta se hizo en el mes de Septiembre de 1982, y la microsísmica fue durante el mes de Julio. Con tal motivo tuvieron que abrirse los sondeos 5 y 6 de 76 mm \emptyset y 17 y 16. 5 metros de profundidad respectivamente a 2.05 y 3.03 metros del 1(Fig. 1).

Los ensayos se realizaron entre sondeos y desde superficie a sondeos y viceversa. Se pretendía determinar las constantes elásticas de los materiales en un macizo más amplio que el

definido por el dilatómetro, en dirección horizontal, siguiendo la estratificación y vertical, perpendicular a la misma, así como las ya comentadas características elasto-mecánicas del perfil del muro de la capa tal y como había definido el dilatómetro.

Las pruebas se realizaron a las cotas que se indican en las figuras 2 y 3 que corresponden a los sondeos 1 y 6.

6.3.- METODOLOGIA

Uno de los parámetros más representativos para estudiar el comportamiento dinámico de suelos y rocas es el Módulo de Cizalladura Dinámico (G_d), el cual puede calcularse a partir de ensayos in-situ de velocidades de ondas cortantes (V_s), a través de la relación:

$$G_d = \gamma \cdot V_s^2$$

γ = peso específico

El cálculo del Módulo de Elasticidad Dinámico (E_d) se puede realizar con la expresión:

$$E_d = 2(1 + \nu_d)G_d = 2(1 + \nu_d)V_s^2$$

A parte del valor de G_d y V_s es también necesario determinar la velocidad de las ondas longitudinales (V_p) con el fin de obtener el ratio de Poisson dinámico (ν_d), mediante la expresión:

$$\nu_d = 0.5 \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{(V_p/V_s)^2 - 1}$$

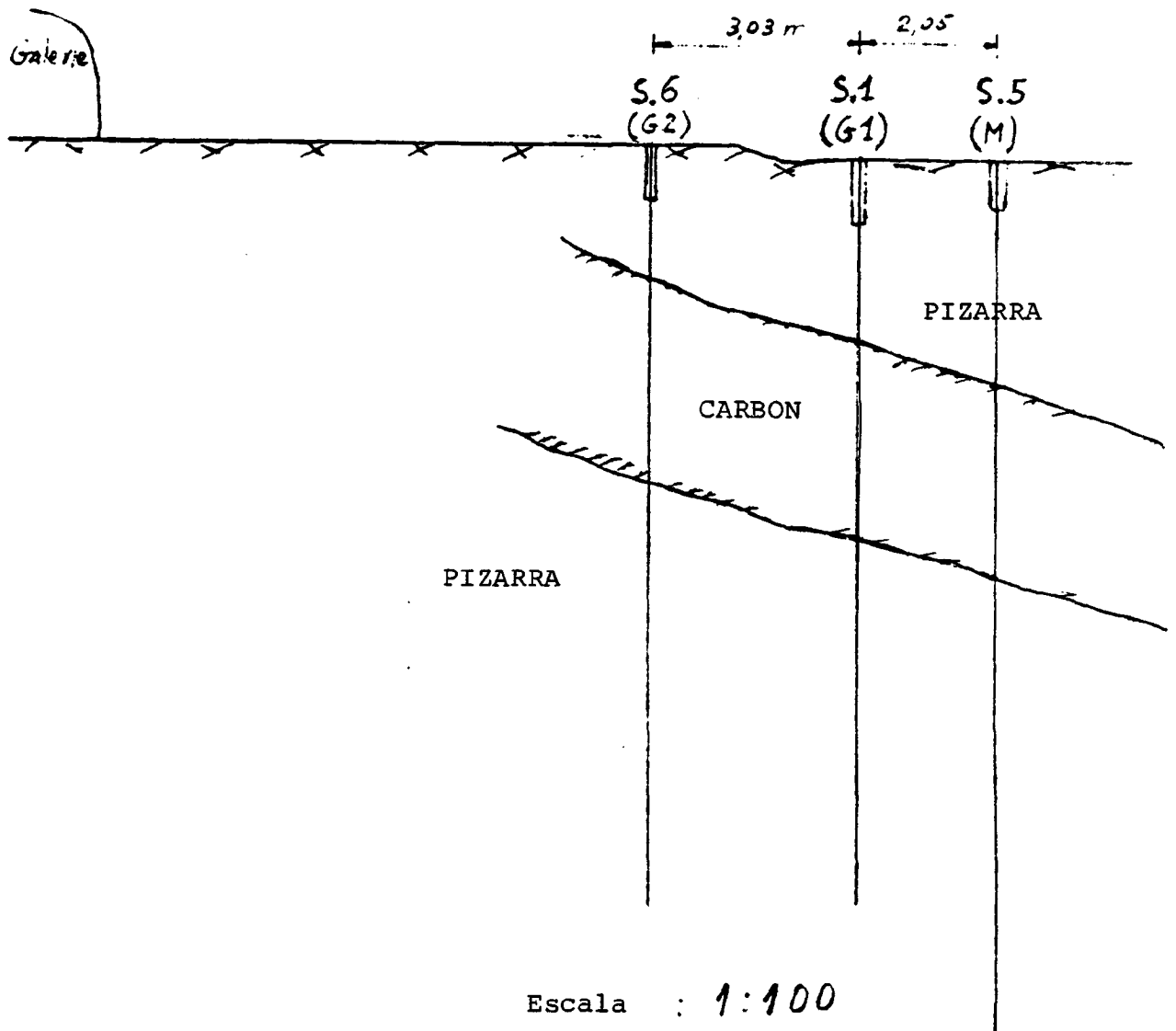
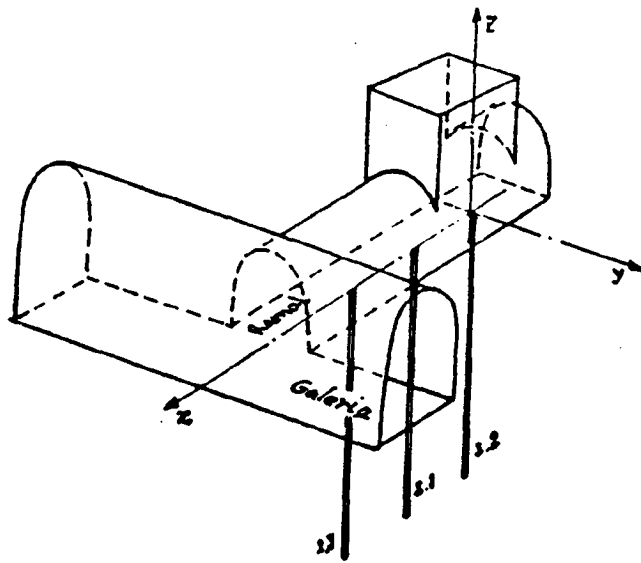
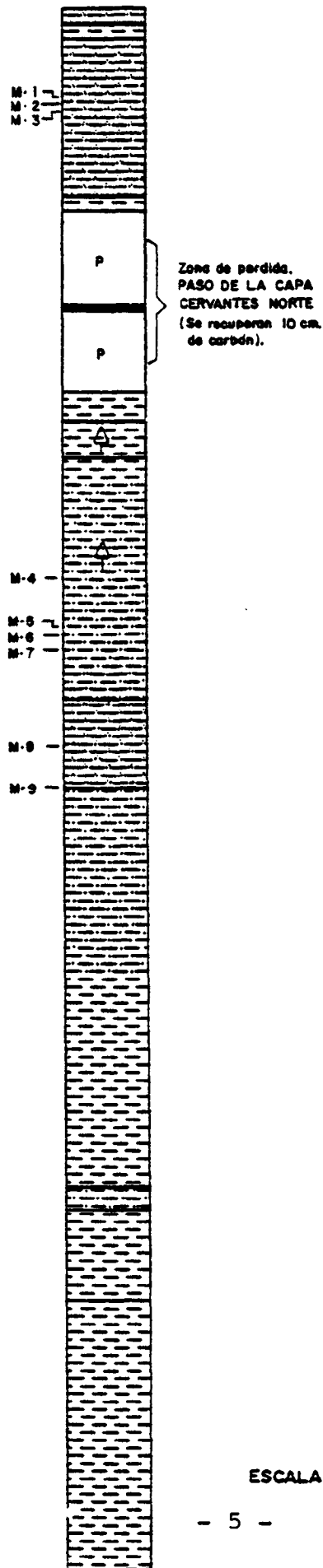


Fig. 1 -

SONDEO 1



Zona de pérdida.
PASO DE LA CAPA
CERVANTES NORTE
(Se recuperan 10 cm.
de carbón).

- LEYENDA -

	Pizarra fina
	Pizarra poco arenosa
	Pizarra arenosa
	Pizarra muy arenosa
	Arenisca
	Carbón
	Nivel con plantas
	Zona rota

ESCALA 1/100

Figura nº 2

6.4.-METODOS SISMICOS

Los dos métodos empleados han sido el "Cross-hole" y el método sísmico de sondeos ("Borehole Seismic Method"), así como el método ultrasónico usado en laboratorio.

6.4.1.- Método Cross-hole

Este método consiste básicamente en la generación de ondas sísmicas, de compresión y de corte, a una determinada cota en uno o más sondeos verticales. Cuando la distancia recorrida por las ondas sísmicas es conocida, las velocidades de ondas se calculan dividiendo esta distancia por el tiempo de tránsito de las ondas.

Este método se usó en los ensayos realizados en el piso 325 del Pozo S. José, utilizando tres sondeos verticales de diámetro NX como representa la figura 1. Estos sondeos intersec-
tan la capa de carbón a diferentes profundidades.

6.4.2.- Método de sísmica de pozo (Borehole Seismic Method)

Este método se caracteriza por el hecho de que la generación de ondas así como las medidas se realizan en cada sondeo - bien downhole o uphole.

Este método se intentó solo en dos de los sondeos, ya que en el otro la fuerte emanación de gas proveniente de este sondeo, provocaba un intenso ruido de fondo que interfería las cap-
taciones de lecturas.

6.4.3.- Método Ultrasónico

En el laboratorio, se midieron velocidades ultrasónicas

longitudinales y transversales sobre carbón y sobre pizarras de muro, usando un equipo manufacturado por Terrametrics, U.S.A.

6.5.- EQUIPO

El equipo es básicamente el mismo para los dos métodos - utilizados in-situ; estando compuesto por:

6.5.1.- Fuente de Energía

La fuente de energía mecánica o martillo sísmico es capaz de generar ondas S polarizadas verticalmente (Fig. 4).

Esta fuente se compone básicamente de un sistema fijo y un sistema de percusión. El sistema fijo tiene una bomba hidráulica, que hace expandir o contraer dos placas metálicas con el fin de anclar la fuente de impulso a las paredes del sondeo y - de retirarlo cuando el ensayo ha finalizado.

El sistema de percusión se compone de un peso suspendido por un cable en el interior de un cilindro. La caída de este - peso origina por impacto una energía que es transmitida al te rreno a través de las placas de anclaje. El peso está dis eña- do de forma que sean posibles también impactos en dirección ver tical ascendente.

6.5.2.- Receptores

Las ondas producidas en la fuente son recibidas por un - geófono triaxial, especialmente diseñado para este tipo de ensa yos. (Fig. 5).

El geófono lleva incorporado transductores que registran

las tres componentes de la vibración y queda anclado a las paredes del sondeo por un diseño mecánico operado desde superficie.

6.5.3.- Amplificación y sistema de grabación

Se compone de un sistema de amplificadores ABEM y de un osciloscopio Phillips, todos alimentados por baterías. Una cámara Tektronix como película polaroid quedó adaptada al osciloscopio.

6.5.4.- Sistema de disparo

El osciloscopio se dispara por una señal transmitida por un transductor de velocidad localizado en el interior de la fuente de energía mecánica, próximo a la aplicación del impacto.

6.6.- PROCESO DE CAMPO

Debido a que el trabajo se realizaba en el interior de una mina de carbón con un potencial de grisú; se tomaron especiales medidas de precaución con el equipo, ya que éste operaba en el interior del osciloscopio con varios miles de voltios cuando estaba en funcionamiento. Se realizó un sistema de disparo automático del sistema de medidas, resultando muy satisfactorio debido a las muy buenas condiciones de ventilación existentes en el lugar de los ensayos.

Para los ensayos de "Cross-hole", los sondeos estaban entubados solo hasta 1 metro de profundidad. Con el fin de conocer las distancias exactas entre sondeos a las cotas de los ensayos, la verticalidad de cada sondeo fue sistemáticamente determinada mediante una exploración con inclinómetro. En las figuras 6 a 10, puede observarse la configuración de los sondeos,

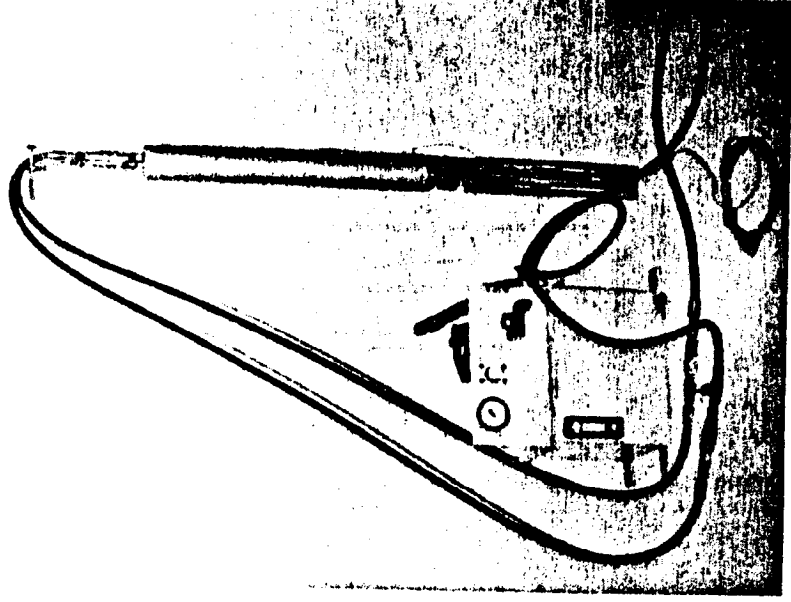


Fig. 4

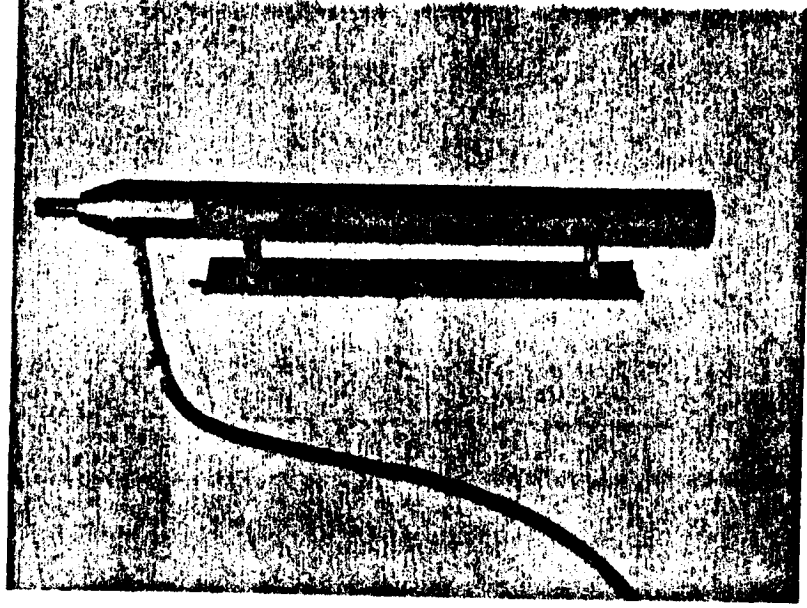


Fig. 5

indicada por los valores medios medidos en dos direcciones ortogonales. En la Tabla I se indica la distancia real entre los puntos de ensayo.

Con el fin de llevar a cabo los ensayos el siguiente proceso fué adoptado:

Después de que la fuente de impulso y los geófonos han sido anclados a las paredes de los sondeos, se realiza un impacto hacia abajo por la caída del peso y simultáneamente el osciloscopio se dispara.

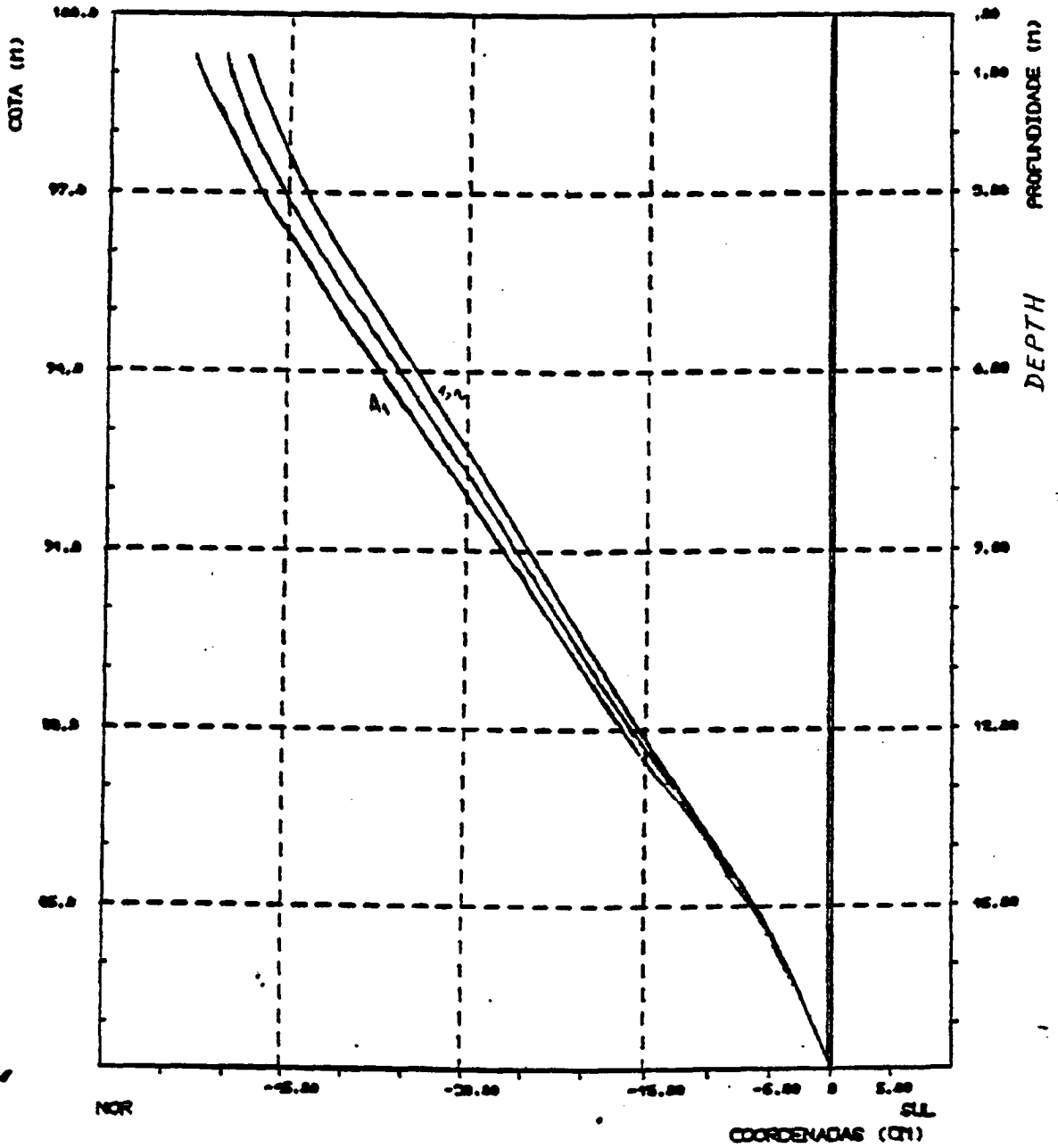
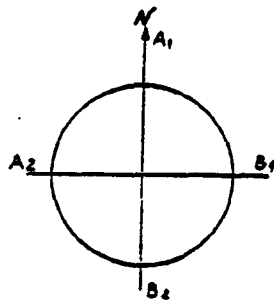
Las señales sísmicas se reciben en los dos geófonos próximos, siendo amplificadas y luego sacadas por la pantalla del osciloscopio y fotografiadas.

Para el ensayo de "crosshole" se detectó para cada foto la llegada de la señal sísmica en ambos geófonos tal como se ilustra en la figura 11. En las dos fotos superiores se usaron diferentes factores de amplificación, el cual es tres veces mayor para G_2 que para G_1 . Para la foto inferior se usaron los mismos factores de amplificación para ambos geófonos.

En el registro de las señales sísmicas transmitidas en la capa de carbón (foto intermedia) se aprecia pérdida en el espectro de frecuencias.

En el método de sísmica de pozos ("Borehole Seismic Method"), se utilizaron bloques de hormigón construidos cerca de los sondeos 1 y 5 como bases para los impactos horizontales con el martillo sísmico. Para las medidas se utilizó un equipo basado en el equipo de refracción ABEM TRIO y para dispararlo se utilizó un proceso particular y el mismo geófono que se usó en el "Cross-hole".

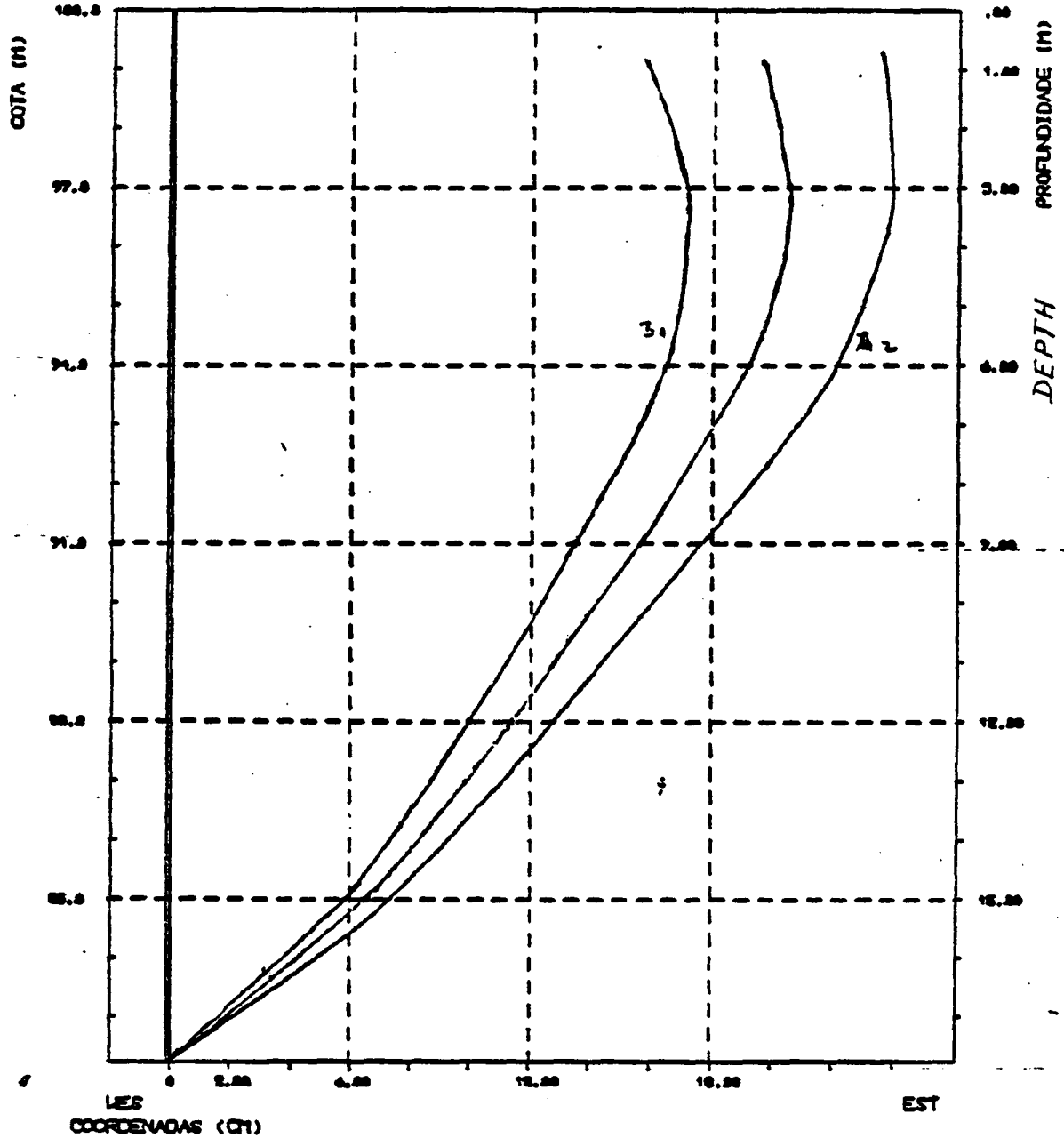
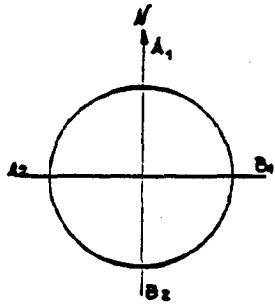
LNEC - DG - NEGE



GEOMETRIA DO TUBO EM 11/07/1982

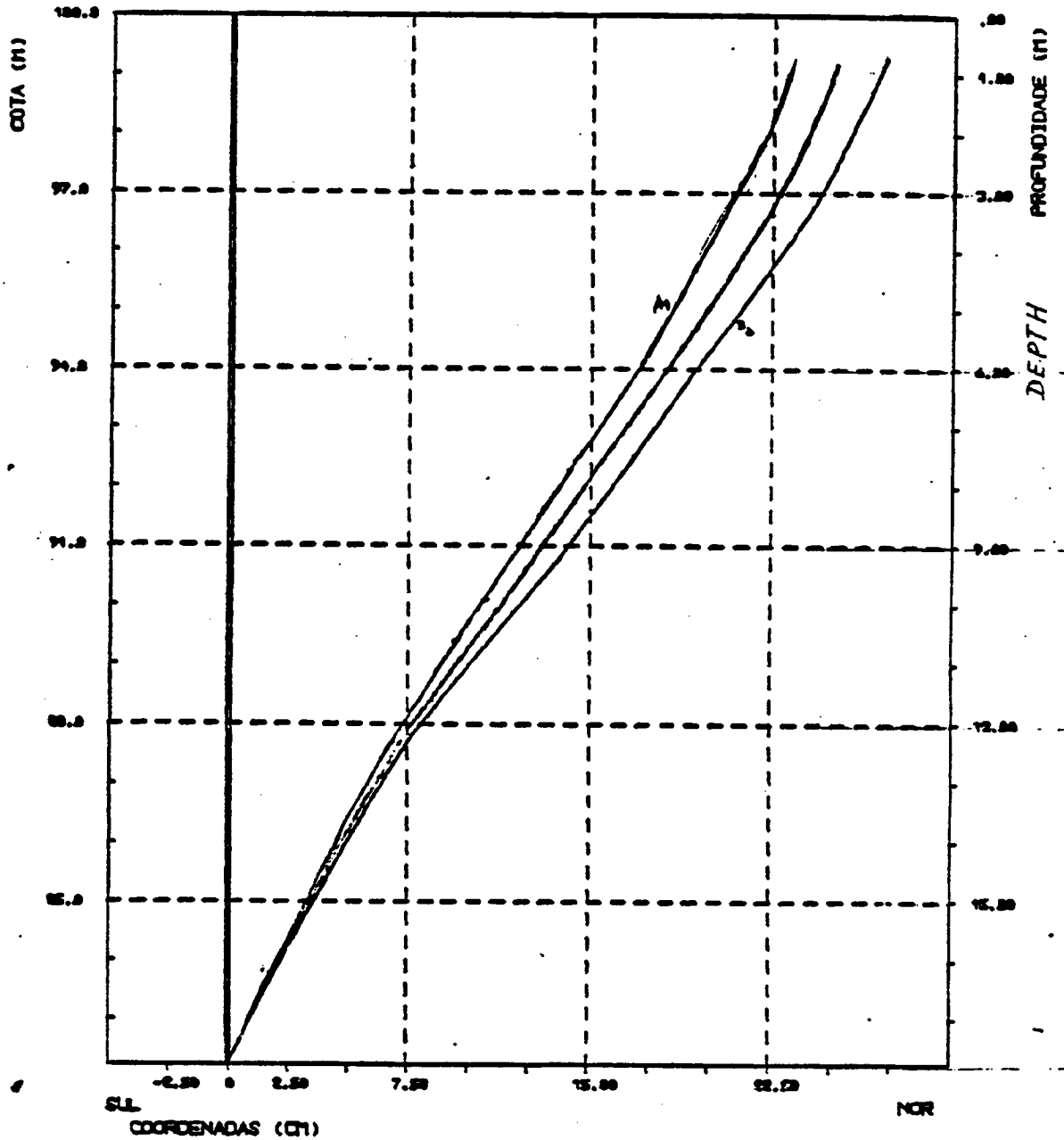
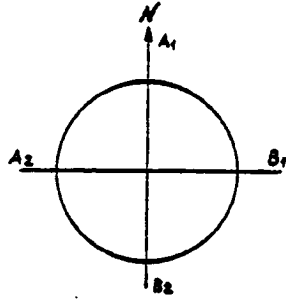
Fig.6 - Medidas de inclinómetro em S.1

- TUBO DE OBSERVAÇÃO NÚMERO S1A2



GEOMETRIA DO TUBO EM 11/07/1982

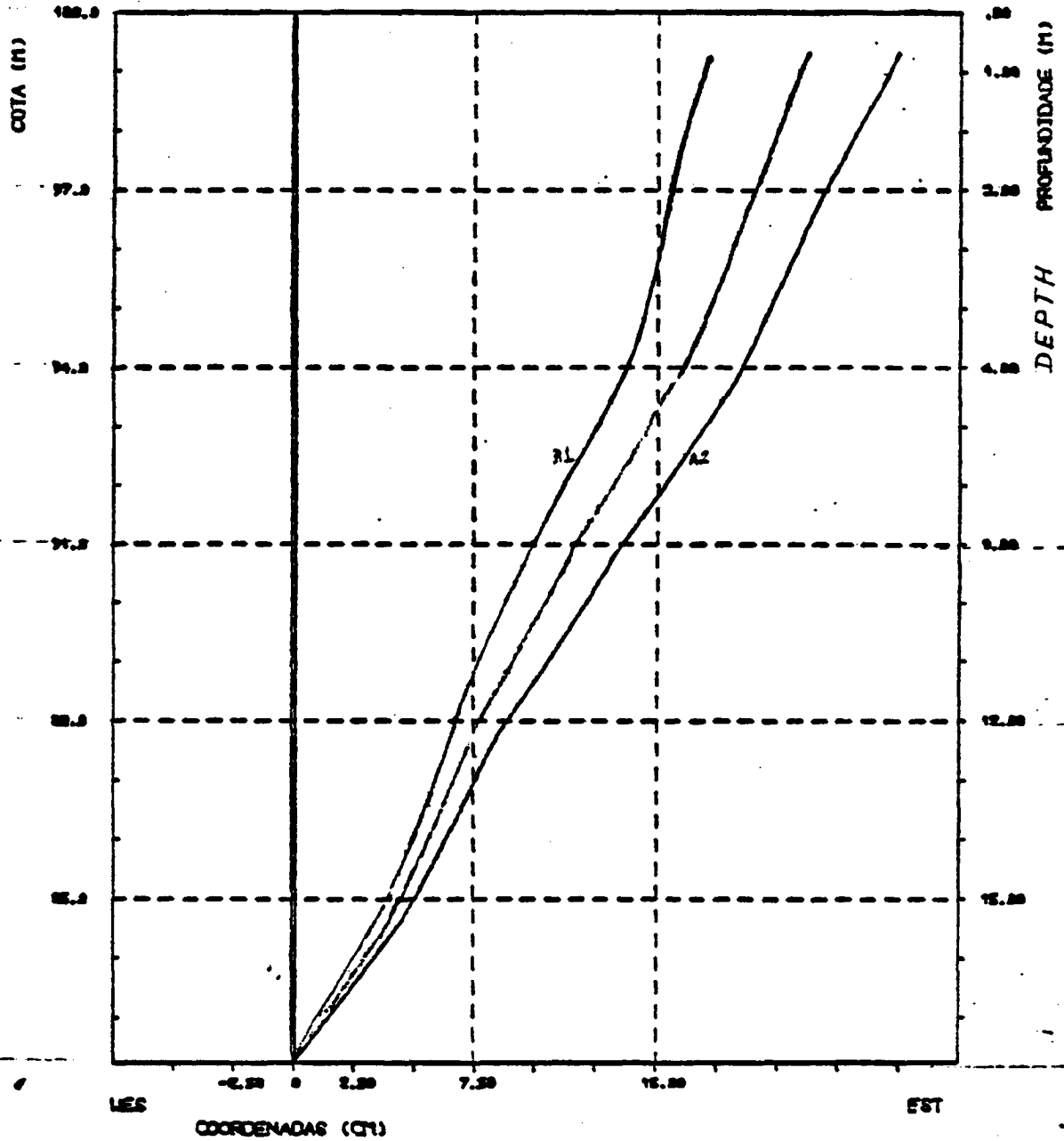
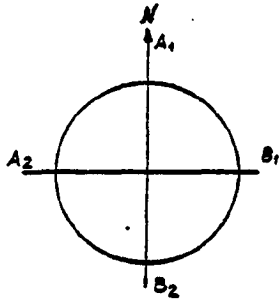
Fig. 7- Medidas de inclinómetro em S.1
 - TUBO DE OBSERVAÇÃO NUMERO S1A2



GEOMETRIA DO TUBO EM 11/07/1982

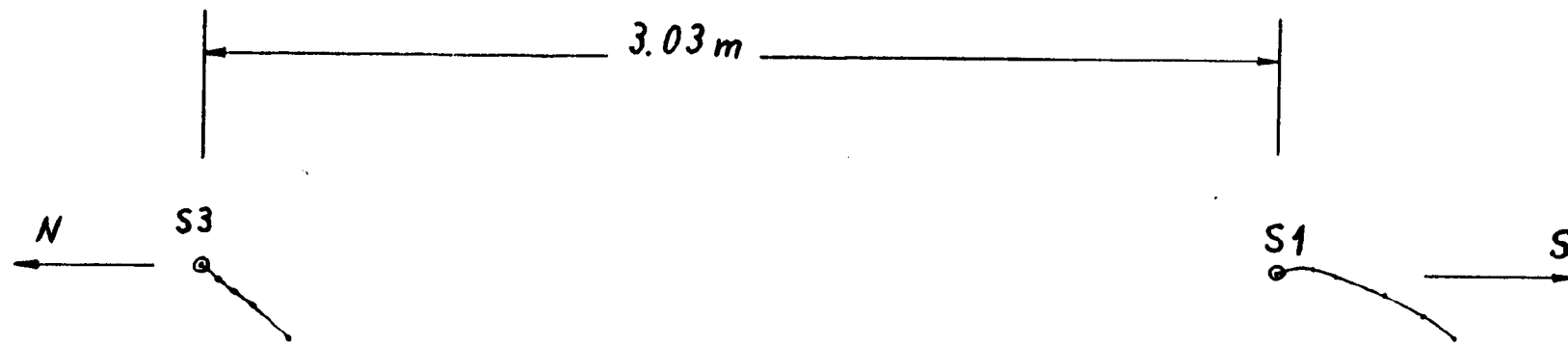
Fig. 8 - Medidas de inclinômetro em S.6

- TUBO DE OBSERVAÇÃO NÚMERO S3A1



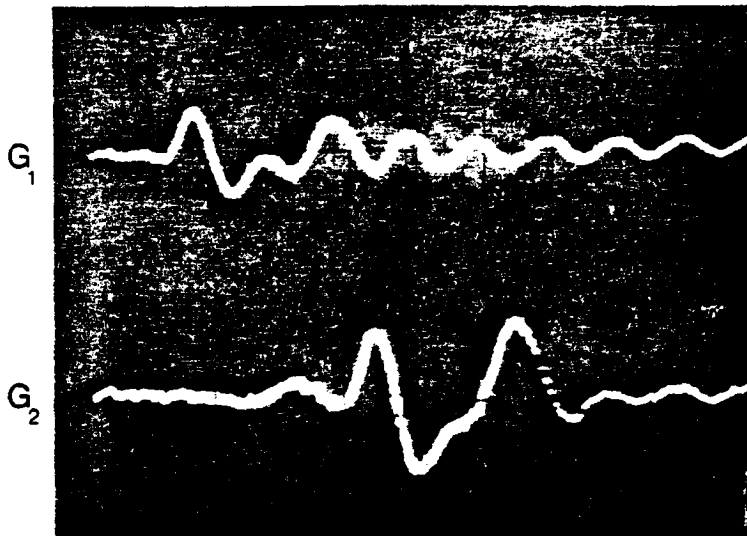
GEOMETRIA DO TUBO EM 11/87/1982

Fig. 9 - Medidas de inclinómetro em S.6
 - TUBO DE OBSERVAÇÃO NÚMERO S3A2

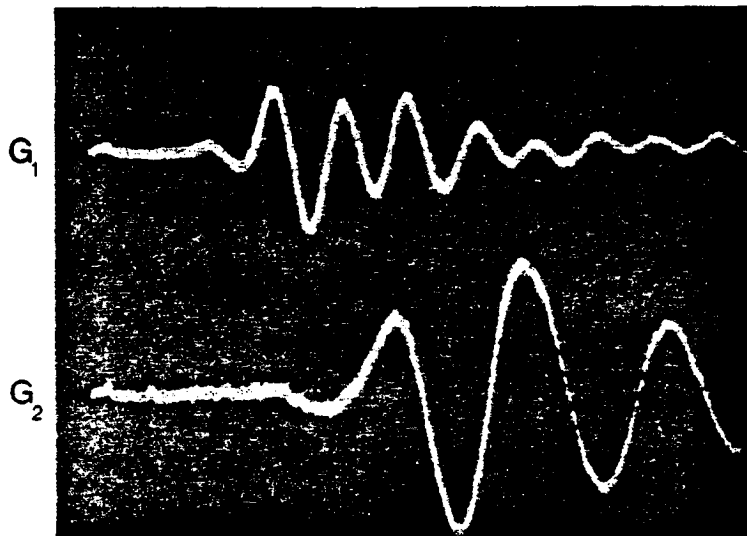


Escala 1:20

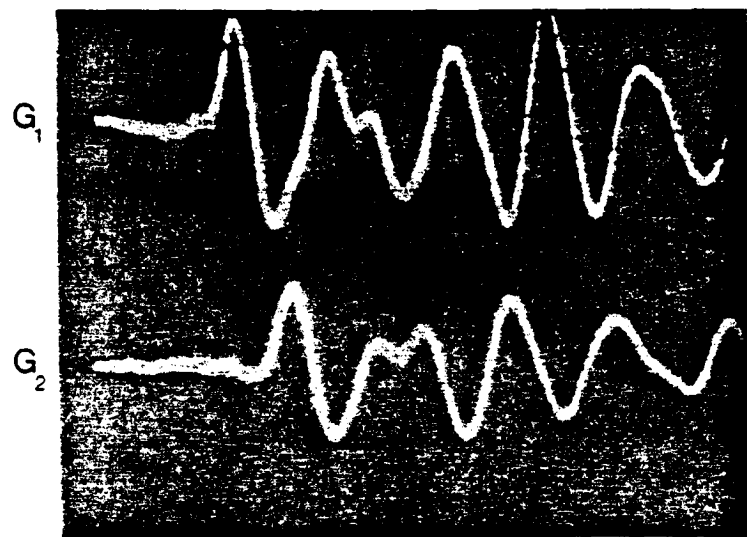
Fig.10- Proyección de los sondeos 1 y 6 en planta



Test at 1.6/2.3 m
 Base time : 2m sec/div.
 Travel time : 5.3 msec



Test at 4.1/4.9 m
 Base time : 2m sec/div.
 Travel time: 2.7 msec



Test at 8.4/9.2 m
 Base time : 2m sec/div
 Travel time : 1.7 msec

Fig.11 - Registros microsismicos

6.7.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Los resultados de los ensayos in-situ y en el laboratorio (sin confinamiento) se presentan en las Tablas I, II y III. En esta última tabla también se ha calculado la relación entre el Módulo de Deformación Dinámico (E din.) y el índice del dilatómetro (E dil.).

Para calcular los valores de G_d (y consecuentemente los valores de E_d) se han usado los valores de 2.4 t/m^3 y 1 t/m^3 como pesos específicos de las pizarras y del carbón respectivamente.

Los valores del ratio de Poisson dinámico usados e indicados en la Tabla III, se calcularon a partir de las velocidades de las ondas de corte (S) y longitudinales (P) medidas in-situ.

En la figura 12 se representa la variación de las velocidades de la onda de corte (S) con la profundidad.

Cuando se comparan los valores de las velocidades de corte obtenidas en el terreno y en el laboratorio se alcanzan ratios de $1.57 \left(\frac{1.213}{770}\right)$ para el carbón y $0.93 \left(\frac{2.256}{2.430}\right)$ para las areniscas. Nuestra interpretación de estos resultados es que, probablemente, el carbón cuando está in-situ está bajo un fuerte estado tensional, mientras que las muestras ensayadas en laboratorio están muy distensionadas.

Finalmente tomando los resultados obtenidos de ensayos de deformabilidad estáticos para el carbón y para las pizarras, se obtuvieron los valores para los ratios entre los índices dinámicos y dilatométricos (Tabla III). Estos resultados indi-

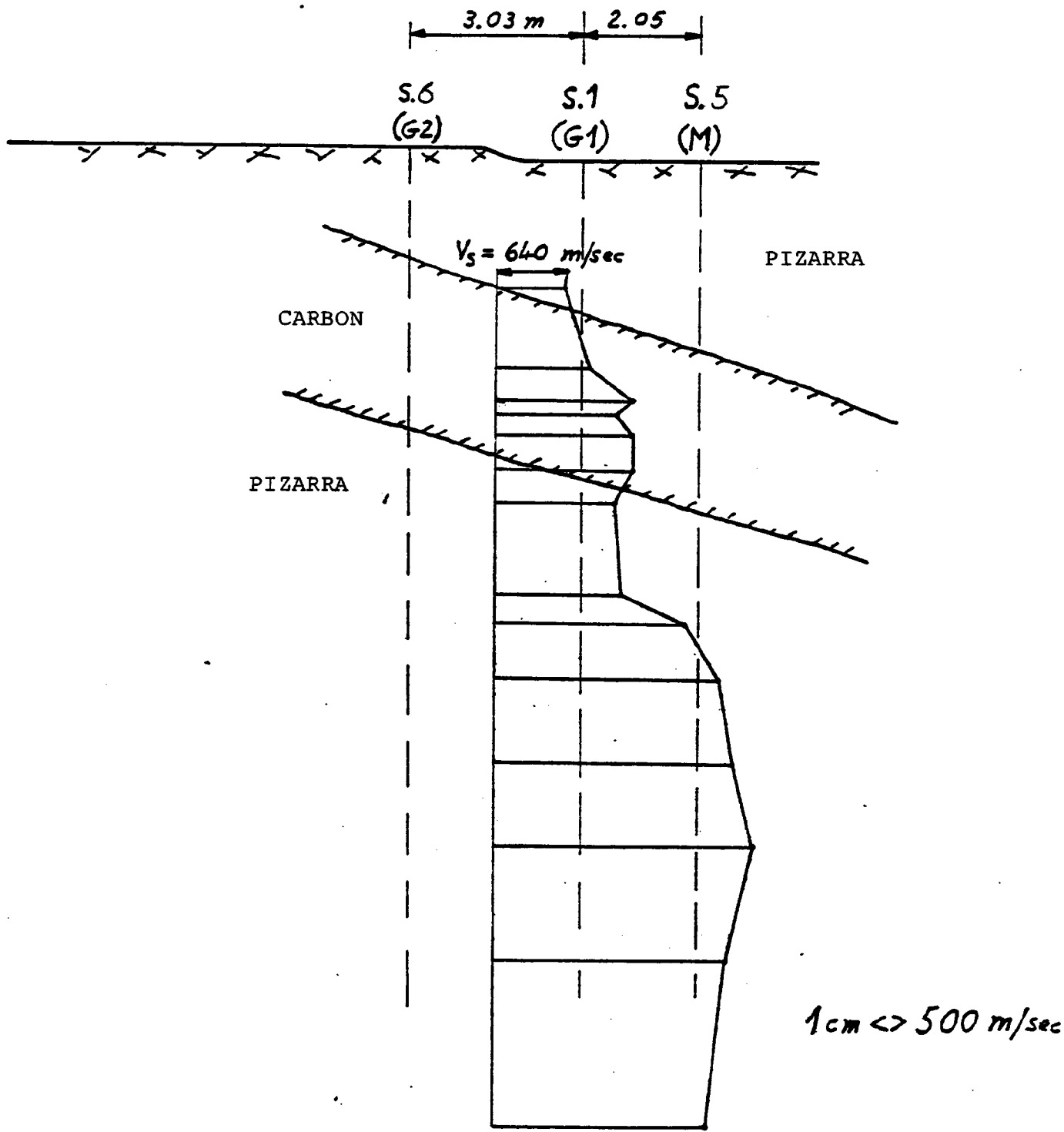


Fig. 12- Ondas de corte V.S. Profundidad

TABLA I

DETERMINACION DE VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE

TEST. N ^o	SONDEO 6			SONDEO 1			DISTANCIA ENTRE ENSAYOS (m)	TIEMPO DE TRANSITO (m/seg.)	V _s (m/seg.)
	PROF. (m)	Inclinometría (cm)		PROF. (m)	Inclinometría (cm)				
		N+ S-	Z+ W-		N+ S-	Z+ W-			
1	1.5	-1.4	-1.5	2.1	+3.1	+0.9	3.137	4.9	640
2	1.6	-1.6	-1.6	2.3	-4.0	+1.0	3.198	5.3	603
3	2.9	-3.0	-2.8	3.9	-8.0	+1.2	3.254	3.9	834
4	3.5	-3.8	-3.4	4.3	-10.0	+1.0	3.266	2.9	1.210
5	4.0	-4.6	-3.9	4.5	-10.7	+0.9	3.181	3.0	1.060
6	4.1	-4.8	-4.0	4.9	-12.0	+0.6	3.295	2.9	1.213
7	4.7	-5.6	-4.5	5.5	-14.0	+0.3	3.287	2.9	1.217
8	5.4	-6.8	-5.2	6.2	-16.5	-0.4	3.299	3.2	1.055
9	6.4	-8.5	-6.5	7.2	-19.7	-1.5	3.313	3.0	1.104
10	7.4	-10.3	-7.9	8.2	-22.0	-2.8	3.318	2.0	1.659
11	8.4	-12.0	-9.5	9.2	-26.4	-4.0	3.344	1.7	1.969
12	9.9	-14.6	-11.5	10.7	-31.2	-6.2	3.364	1.65	2.039
13	11.6	-19.3	-13.5	12.2	-36.0	-8.4	3.384	1.5	2.256
14	13.4	-20.6	-15.8	14.3	-42.5	-11.6	3.415	1.68	2.033
15	16.4	-24.6	-19.9	17.2	-50.5	-18.2	3.453	1.85	1.866

TABLA II

a) Velocidades ondas ultrasónicas y ratio de Poisson de las muestras de carbón.

Velocidad (m/seg)	II	I
	Esquistos	Esquistos
V_p	1.450	1.730
V_s	770	860
Ratio de Poisson	0,3	0,33

b) Velocidades ondas ultrasónicas y ratio de Poisson de las muestras de pizarras

<u>Muestra y Profundidad</u>	<u>Velocidad (m/seg.)</u>	<u>Ratio de Poisson</u>
S.6/9	$V_p = 3420$ $V_s = 2250$	0,12
S.6/9.8	$V_p = 3970$ $V_s = 2620$	0,11
S.6/13.2	$V_p = 3920$ $V_s = 2430$	0,19
S.6/18.9	$V_p = 3940$ $V_s = 2600$	0,11

TABLA III

CARACTERISTICAS DINAMICAS IN-SITU Y EN LABORATORIO

PROFUNDIDAD/m			IN-SITU			LABORATORIO			Edin
G ₂	G ₁	M	V _s (m/s)	x10 ³ G kg/cm ²	x10 ³ kg/cm ²	v _d	G _d	I _d	Edil
1.5	2.0	2.5	640	11.1	26.54	0,2			
1.6	2.3	2.3	603	9.8	23.56	0.2			
2.9	3.7	4.3	834	6.9	17.94	0.3			
3.5	4.3	4.9	1210	14.6	39.96	0.3			
4.0	4.5	5.1	1060	11.2	29.12	0.3			
4.1	4.9	5.5	1213	14.7	38.22	0.3			
4.7	5.5	6.1	1219	14.8	38.48	0.3			11.7
5.4	6.2	6.7	1055	30.0	72.12	0.2			
6.4	7.2	7.9	1114	32.9	78.97	0.2			
7.4	8.2	8.7	1659	74.3	171.9	0.15			
8.4	9.2	9.7	1969	104.5	240.3	0.15			
9.9	10.7	11.2	2039	112.3	258.2	0.15	185.3	426	
11.4	12.2	12.7	2256	137.4	316.1	0.15	159	380	1.5
13.4	14.3	14.9	2033	111.6	256.6	0.15			
16.4	17.2	17.7	1866	24.1	216.2	0.15			

can que la capa de carbón tiene un mayor nivel de intensidad - de fracturación que las formaciones pizarrosas.

6.8.- CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en estos ensayos dinámicos , se sacan las siguientes conclusiones:

- a) Las características dinámicas de deformabilidad se incrementan con la profundidad, con excepción de la zona superior de la capa de pizarra inmediatamente debajo del carbón, y en las pizarras situadas cerca de la base del sondeo.
- b) Dado que los materiales por encima de la capa de carbón presentan unas muy pobres características deformables, con velocidades de ondas de corte de alrededor de 600 m/seg. mucho - más bajas que el valor 1.200 m/seg. típico de formaciones rocosas de poca consistencia) quiere decir que estos materiales están fuertemente fracturados y alterados por su proximidad al suelo de la galería y a la capa de carbón.
- c) La capa de carbón, excepto en la parte más superior, presenta constantes dinámicas de deformabilidad del orden de $30 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$.
- d) Los ratios entre los índices dinámico y dilatométrico, el cual es aproximadamente 11.7 para la capa de carbón y de 1.5 para las pizarras indican una gran intensidad de fracturación para el carbón comparado con las formaciones pizarrosas.
- e) Los ratios obtenidos entre la velocidad de propagación in-situ y en laboratorio (sin confinamiento) los cuales son 1.57 para la capa de carbón y 0.93 para las pizarras nos indican que el carbón in-situ está bajo un fuerte estado tensional.

- f) De los resultados obtenidos observando la transmisión de ondas de corte longitudinales y de corte (Tabla II), se ha podido determinar un grado de anisotropía entre la dirección horizontal (1) y vertical (2) en cuanto a Módulos de Elasticidad del orden de 0.80 (E_1/E_2) por lo que esta anisotropía vertical es poco significativa a efectos de cálculo e incidencia en los resultados.
- g) En conjunto podemos establecer como resultado conjunto de este análisis microsísmico que: (Fig. 13)
- 1.- Las pizarras de techo están fuertemente fracturadas y alteradas
 - 2.- El carbón se encuentra ante un fuerte estado tensional - (probablemente residual)
 - 3.- Las pizarras arenosas están poco comprimidas y ligeramente fracturadas.
 - 4.- Las pizarras masivas están algo más comprimidas y muy poco fracturadas.
 - 5.- Las pizarras arenosas plásticas, presentan una mayor discrepancia entre sus módulos de deformación dinámicos y dilatométricos, lo cual corrobora y está de acuerdo con su comportamiento plástico, presentando fuertes caídas en su deformabilidad ante cargas estáticas (dilatometro) en comparación con cargas dinámicas (microsísmica).
 - 6.- El perfil de características deformantes de los materiales ensayados, tanto el obtenido por dilatometría como el obtenido por microsísmica (Fig 13), presentan una misma configuración, confirmando los datos dilatométricos, salvo las desviaciones normales comentadas debido al gra

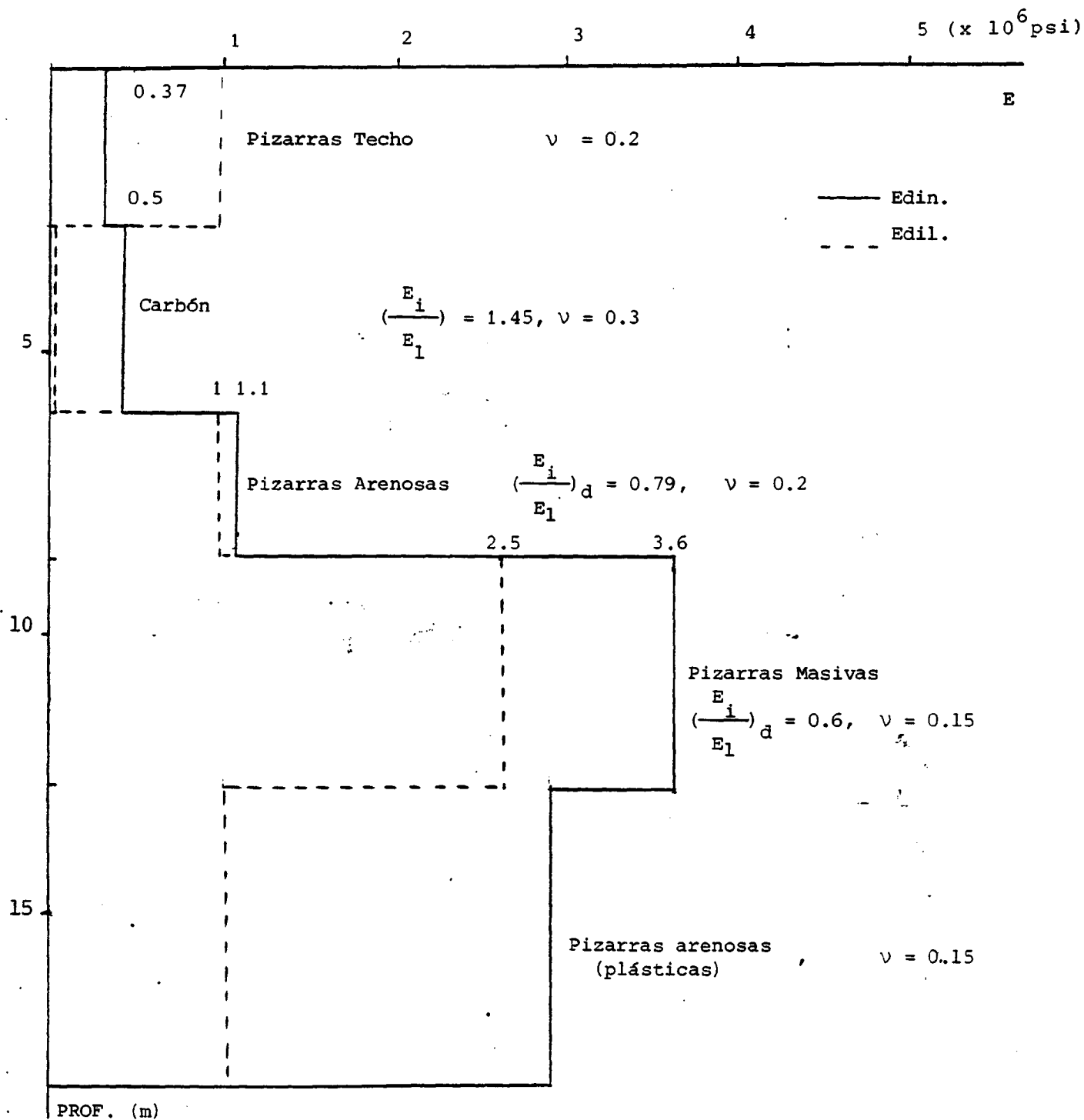


Fig. 13. Comparación perfil microsísmico y dilatométrico

do de fracturación y estado tensional que detecta obvia
mente el ensayo dinámico y que hemos comentado.

ANEXO 7

ENSAYOS TRIAXIALES DE FLUENCIA
(ANALISIS VISCO-ELASTICOS)

7.1.- INTRODUCCION

La presencia de Kaolinita e Illita entre los minerales arcillosos de las pizarras del muro de la capa Cervantes, minerales estos de características elasto-plásticas y visco elásticas, nos decidieron a establecer un programa de ensayos de fluencia con el fin de definir y detectar el potencial tiempo - dependiente de las pizarras, que si bien no presentarán hinchamiento debido a la presencia de montmorilonita, si podrán dar deformaciones de componente viscosas-elásticas.

Así mismo también se tomaron muestras de 115 mm \emptyset de los sondeos 1, y 2, para completar un conjunto de 28 testigos de pizarras del muro, que fueron enviadas al LNEC, para su testificación en cámaras triaxiales de fluencia con control de temperatura (18^o C) y humedad, durante un periodo de dos meses. Las muestras de 115 mm \emptyset fueron corregidas en el LNEC a 50 mm \emptyset , con el fin de poder adaptarlas a su cámara triaxial de fluencia.

7.2.- PROGRAMACION DE LOS ENSAYOS DE FLUENCIA

En la Fig. 1, vemos claramente el estado tridimensional de las pizarras del muro, señalándose con (*), aquellas tensiones que han quedado influidas por un campo de fallas.

Como vimos al analizar el estado tensional del terreno, vimos que las tensiones horizontales ($\sigma_h = \sigma_x = \sigma_y$) presentan -

un Factor de Concentración que variaba entre 2 y 4, existiendo fuertes componentes horizontales de tensiones de tipo tectónico residual.

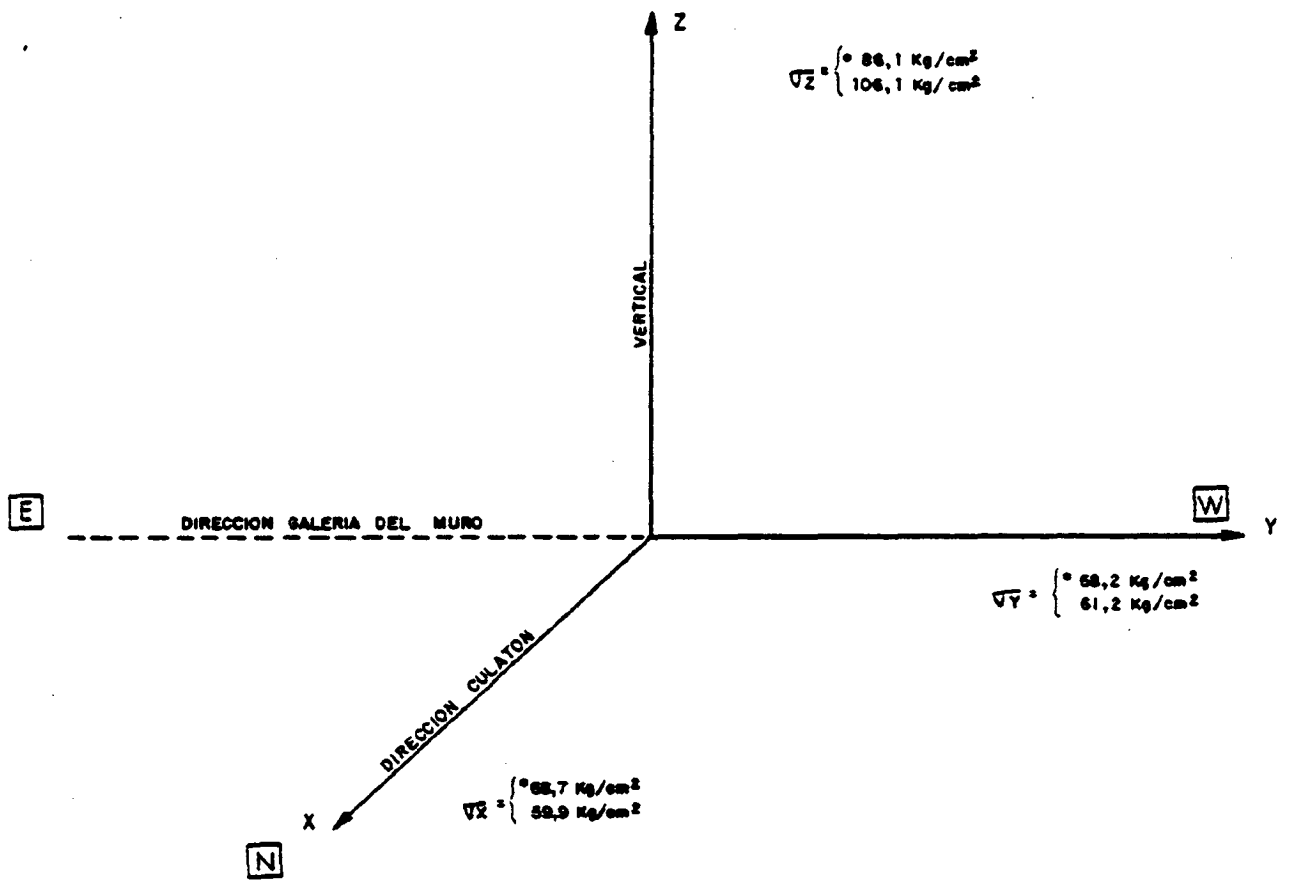
Por otro lado las tensiones verticales, (σ_z) presentan unos Factores de Concentración de 1.0 y 1.2 para las dos condiciones de influencia de falla o no.

Considerando que las pizarras de las galerías de muro por su posición se corresponderían mejor con el estado tensional más profundo medido en el sondeo 2 y 4, fuera del influjo de fallas, hemos tomado este estado como el más significativo para las galerías de muro sin olvidar que la presencia de una fuerte zona de discontinuidades puede alterar el campo tensional tridimensional de la forma que vimos.

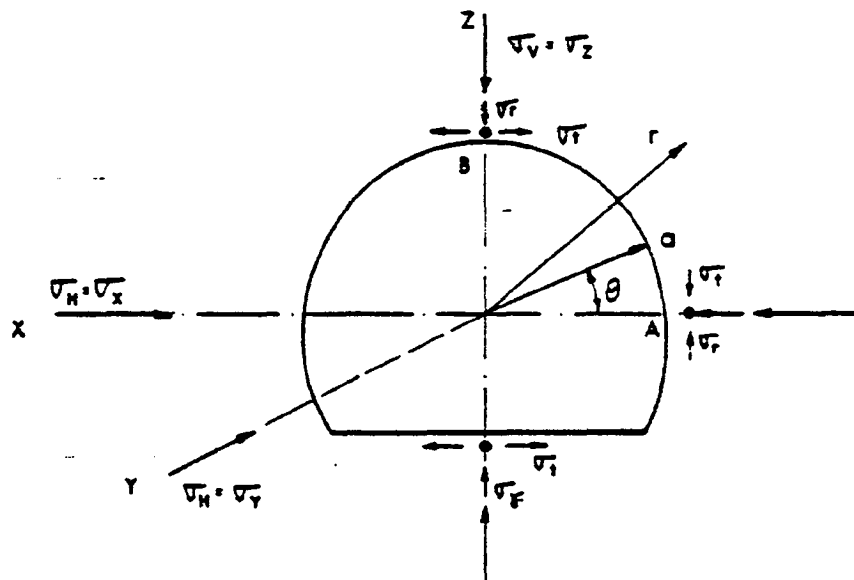
Con estas premisas, y considerando la posición geométrica de la galería de muro, con respecto a los ejes de referencia XYZ, (Fig. 1), vemos como podemos tomar los siguientes valores para las tensiones horizontales y verticales que actúan en la vecindad de esas galerías:

$$\begin{aligned} \sigma_h = \sigma_x = \sigma_y &= 60 \text{ kg/cm}^2 & \frac{\sigma_v}{\sigma_h} &= 1.77 \\ \sigma_v &= 106 \text{ kg/cm}^2 & & \end{aligned}$$

Con estas condiciones las Tensiones Tangenciales (σ_t) y Radiales (σ_r) en los hastiales de la galería ($\theta = 0^\circ$ y $r = a$), dentro de la pared ($\theta = 0^\circ$ y $r = r$) así como en el techo y muro de la misma ($\theta = 90^\circ$ y $r = a$, $r = r$) quedan definidas de la siguiente forma:



ESTADO TENSIONAL TRIDIMENSIONAL DE LAS LUTITAS DEL MURO



ESTADO TENSIONAL DE LA GALERIA DE MURO

$$(\sigma_t)_{\substack{\theta = 0 \\ r = a}} = \sigma_h + \sigma_v - 2\sigma_h + 2\sigma_v = 3\sigma_v - \sigma_h = 258 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\sigma_t)_{\substack{\theta = 0 \\ r = r}} = \sigma_v = 106 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\sigma_r)_{\substack{\theta = 0 \\ r = a}} = 0$$

$$(\sigma_r)_{\substack{\theta = 0 \\ r = r}} = \sigma_h = 60 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\sigma_t)_{\substack{\theta = 90 \\ r = a}} = \sigma_h + \sigma_v + 2\sigma_h - 2\sigma_v = 3\sigma_h - \sigma_v = 74 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\sigma_t)_{\substack{\theta = 90 \\ r = r}} = \sigma_h = 60 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\sigma_r)_{\substack{\theta = 90 \\ r = a}} = 0$$

$$(\sigma_r)_{\substack{\theta = 90 \\ r = r}} = \sigma_v = 106 \text{ kg/cm}^2$$

El estar la roca circundante a la galería de muro, sometida a este campo tensional variable inducido por la excavación - según su posición radial alrededor de la galería y su distancia al centro de la misma, establecimos las siguientes nueve condiciones de ensayo, con el fin de que podamos analizar el comportamiento tiempo-dependiente de las pizarras alrededor de la excavación ante los distintos estados tensionales que les crea la presencia de la galería.

Estas condiciones son las siguientes, redondeando ligeramente algunas de las cifras elaboradas analíticamente más arriba:

$$\text{Condición 1.- } \begin{cases} \sigma_v = 300 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_h = 0 \text{ kg/cm}^2 \end{cases} \quad S_1 = 300 \text{ kg/cm}^2$$

Condición 2.-	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_v = 300 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_h = 35 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$	$S_2 = 265 \text{ Kg/cm}^2$
Condición 3.-	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_v = 200 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_h = 0 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$	$S_3 = 200 \text{ kg/cm}^2$
Condición 4.-	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_v = 200 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_h = 35 \text{ Kg/cm}^2 \end{array} \right.$	$S_4 = 165 \text{ Kg/cm}^2$
Condición 5.-	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_v = 200 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_h = 70 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$	$S_5 = 130 \text{ kg/cm}^2$
Condición 6.-	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_v = 150 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_h = 35 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$	$S_6 = 115 \text{ kg/cm}^2$
Condición 7.-	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_v = 100 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_h = 35 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$	$S_7 = 65 \text{ kg/cm}^2$
Condición 8.-	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_v = 100 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_h = 70 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$	$S_8 = 30 \text{ kg/cm}^2$
Condición 9 .-	$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_v = 35 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_h = 70 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$	$S_9 = -35 \text{ kg/cm}^2$

En las que cada condición o estado de confinamiento relativo del ensayo tiene definido las Tensiones Diferenciales, todas distintas.

De esta forma podemos barrer todos los posibles campos tensionales inducidos en la roca por la excavación, bajo el campo inicial tridimensional de tensiones establecidos, y analizar

todas las posibilidades de comportamiento tiempo-dependiente y visco-elástico de las pizarras del muro de la capa Cervantes, bajo la influencia de la galería.

7.3.- EQUIPOS DEL ENSAYO

El equipo usado para los ensayos de fluencia con compresión triaxial y control de humedad y temperatura, fueron una cámara triaxial con capacidad de compresión lateral hasta de 1.000 kg/cm^2 , una prensa hidráulica para la aplicación de la carga axial, una bomba hidráulica y un amplificador de presión.

Para este trabajo se utilizaron las instalaciones del Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (INEC) del Ministerio de Obras Públicas de Portugal (Lisboa).

Las deformaciones fueron medidas con deflectómetros con una sensibilidad de 10^{-3} mm. y bandas extensométricas eléctricas, tomándose las lecturas en un indicador de deformaciones unitarias.

7.4.- PROCESO DE LOS ENSAYOS

Los ensayos se realizaron de acuerdo a las especificaciones del ISRM (International Society for Rock Mechanics) (Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression).

Para la determinación de la deformabilidad, se usaron bandas extensométricas eléctricas de 8 mm de sensibilidad. Para cada muestra ensayada se aplicaron dos bandas longitudinales y dos transversales. Para las mediciones longitudinales también se utilizaron extensómetros con dial.

Las muestras ensayadas tenían 5 cm de diámetro y 12-13 cm de altura. Las muestras ensayadas correspondían al muro de la capa de carbón y fueron tomadas de los sondeos 1 y 2 a profundidades entre 10 y 13 metros, correspondientes a pizarras masivas y pizarras arenosas plásticas; los dos tipos de formaciones que constituyen el 75% de los materiales geológicos existentes entre la capa y la posición de la galería de arrastre.

Cada ensayo se desarrolló por un espacio de tiempo superior a 2 meses (66 días).

7.5.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Las curvas deformación-tiempo obtenidas en los ensayos realizados se presentan en las figuras 2 a 4.

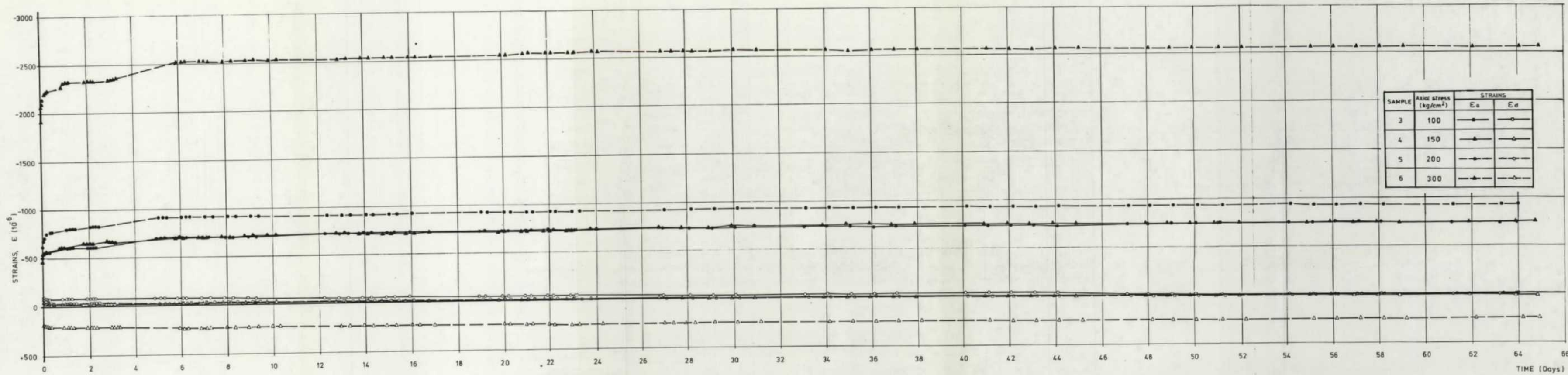
La Tabla I presenta para cada una de las nueve muestras ensayadas, las deformaciones medidas en las direcciones axial y longitudinal en el momento inicial ($t = 0$) e infinito ($t = \infty$) - así como los correspondientes módulos elásticos y ratios de Poisson.

Las figuras 2 a 4, muestran en escala normal las curvas deformación-tiempo para las distintas muestras y condiciones de carga, mientras que las figuras 5 a 10, representan los diagramas de variación de las deformaciones con el tiempo, en los que las deformaciones unitarias están dadas en escala logarítmica y el tiempo en una escala $1/\sqrt[3]{t}$, ya que las deformaciones de fluencia, pueden especificarse como una función del tiempo de la siguiente forma aproximada:

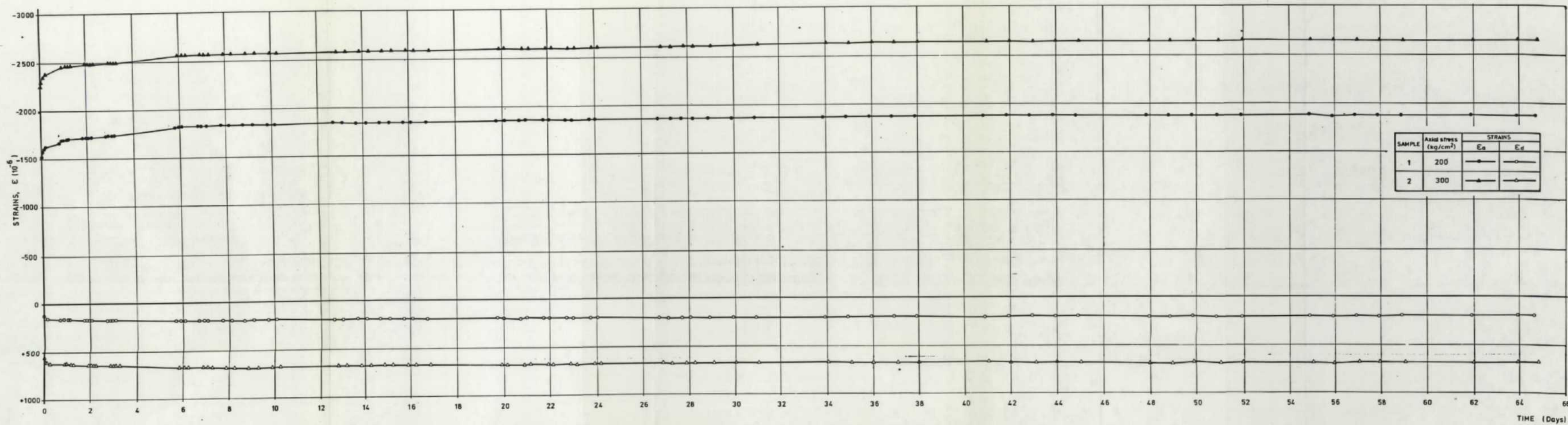
$$\epsilon = c e^{-\frac{a}{\sqrt[3]{t}}}$$

en donde,

CREEP TESTS
 TRIAXIAL COMPRESSION
 (Lateral compression, $\sigma_l=35\text{kg/cm}^2$)



CREEP TESTS
UNIAXIAL COMPRESSION



CREEP TESTS
 TRIAXIAL COMPRESSION
 (Lateral compression, $\sigma_l = 70 \text{ kg/cm}^2$)

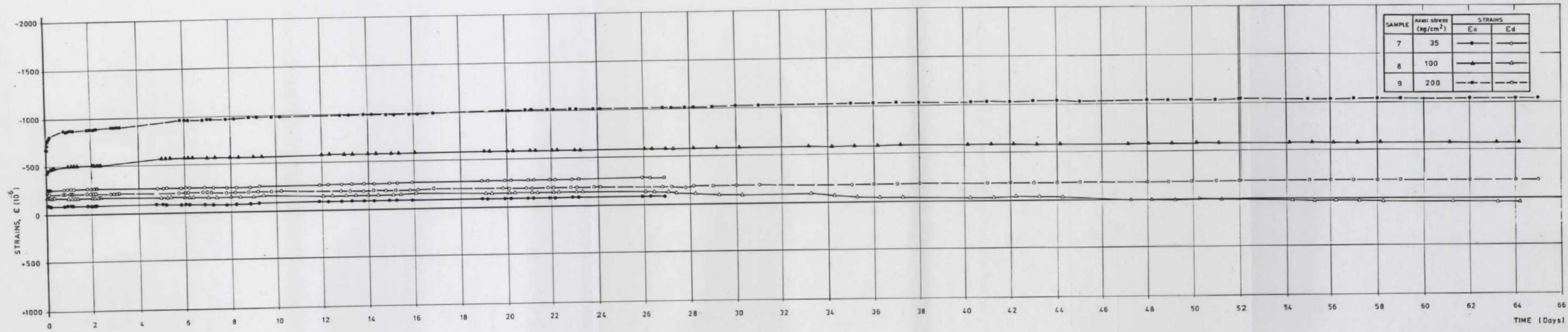
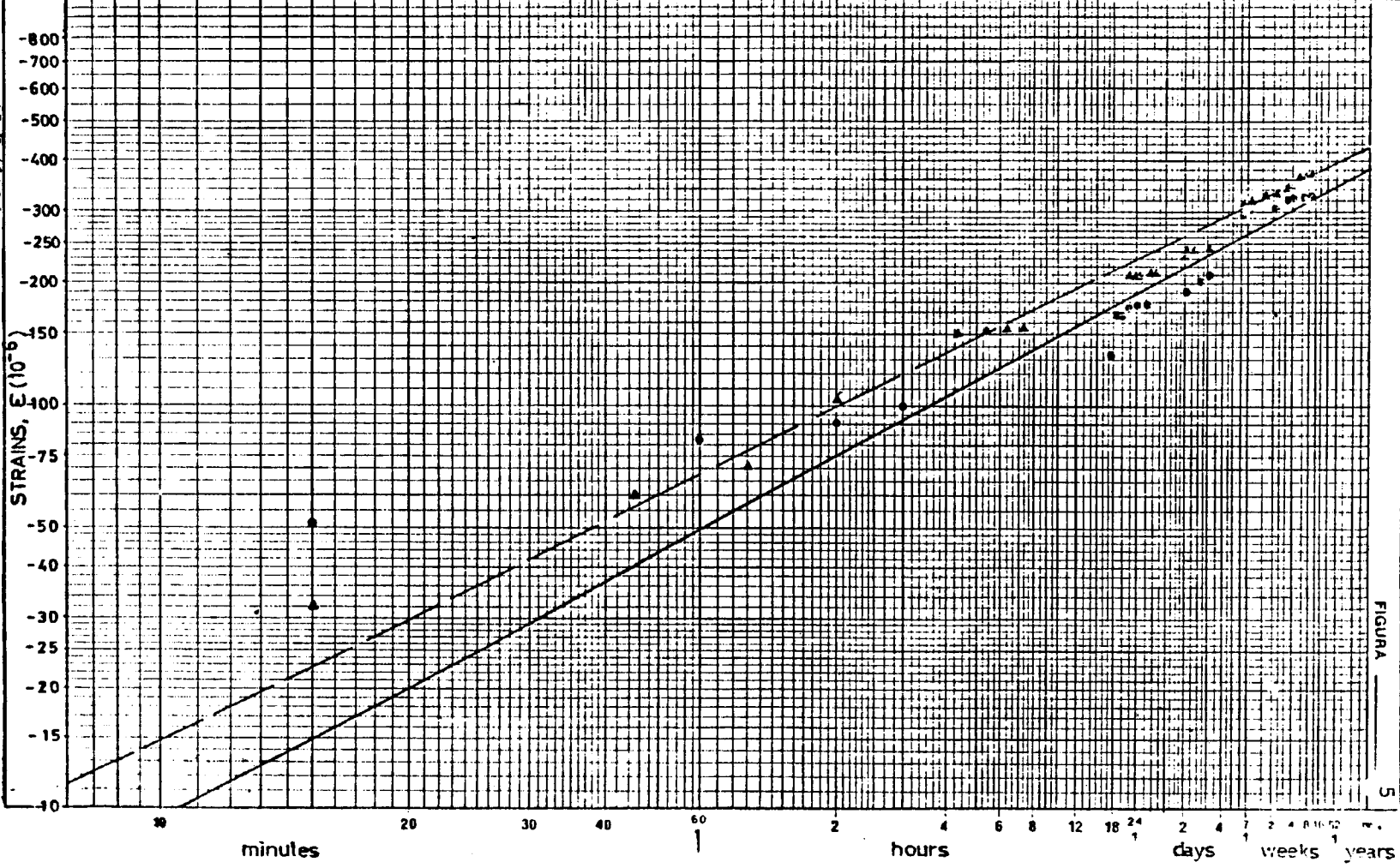


TABLE I
CREEP TESTS
(Triaxial compression)

Sample	Boring	Depth (m)	Applied stress (kg/cm ²)		Strains, $\epsilon (10^6)$				Elastic modulus (10 ³ kg/cm ²)		Poisson ratio	
			Axial	Lateral	Axial (E_a)		Transversal (E_d)		E_0	E_∞	ν_0	ν_∞
					ϵ_0	ϵ_∞	ϵ_0	ϵ_∞				
1	S2	10.80	200	0	-1520	-1905	+132	+195	132	103	0.09	0.10
2	S1	10.70	300		-2240	-2685	+545	+680	134	112	0.24	0.25
3	S2	12.30	100	35	-500	-800	-93	+62	181	98	0.13	0.30
4		11.50	150		-460	-785	-44	+11	308	173	0.12	0.20
5		11.30	200		-615	-995	-57	+28	317	189	0.07	0.17
6	S1	10.50	300		-1915	-2665	+170	+260	150	108	0.18	0.19
7		11.20	35		-93	-70	-240	-270	257	201	0.08	0.15
8	S2	13.00	100	70	-430	-500	-170	-115	146	84	0.27	0.36
9		10.60	200		-655	-1065	-215	-	296	-	0.02	-

INEG - Núm 011 INEG - Proc. 45/1/6936

CREEP TESTS Uniaxial compression		SAMPLE	AXIAL STRESS (Kg/cm ²)	SYMBOL
PROCESSO 45 / 1 / 6936 LOCAL PEÑARROYA		1	200	—●—
axial strains versus time		2	300	—▲—



CREEP TESTS Uniaxial compression		SAMPLE	AXIAL STRESS (Kg/cm ²)	SYMBOL
PROCESSO 45 / 1 / 6936 LOCAL PEÑARROYA		1	200	—●—
Transversal strains versus time		2	300	—○—

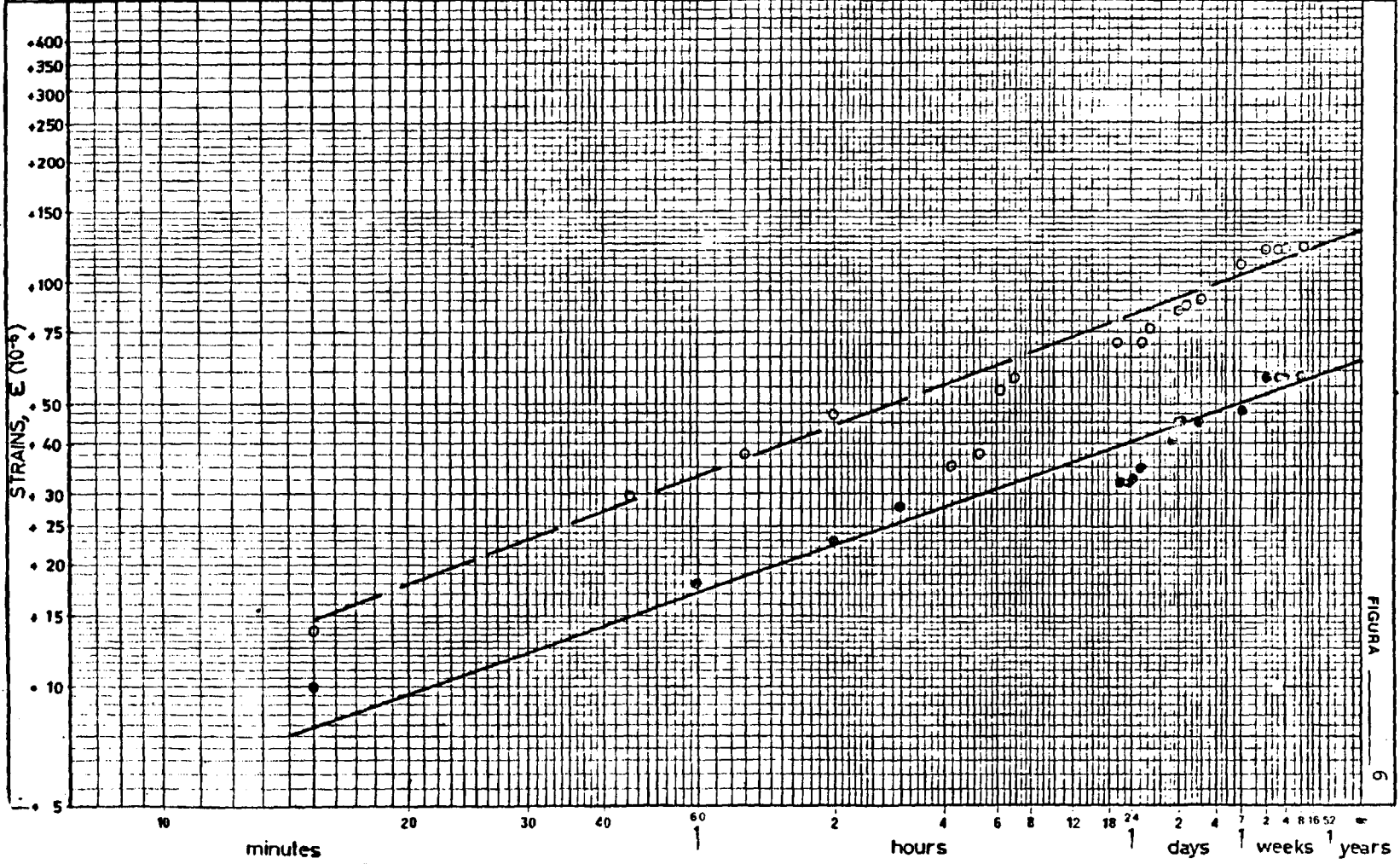


FIGURA 5

LIME MADE BY INBC - Proc. 45/1/6936

CREEP TESTS		SAMPLE	AXIAL STRESS (Kg/cm ²)	SYMBOL
Triaxial compression		3	100	—○—
PROCESSO 45 / 1 / 6936 LOCAL PEÑARROYA		4	150	—○—
(Lateral compression, $\sigma_l=35\text{Kg/cm}^2$) Axial strains versus time		5	200	- - -▲- - -
		6	300	- - -△- - -

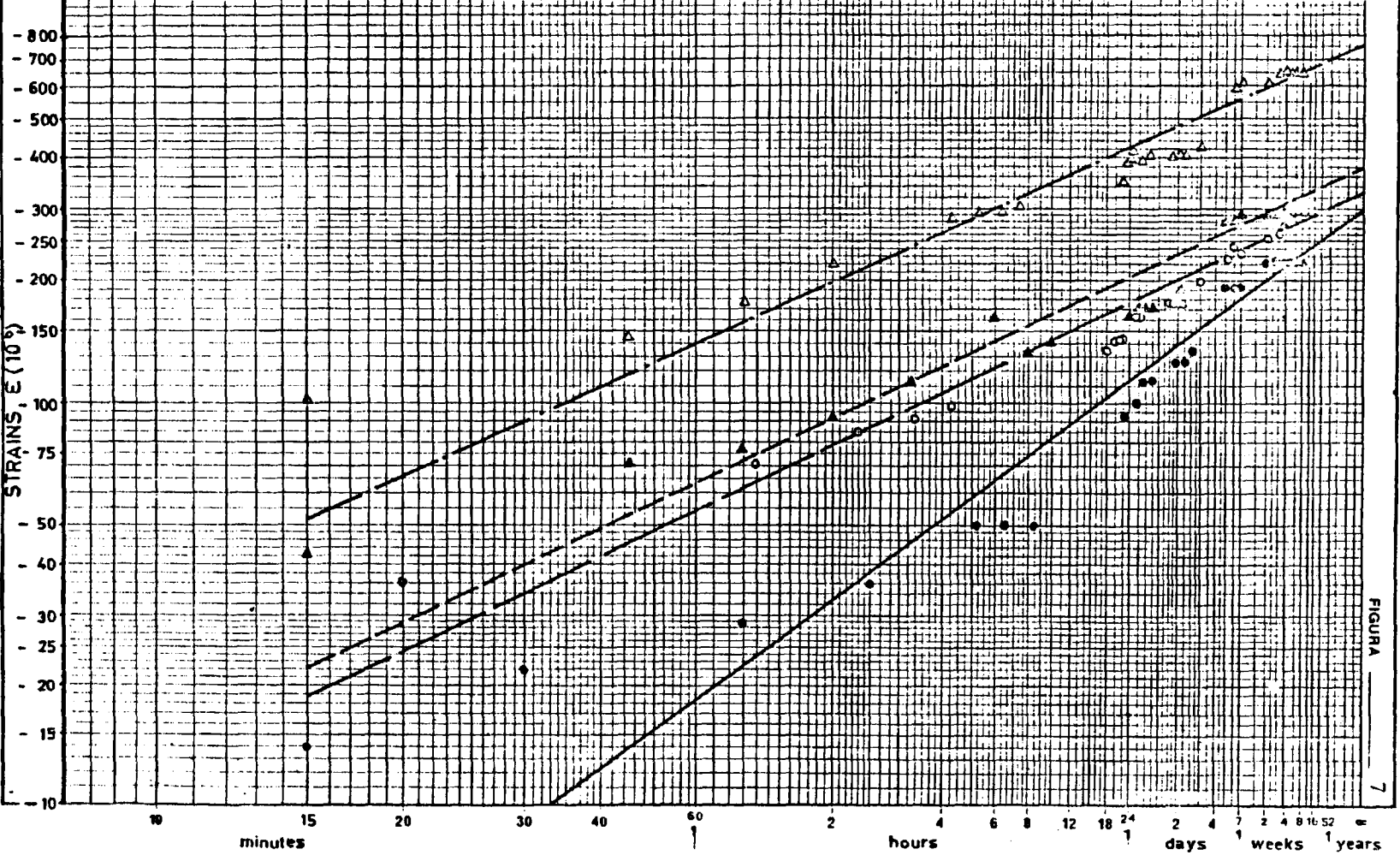


FIGURA 7

LINHA: Mod. 115 INBC - Proc. 45/1/6936

LNEC - Mem 011 INBC - Proc. 45/1/6936

CREEP TESTS Triaxial compression		SAMPLE	AXIAL STRESS (Kg/cm ²)	SYMBOL
PROCESSO 45 / 1 / 6936 LOCAL PEÑARROYA		3	100	—●—
(Lateral compression, $\sigma = 35 \text{ Kg/cm}^2$) Transversal strains versus time		4	150	—○—
		5	200	- - -▲- - -
		6	300	- - -△- - -

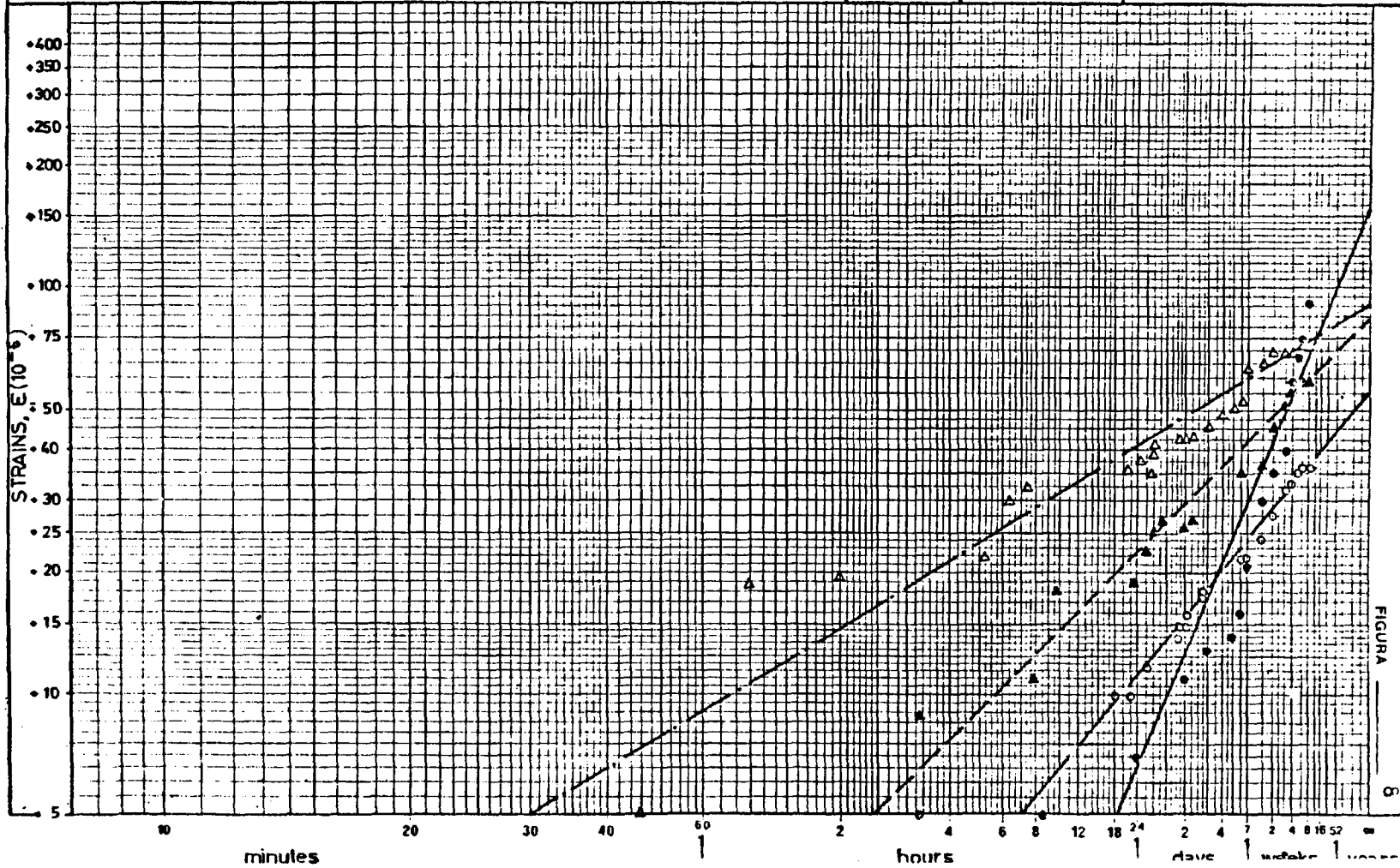


FIGURA 8

LNBC - Núm. 011 LNBC - Proc. 45/1/6936

PROCESSO	CREEP TESTS		σ_a (kg/cm ²)
	Triaxial compression		
45 / 1 / 6936 LOCAL PEÑARROYA	SAMPLE	STRAINS	
	7	Ed	35
(Lateral compression, $\sigma_l=70\text{kg/cm}^2$) Strains versus time	9	Ea	200

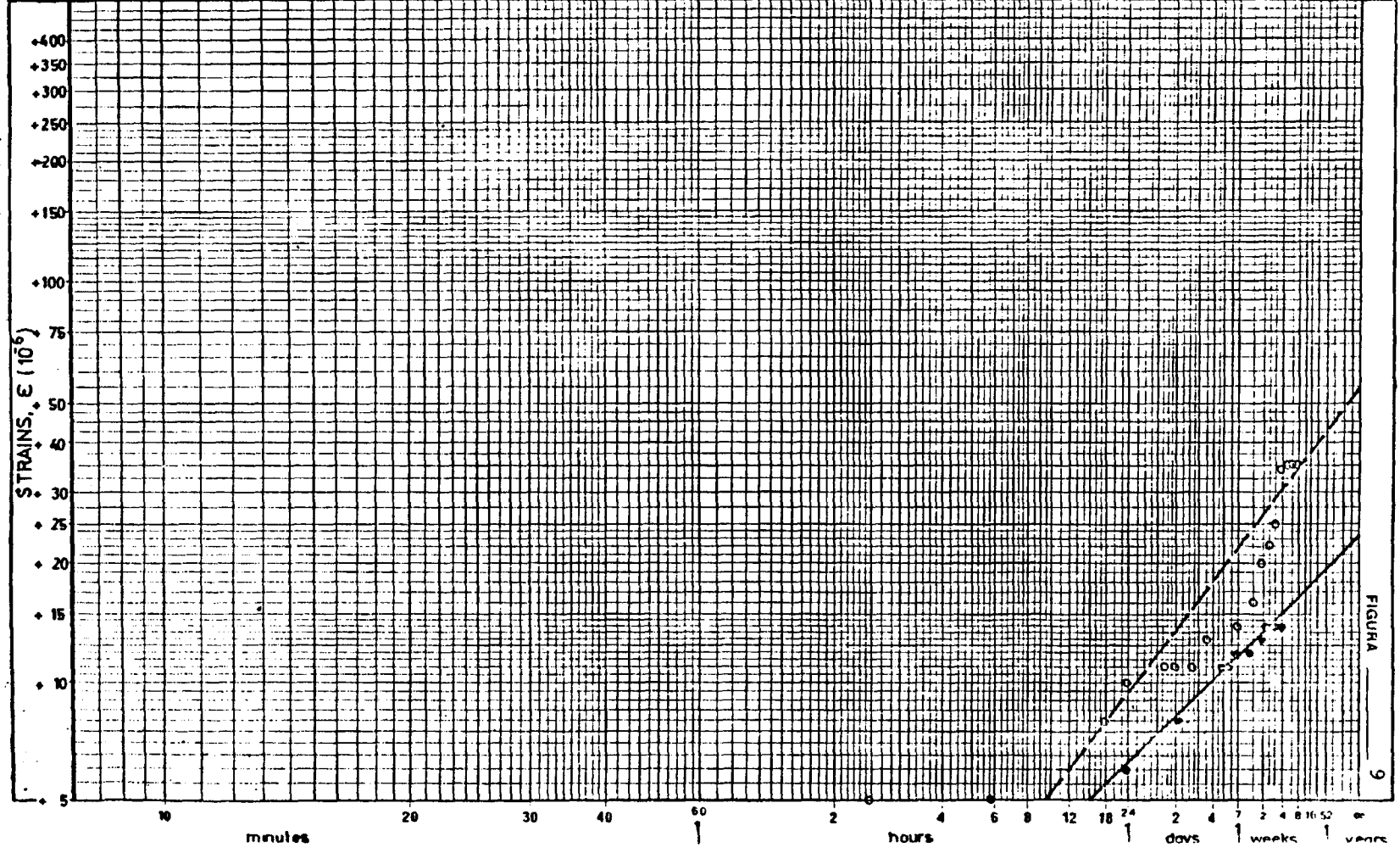


FIGURA 9

CREEP TESTS Triaxial compression		SAMPLE	G _a (kg/cm ²)	STRAINS	
				E _a	E _d
PROCESSO 45/1/6936 LOCAL PEÑARROYA		7	35	—	—
[Lateral compression, G _l =70 kg/cm ²] Strains versus time		8	100	—●—	—
		9	200	—○—	—

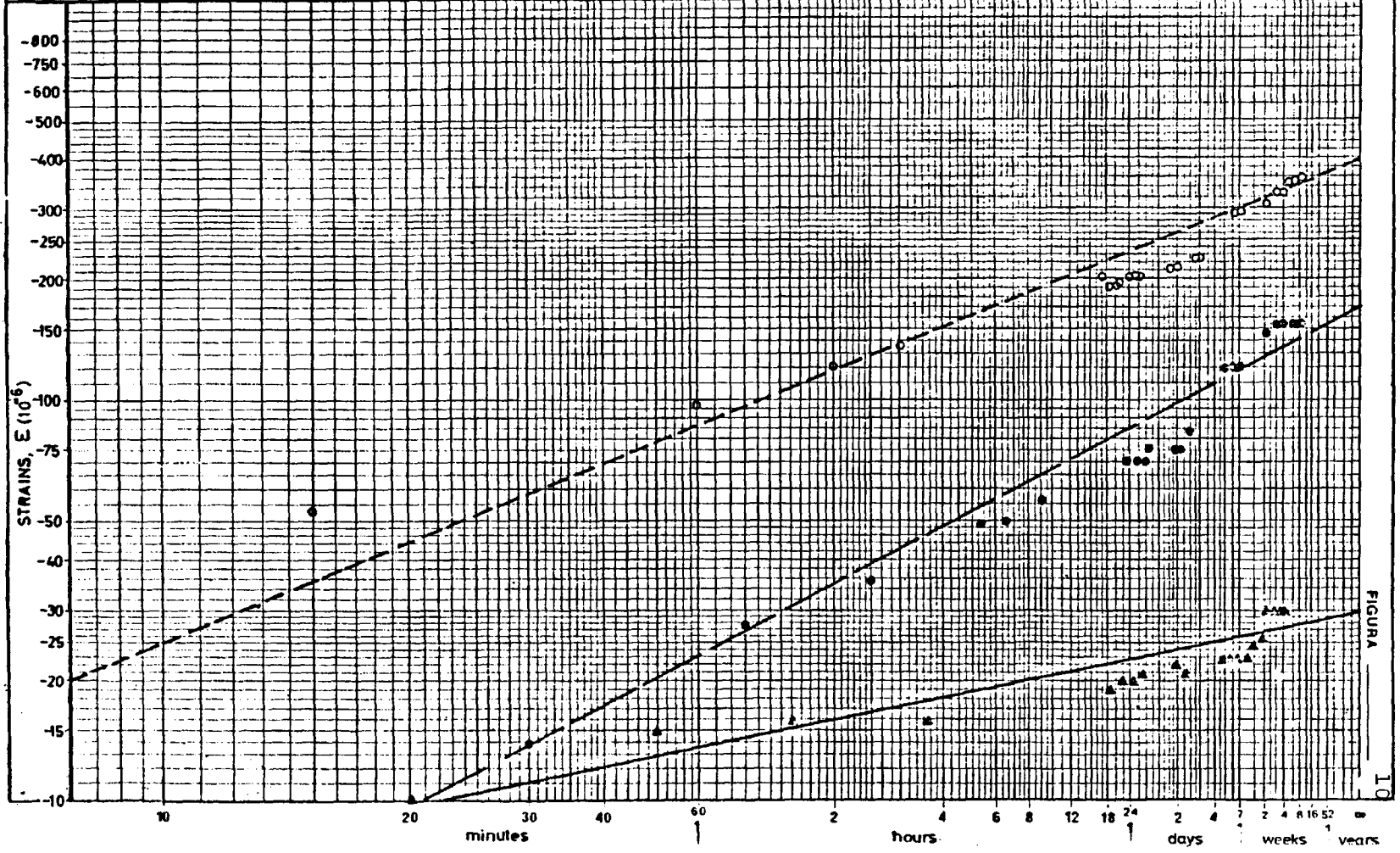


FIGURA 10

LNEC Mem 115 INBO - Proc. 45/1/6936

- ϵ - Deformación de fluencia $\epsilon = \epsilon_t = \epsilon_0$
- ϵ_t - Deformación total
- ϵ_0 - Deformación medida a $t = 0$ (elástica)
- c - Deformación para $t = \infty$
- a - un constante dependiente del estado tensional actuante

Los resultados de estos ensayos revelaron los siguientes puntos:

- a) Ninguna muestra alcanzó el colapso para los niveles de tensión estudiados quedando las deformaciones prácticamente estacionadas a partir de los 7-10 días.
- b) El módulo de elasticidad evoluciona con el tiempo con valores comprendidos entre el 55% y el 85% de los valores instantáneos, no detectándose variaciones con el incremento de la compresión lateral. Es destacable el hecho de que las muestras sometidas a ensayos de fluencia uniaxiales presentaron menos reducción en el módulo de elasticidad.
- c) El módulo de Poisson, aumenta con el tiempo, siendo este aumento menos marcado en compresión uniaxial. Los incrementos fueron del 18% en compresión uniaxial y 138% en compresión triaxial.
- d) En forma reducida podemos establecer los siguientes valores porcentuales de la reducción del módulo de elasticidad con el tiempo en función del Desviador de Tensiones ($s = \sigma_1 - \sigma_3$)

<u>S (kg/cm²)</u>	<u>$\Delta E = E_0 - E_\infty / E_0 (\%)$</u>
300	-20
265	-27
200	-16
165	-39
130	-42
115	-44
65	-46
30	-43
-35	-19

experimentándose aproximadamente por encima de Desviaciones de Tensión (S) superiores a 180 kg/cm² disminuciones en el Módulo de Elasticidad de menos del 25% y por debajo de S = 180 kg/cm² de más del 40%.

- c) En estos ensayos también se pudieron obtener las variaciones de los Módulos de Elasticidad a $t = 0$ (E_0) y su variación con el confinamiento lateral:

<u>S (kg/cm²)</u>	<u>σ_3 (kg/cm²)</u>	<u>E_0 (10⁶ psi)</u>	<u>E_0 (media)</u>
300	0	1.9	1.9
200	0	1.9	
265	35	2.2.	
165	35	4.6	
115	35	4.5	
65	35	2.6	3.5
130	70	4.3	
30	70	2.1	3.2

Con lo que vemos que el Módulo de Elasticidad practicamente se estaciona por encima de niveles de confinamiento relativa

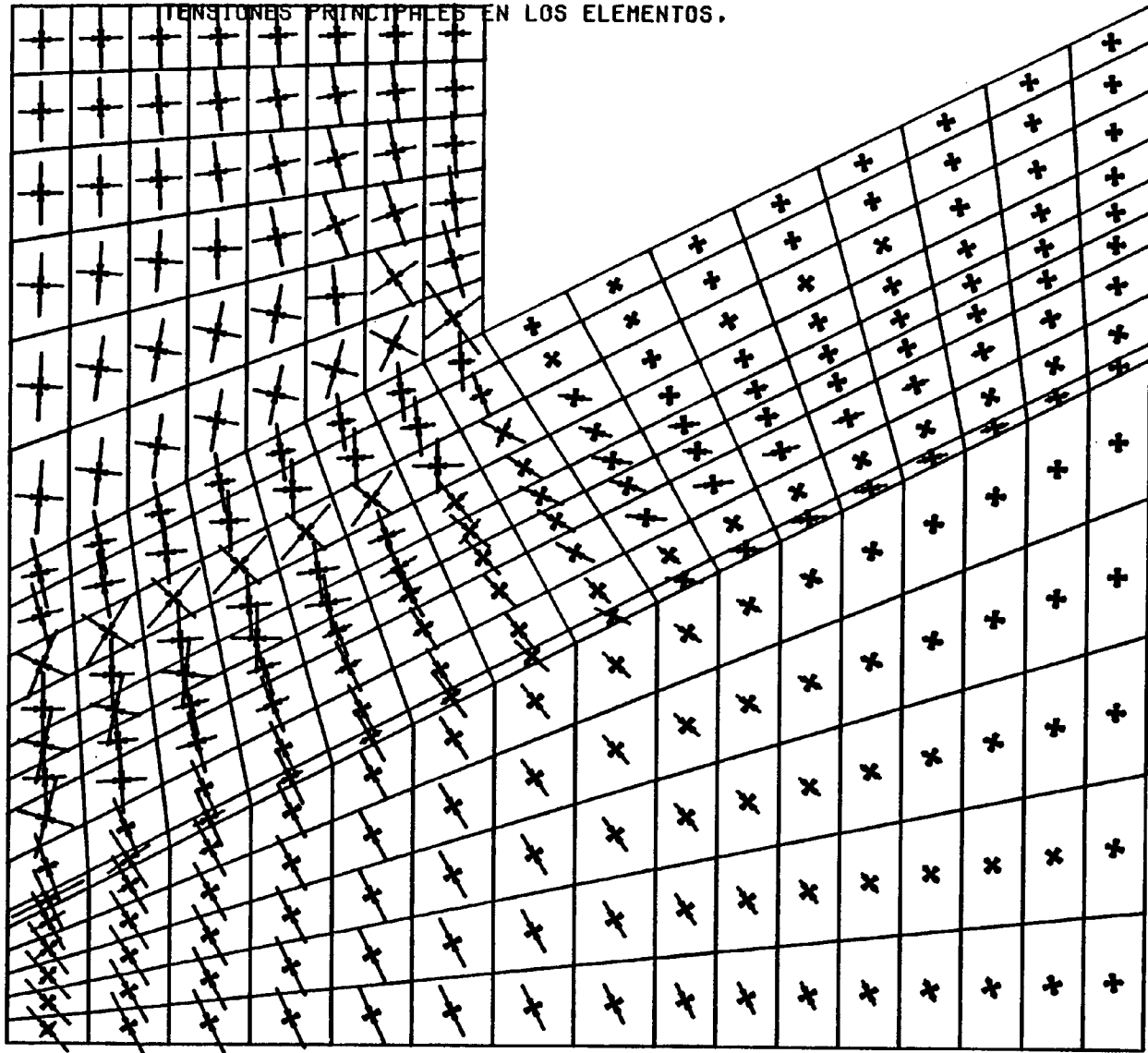
mente reducidos, pudiendo estimarse como valor practicamente constante del Módulo de Elasticidad inicial (E_0) ante cualquier estado tensional el de

$$E_0 = 2.8 \times 10^6 \text{ psi} = 200.000 \text{ kg/cm}^2$$

ANEXO 8

DEFINICION DE CONDICIONES DE CONTORNO

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

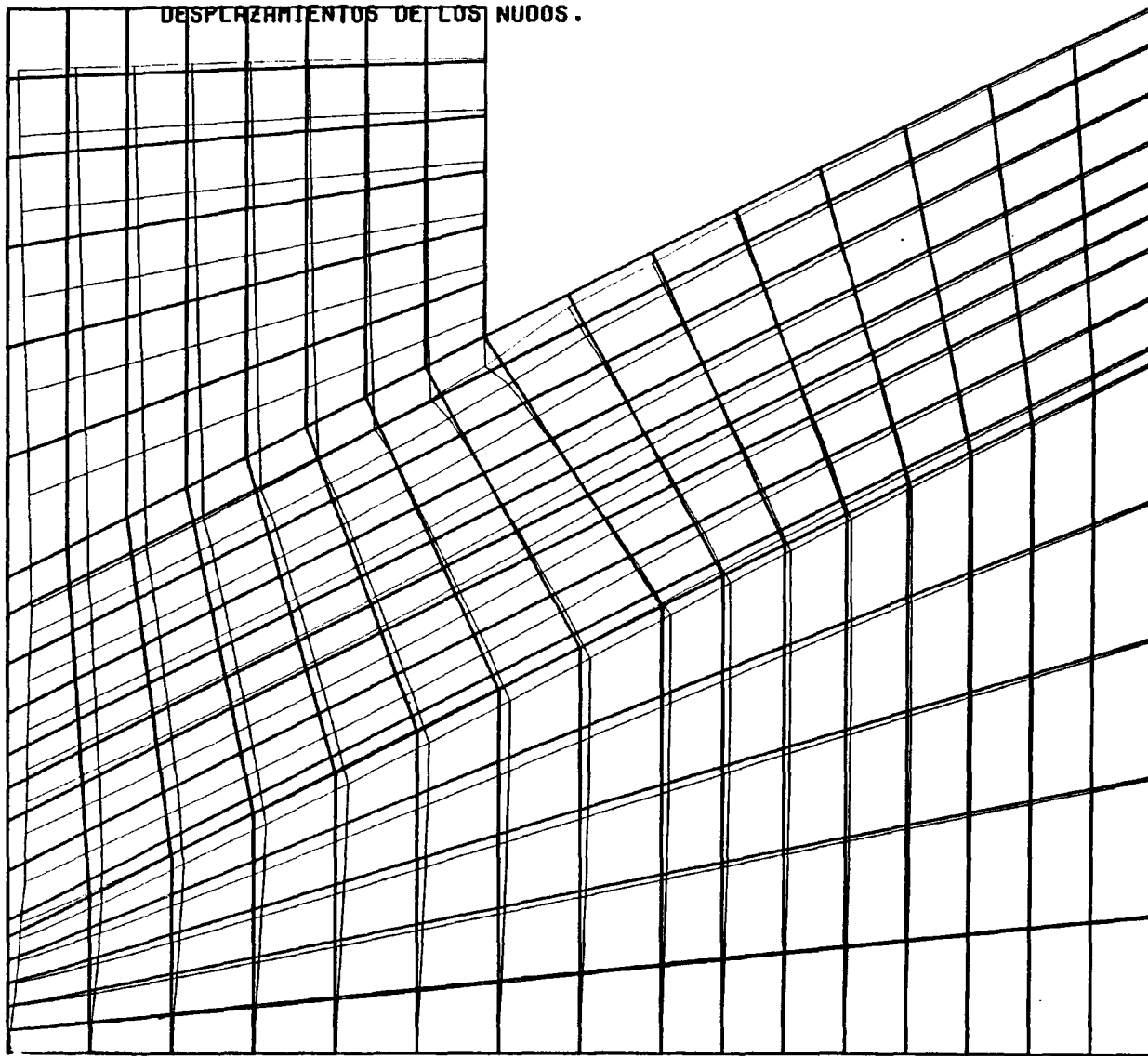


- 3 -

GALERIA DE PENARROYA, PASADO 1. Q1(6200) SH=0.7SV SV(COL.) PPROP.
CONDICIONES DE CONTORNO. FIJO

■■■■ escala unif.

DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.

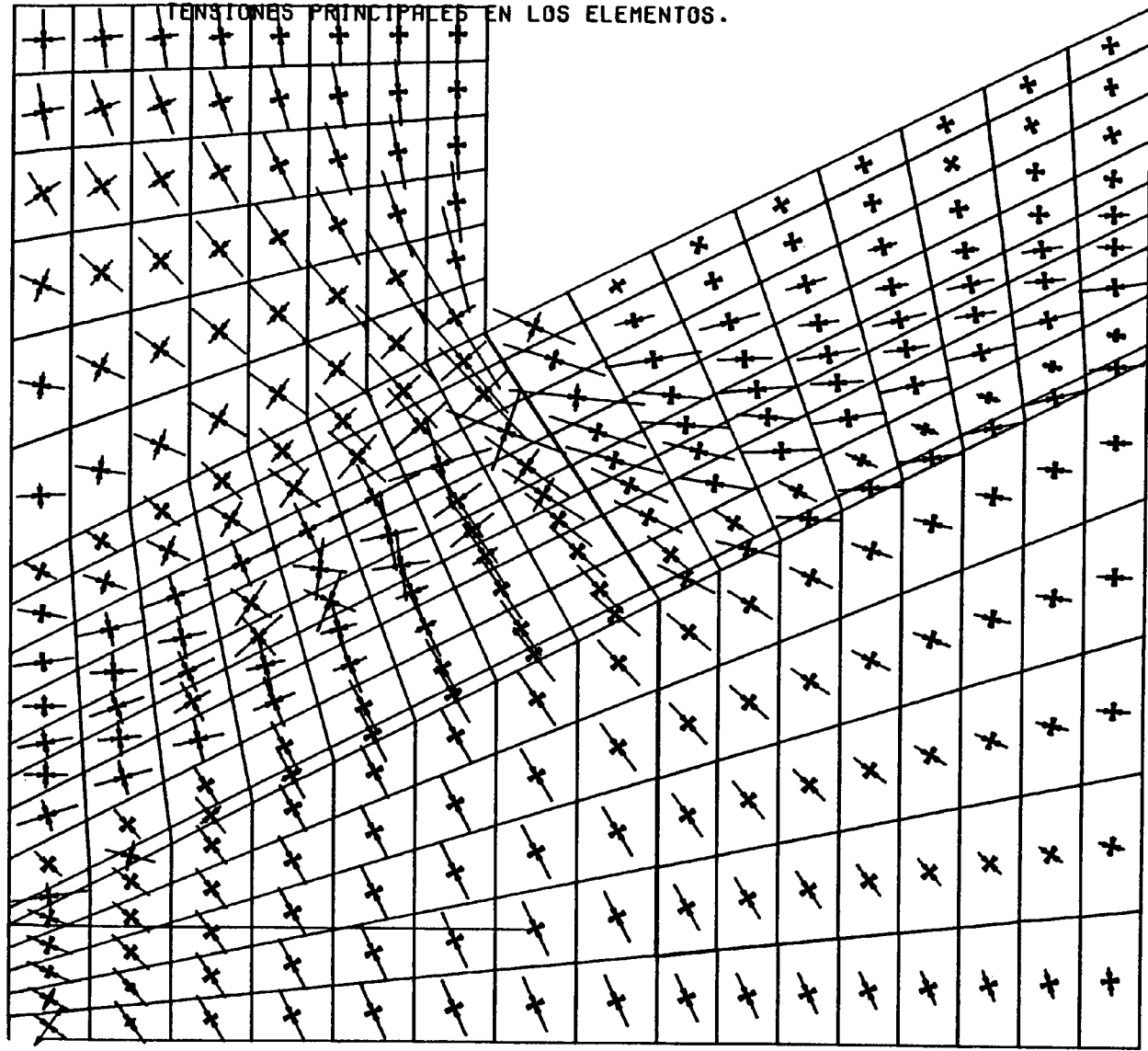


- 4 -

GALERIA DE PENARROYO, PASADO 1. Q1(6200) SH=0.7SV SV(COL.) PPROP.
CONDICIONES DE CONTOÑO. FIJO

■■■■ escala mmf.

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

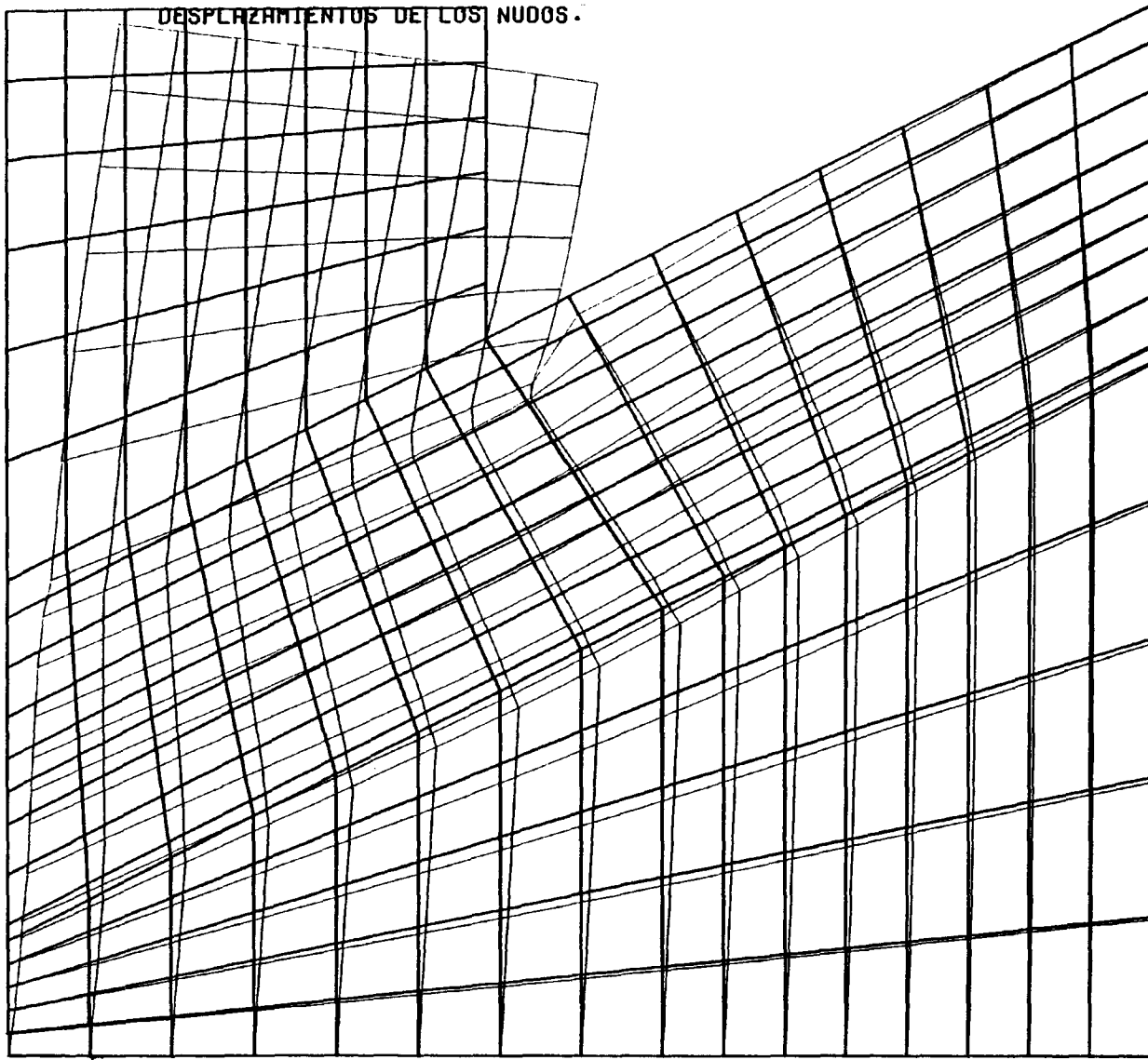


- 5 -

GALERIA DE PENARROYA, PASADA 1 Q1(6200) SH=0.75V SV(COL.) PPROP.
CONDICIONES DE CONTORNO. LIBRE

□□□□ escala inf.

DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.

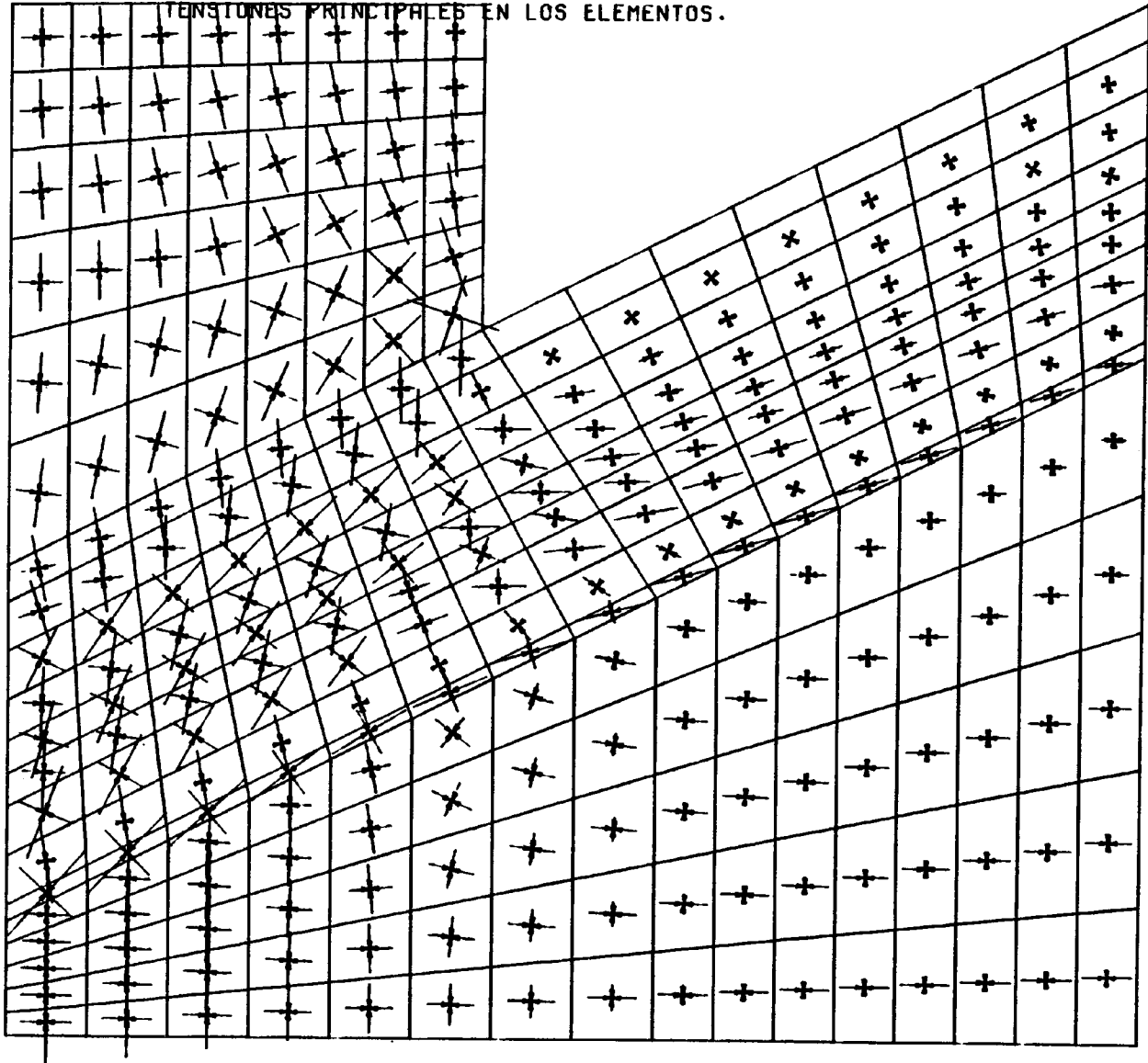


- 9 -

GALERIA DE PENARROYA, PASADA 1, Q1(6200) SH=0.7SV SV(COL.) PPROP.
CONDICIONES DE CONTORNO. LIBRE

**** en.a.a. inf.

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

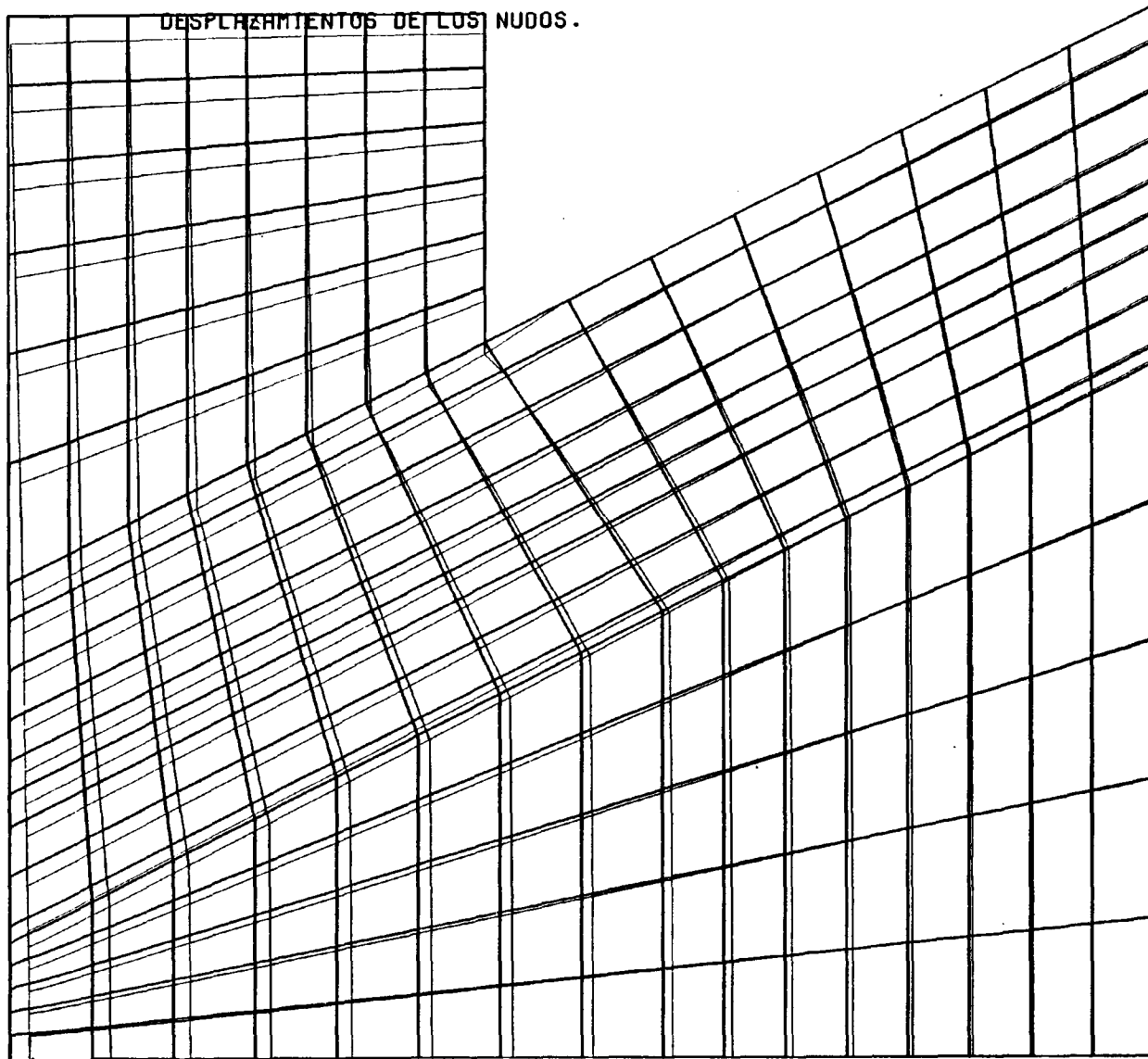


- 7 -

GALERIA DE PENARROYA, PASADA 1. Q1(6200) SH=0.7SV SV(COL.) PPROP.
CONDICIONES DE CONTORNO. EMP0.

□□□□

DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.

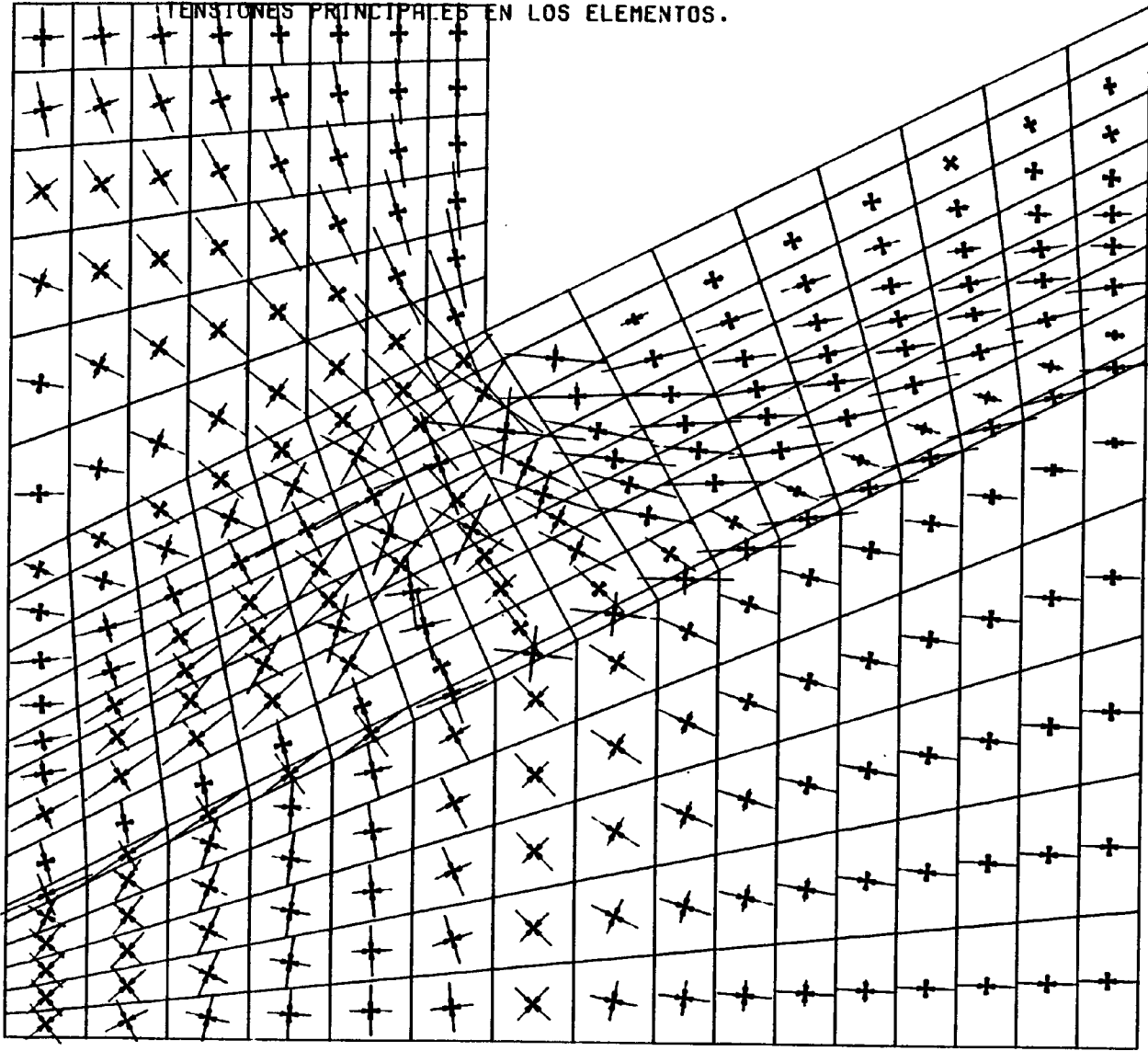


- 8 -

GALERIA DE PENARROYA, PASADA 1: Q1(6200) SH=0.7SV SV(COL.) PPROP.
CONDICIONES DE CONTORNO: EMP0:

□□□□

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

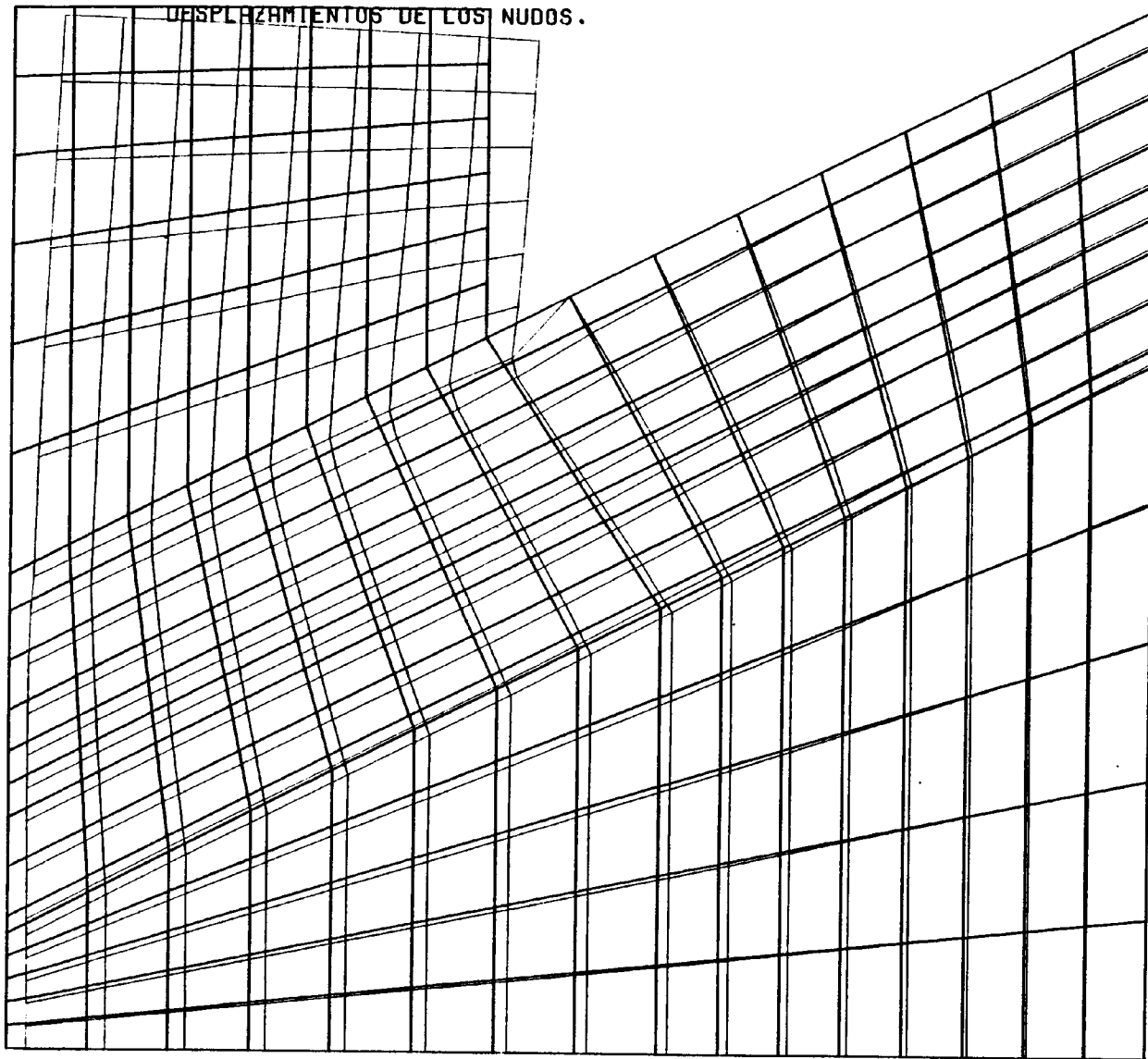


- 6 -

GALERIA DE PENARROYA, PASADA 1, Q1(6200) SH=0.7SV SV(COL.) PPROP.
CONDICIONES DE CONTORNO: LIBRE.

□□□□

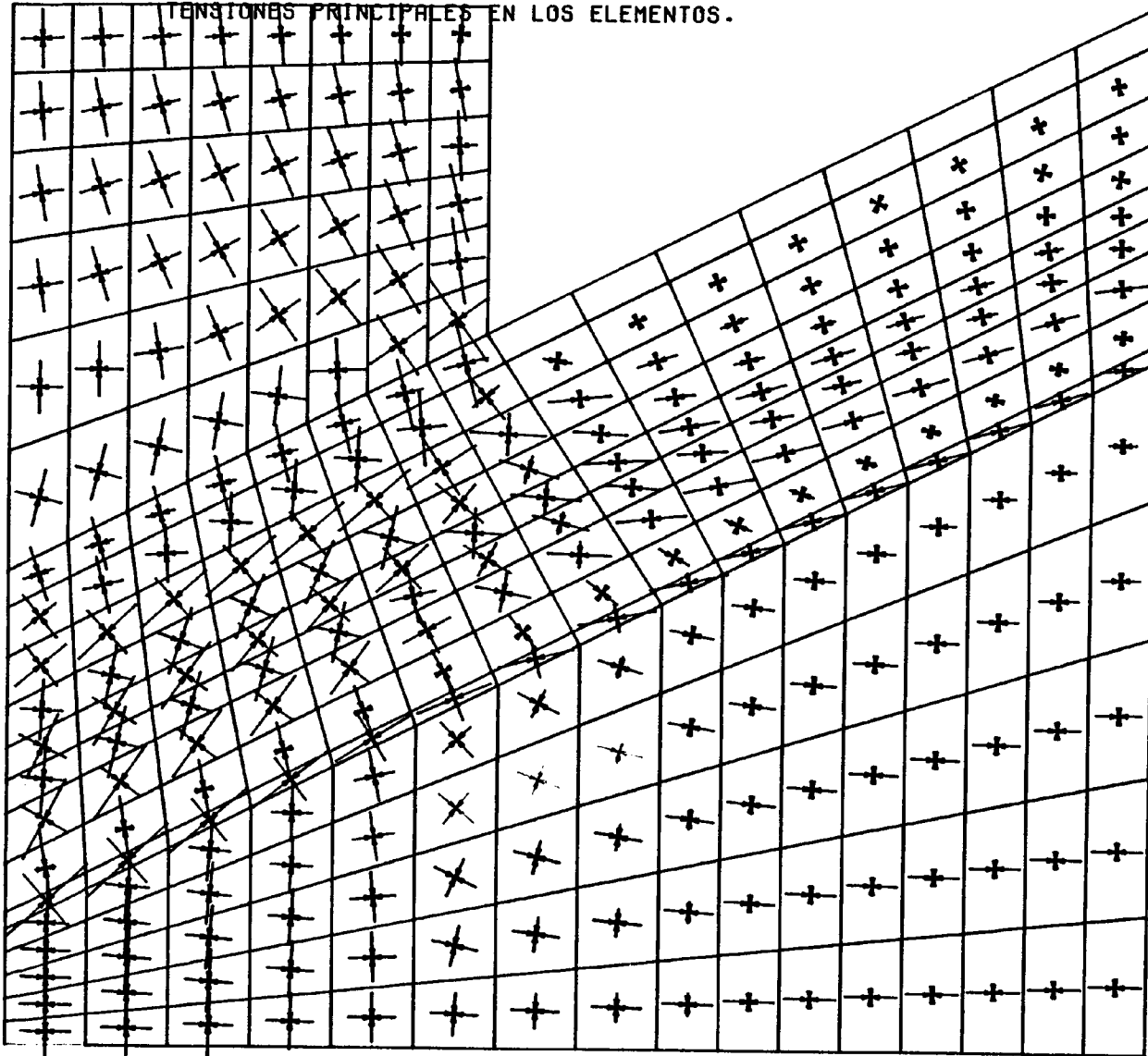
DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.



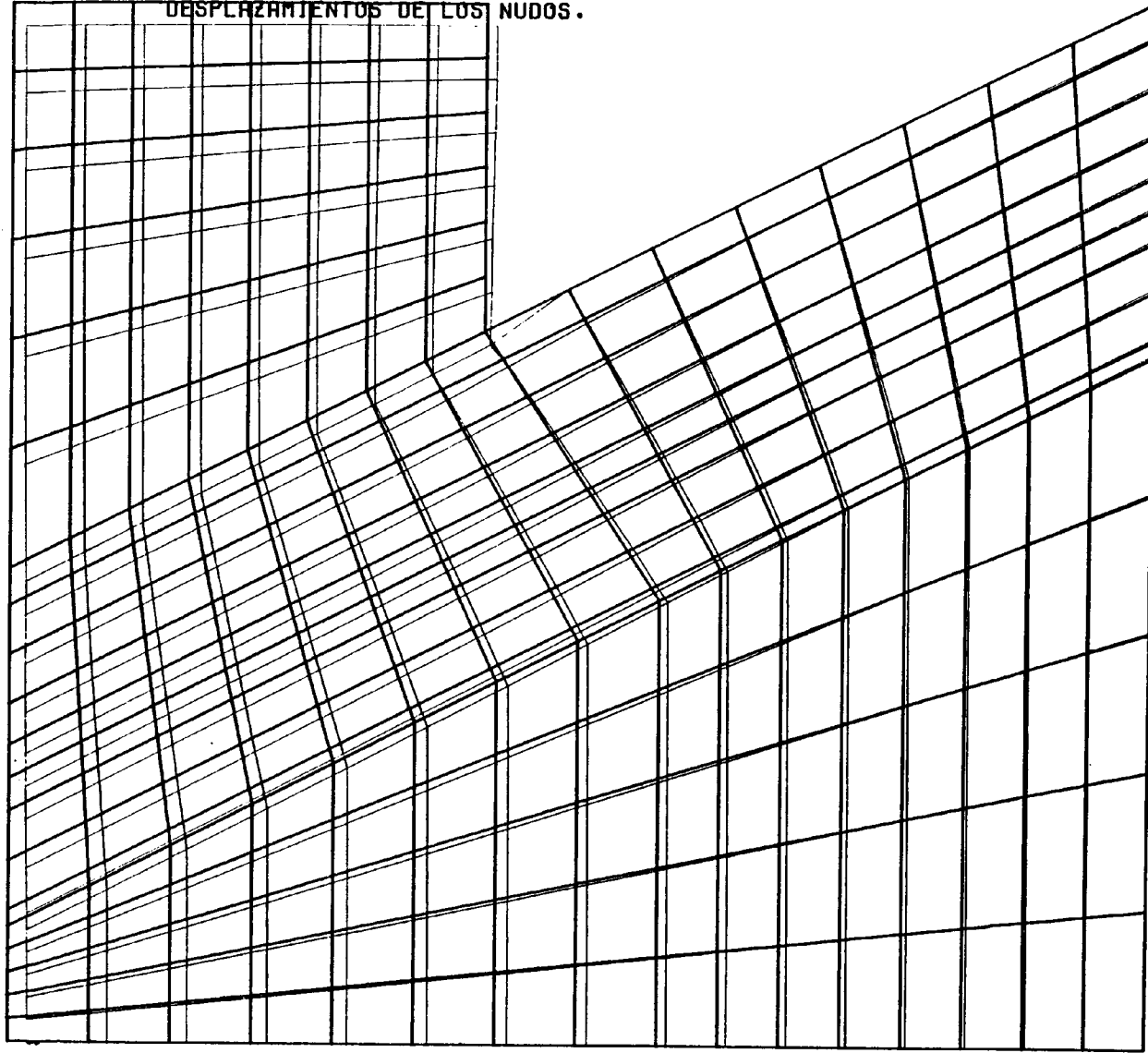
GALERIA DE PENARROYA, PASADA 1 Q1(6200) SH=0.7SV SV(COL.) PPROP.
CONDICIONES DE CONTORNO. LIBRE.

□□□□

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.



DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.



- 12 -

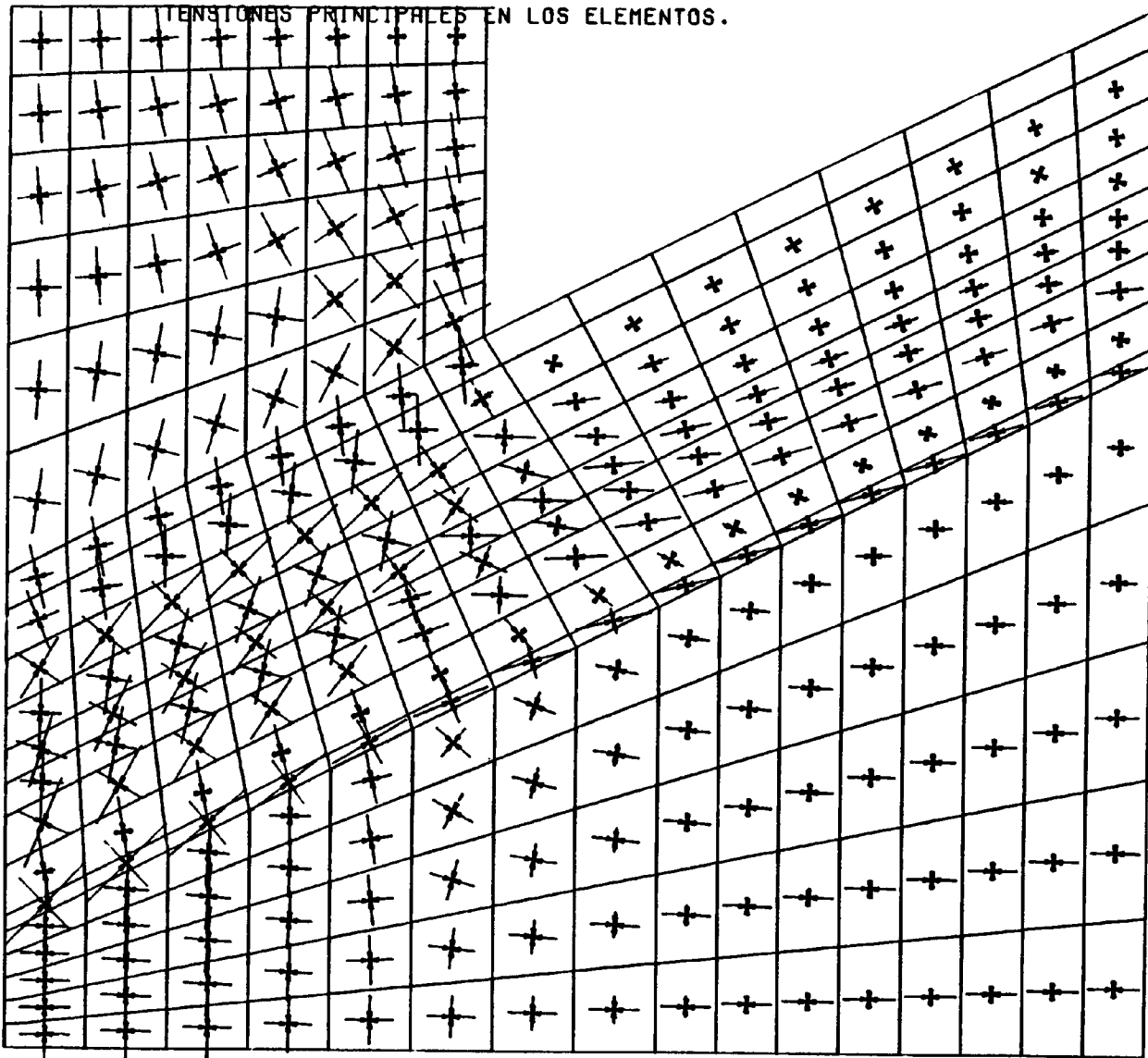
GALERIA DE PENARROYA, PASADA 1 01(6200) SH=0.7SV SV(COL.) PPROP.
CONDICIONES DE CONTORNO. DESPIMP.

0000

ANEXO 9

ANALISIS DE SENSIBILIDAD
DEL MODELO ESTRUCTURAL

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

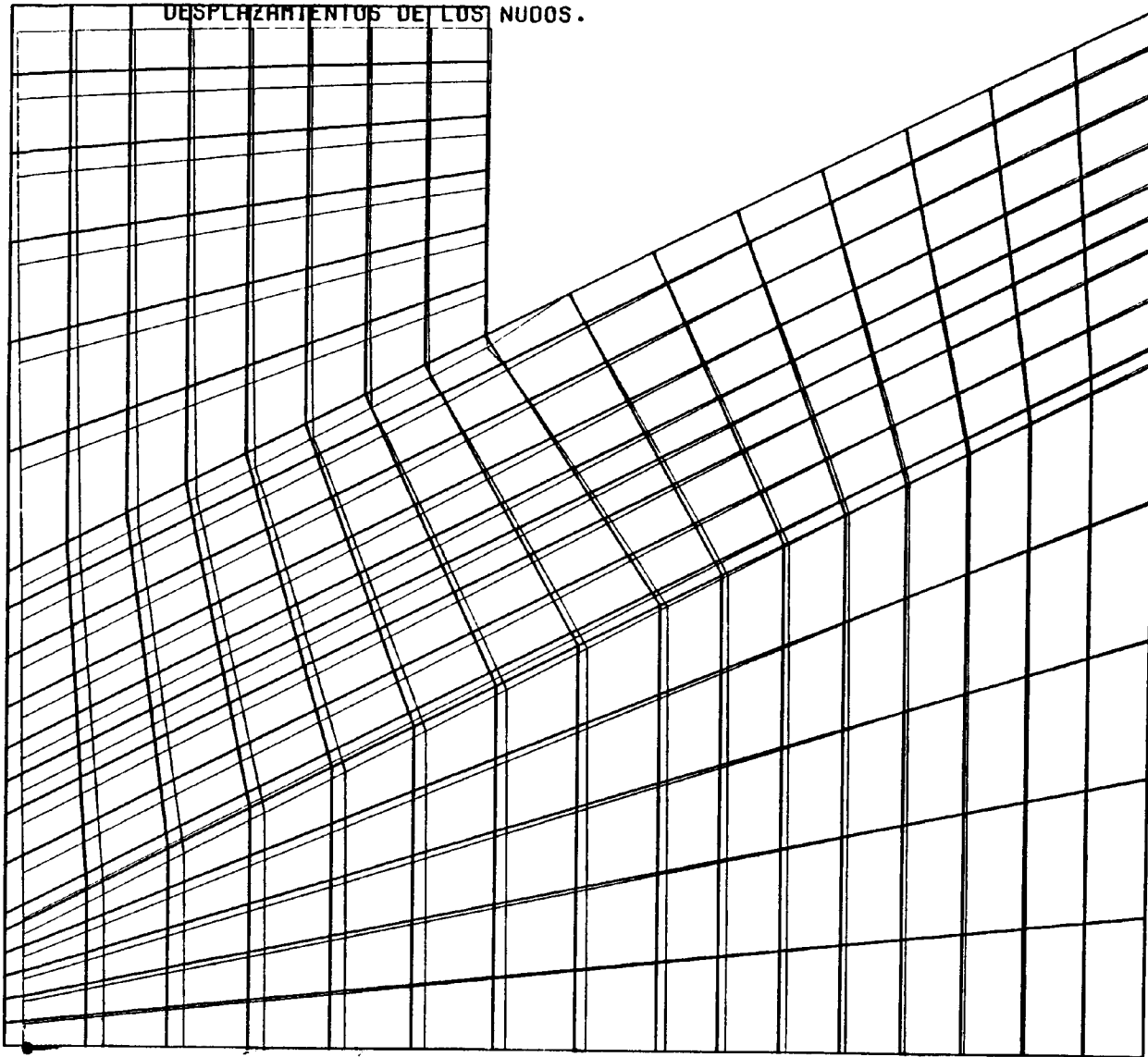


- 1 -

GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS-PPROP.
HYPO11. SIG1= P. COL. SIGH= 0.7*SIGV. Q1=6200.

0000

DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.

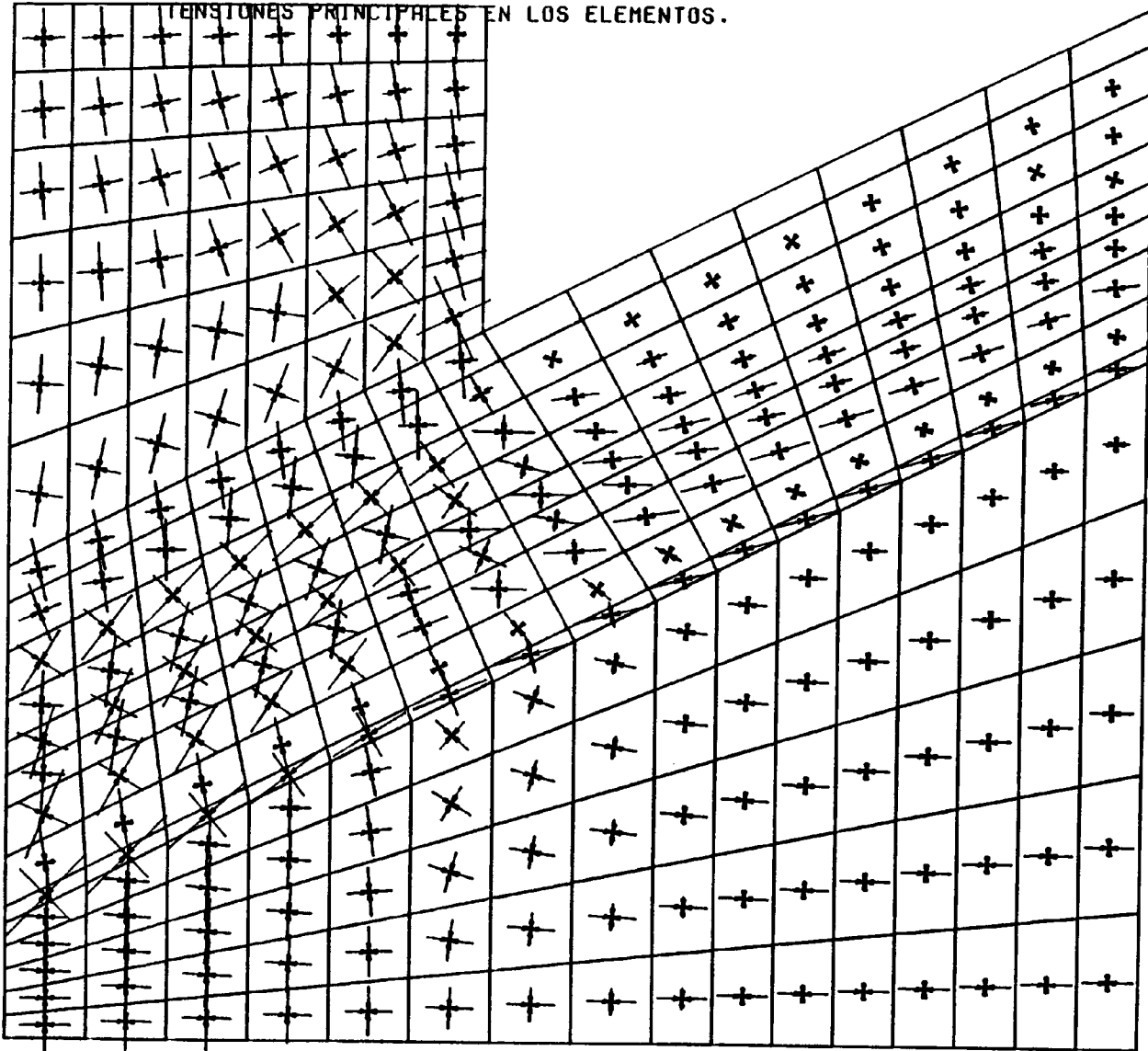


-- 2 --

GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS PROP.
HIPOTI. SICH= P. COL. SICH= 0.7 * STCV. Q1=6200.

0000

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

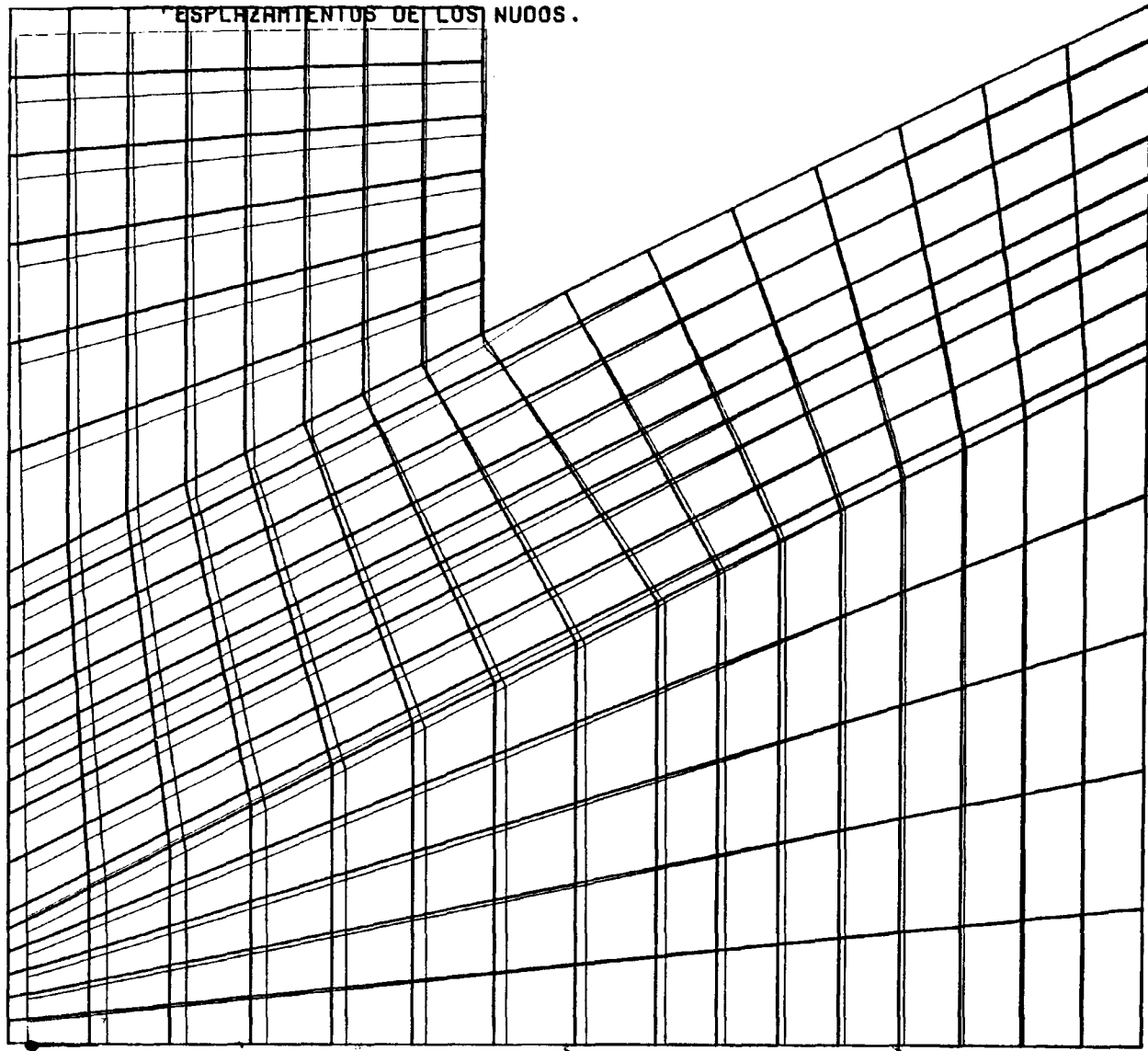


- 3 -

GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8. HIPOTESIS+PPROP.
 HYPOT2. SIG1= P. COL. SIGH= 0.7*SIGV. Q1=14500.

□□□□

DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUOS.

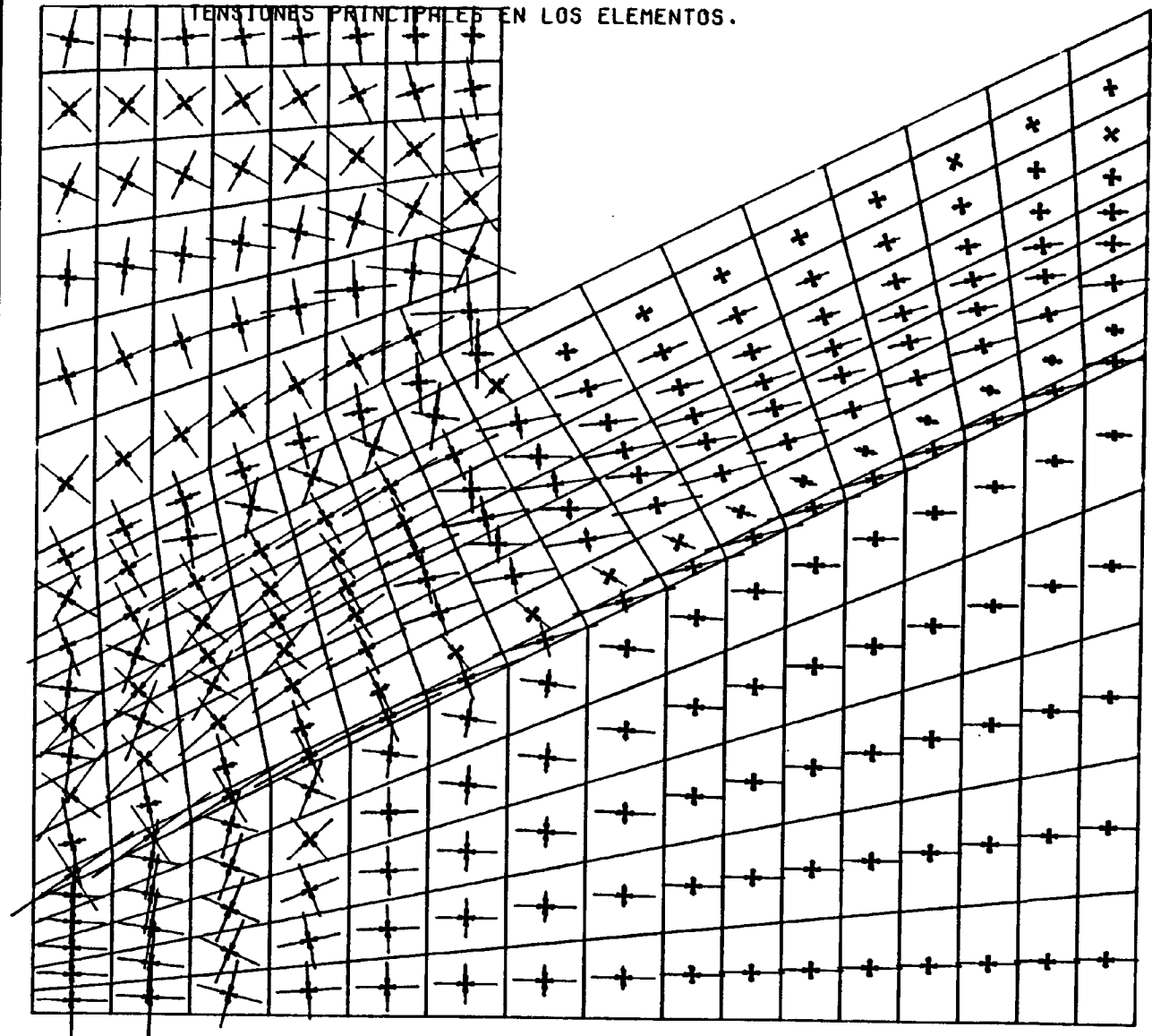


- 4 -

GALERIA DE RENABROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS. PPROP.
HIPOT. 2. SIGI = P. COL. SIGH = 0.7 * SIGV. QI = 14500.

0000

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

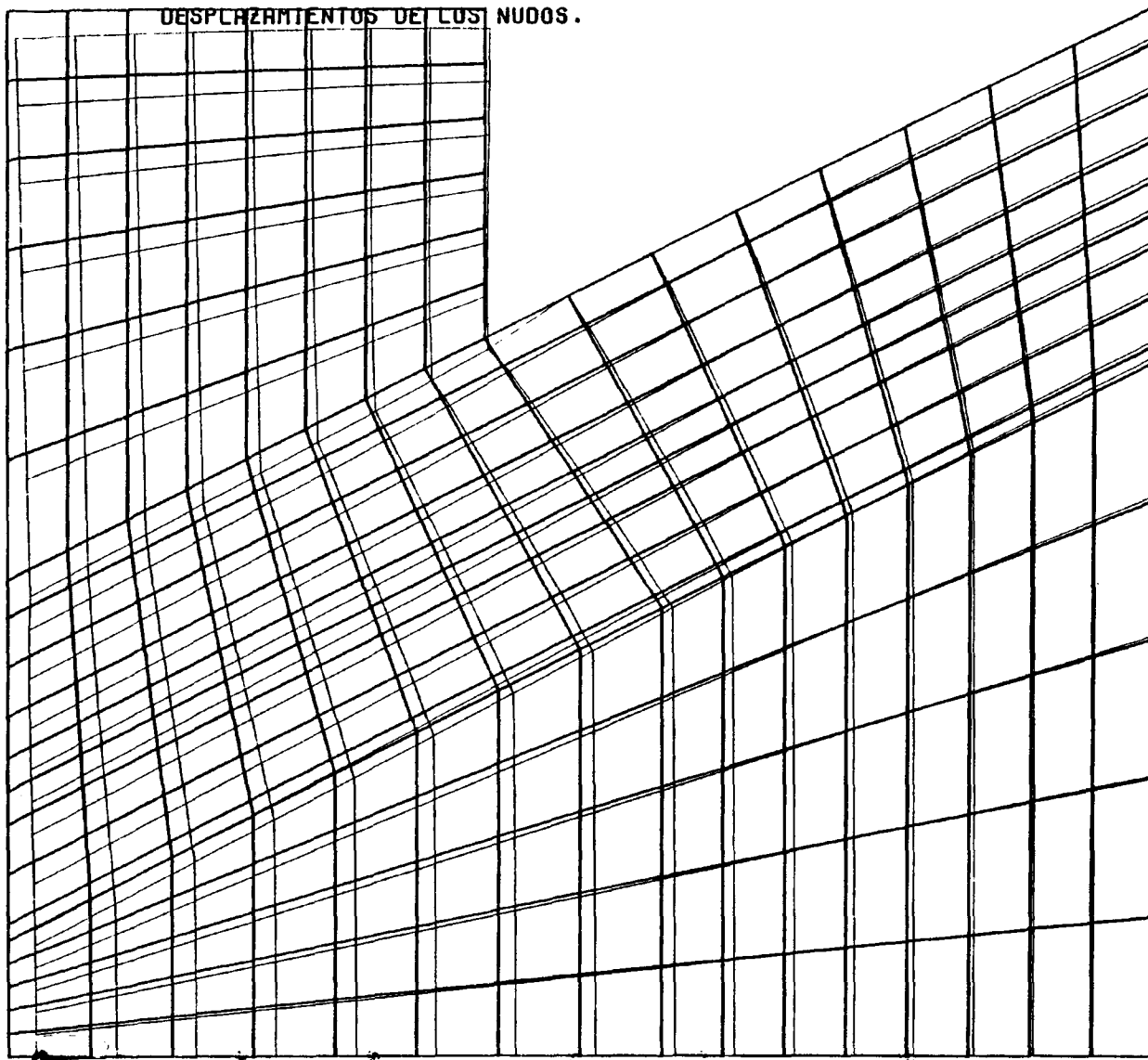


- 5 -

GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS.PPROP.
HYPO13. SIGI= P. COL. SIGH= 1.0 SIGV. Q1=6200.

0000

DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.

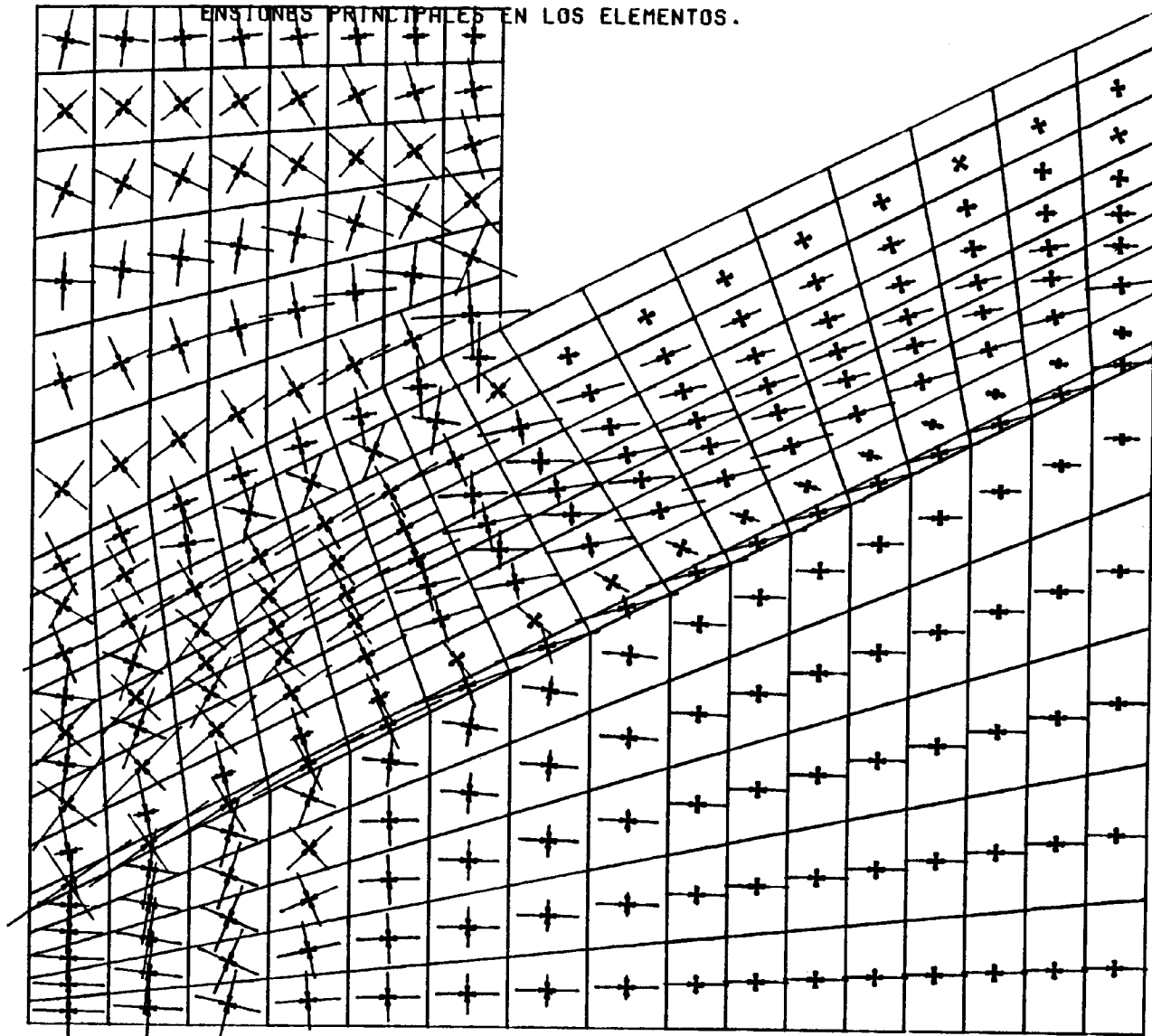


- 9 -

GALERIA DE PENABROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS+PROP.
HIPOT3. SIGI= P. COL. SIGH= 1.0*SIGV. Q1=6200.

□□□□

ENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

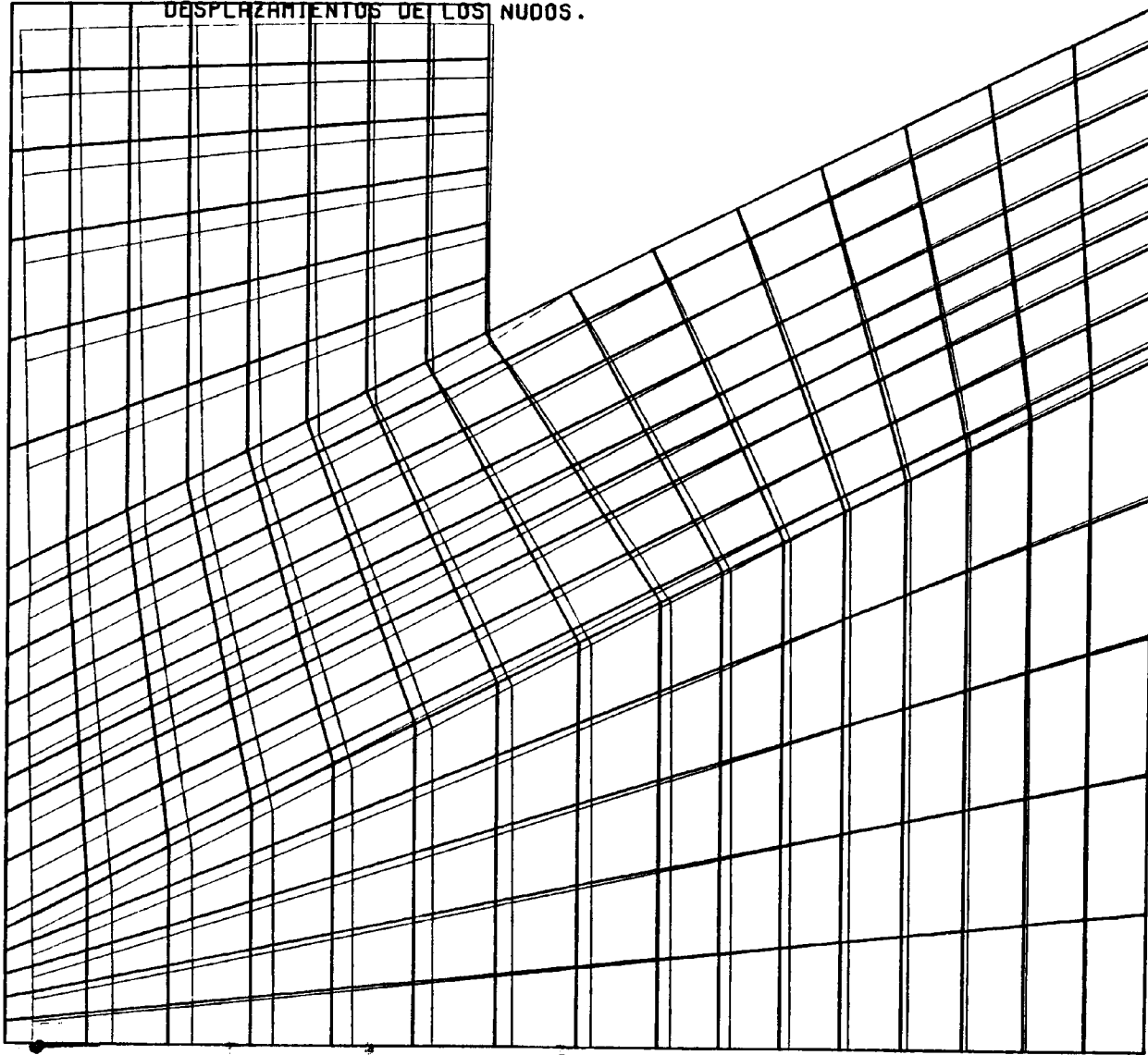


- 7 -

GALERIA DE PENABROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS+PPROP.
HIPOT4. SIG1= P. COL. SIGH= 1.0*SIGV. Q1=14500

□□□□

DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.

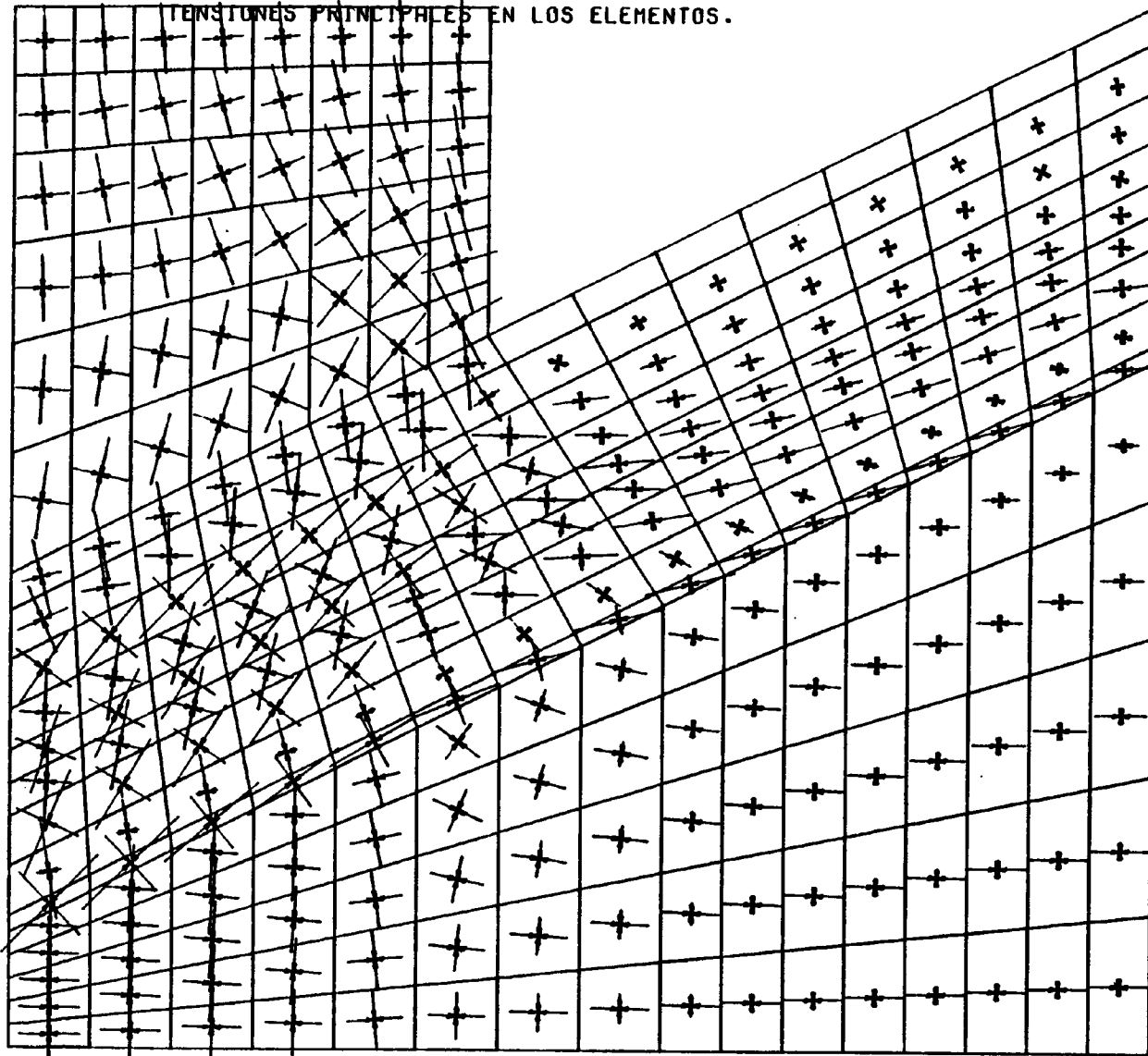


-- 8 --

GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS PROP.
HIP014. SICI= P. COL. SICH= 1.0 SIV. QI=14500

0000

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

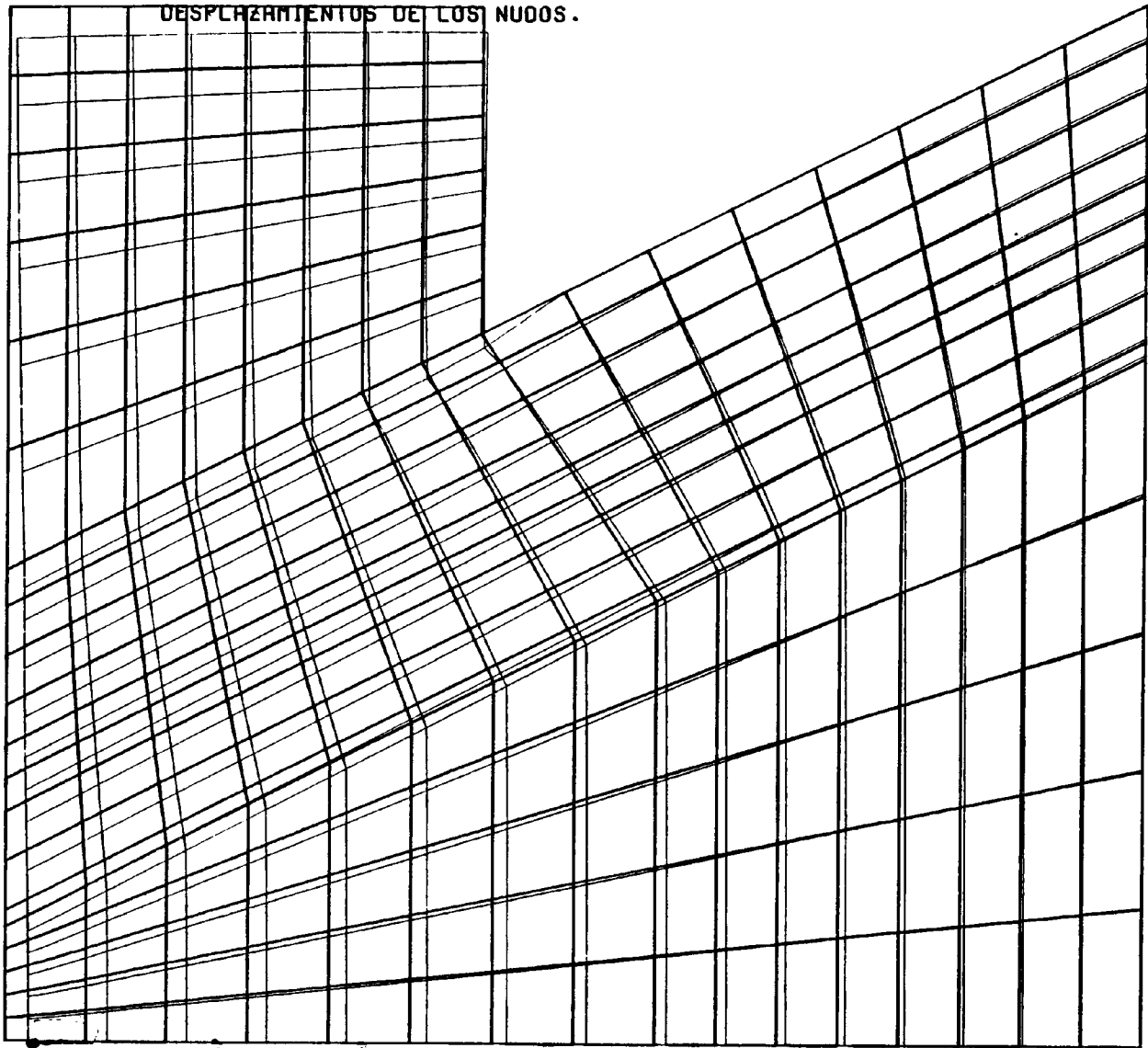


- 6 -

GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS+PPROP.
HIPOTS. SIGI= 1.2*P. COL. SIGH= 0.7*SIGV. QI=6200.

0000

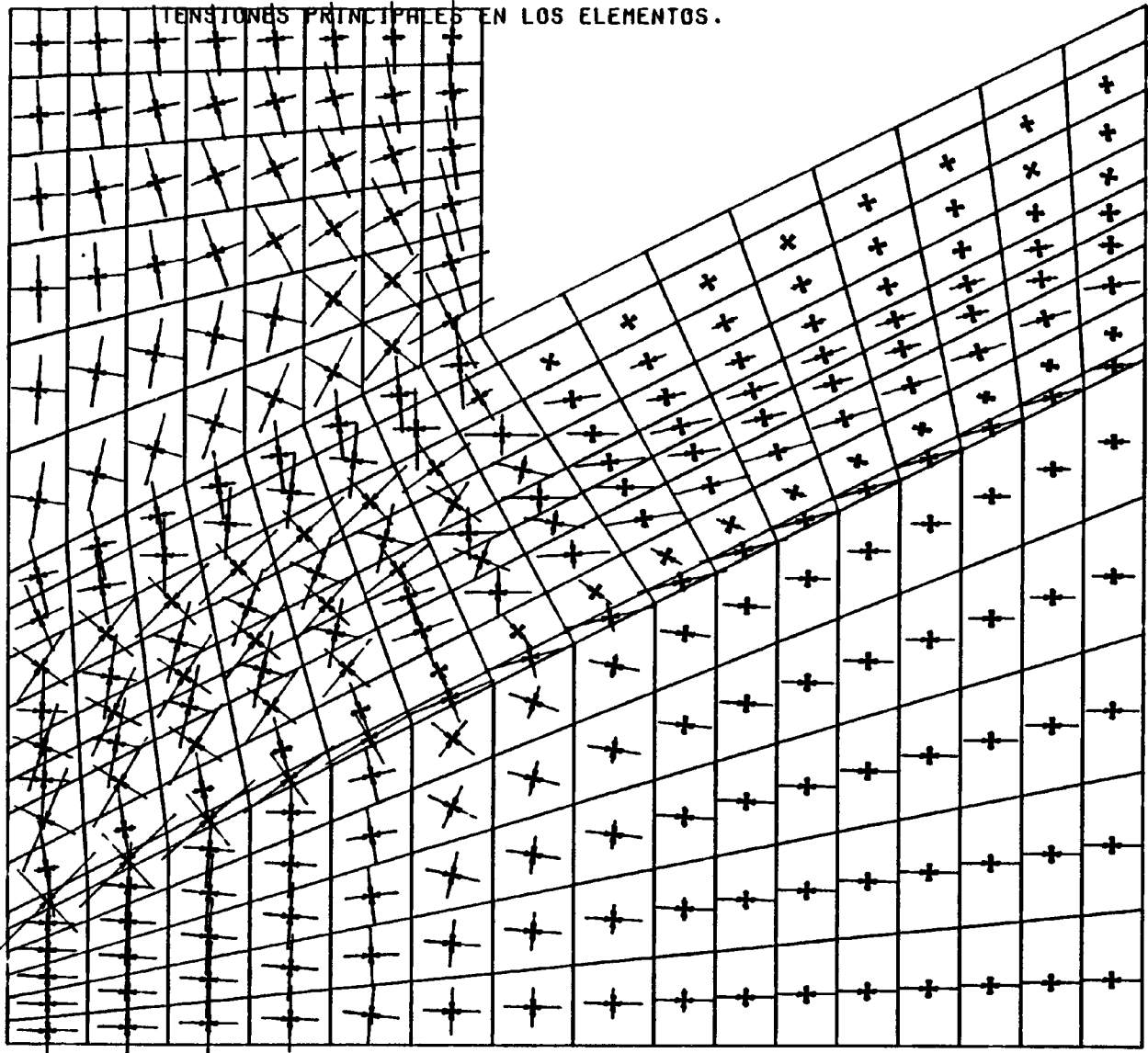
DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.



GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS+PPROP.
HYPOFS. SIGI= 1.2 * P. COL. SIGH= 0.7 * SIGV. Q1=6200.

0000

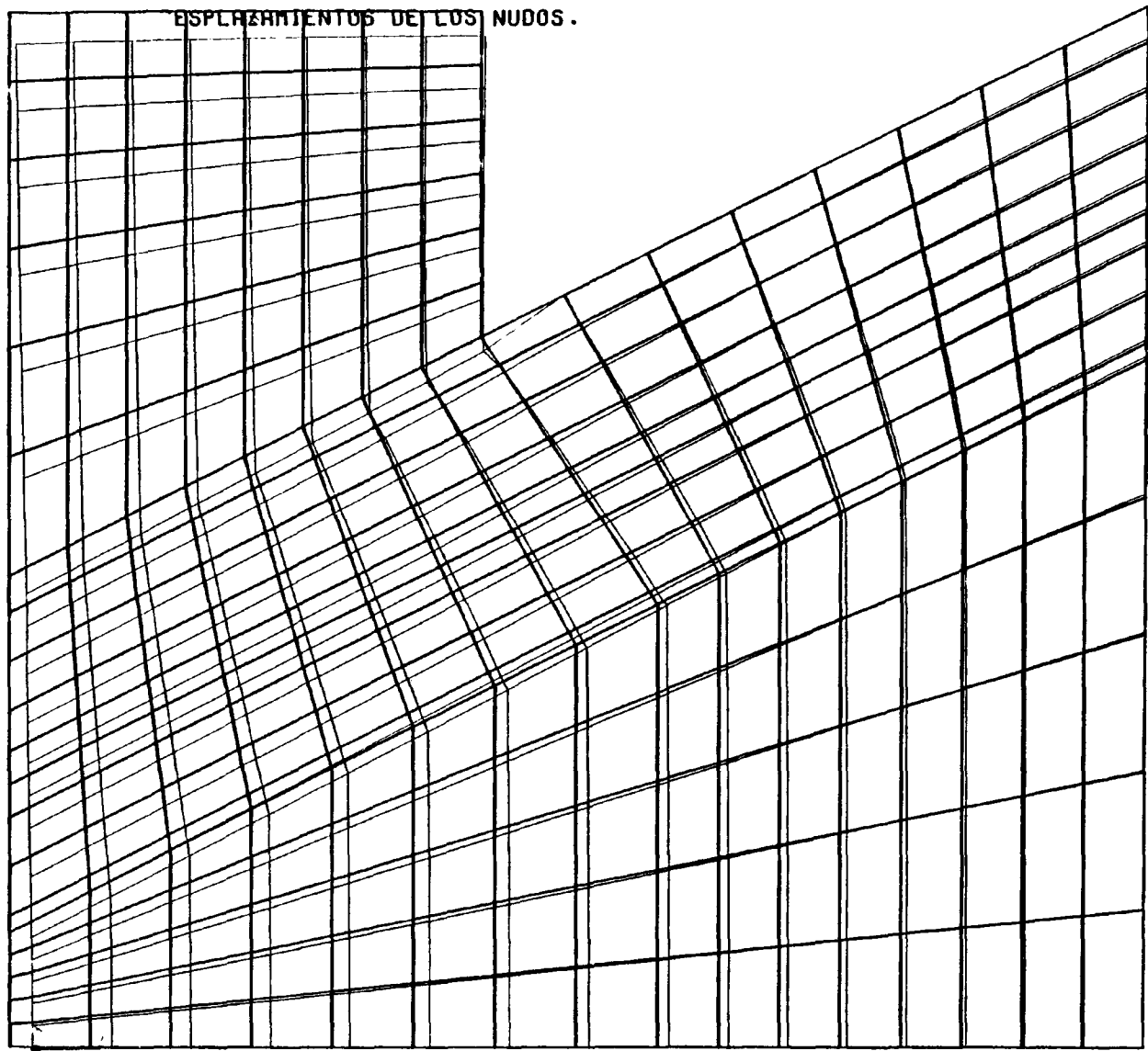
TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.



GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS-PPROP.
HIPOT6. SIG1= 1.2*P. COL. SIG8= 0.7*SIGV. Q1=14500.

0000

ESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.

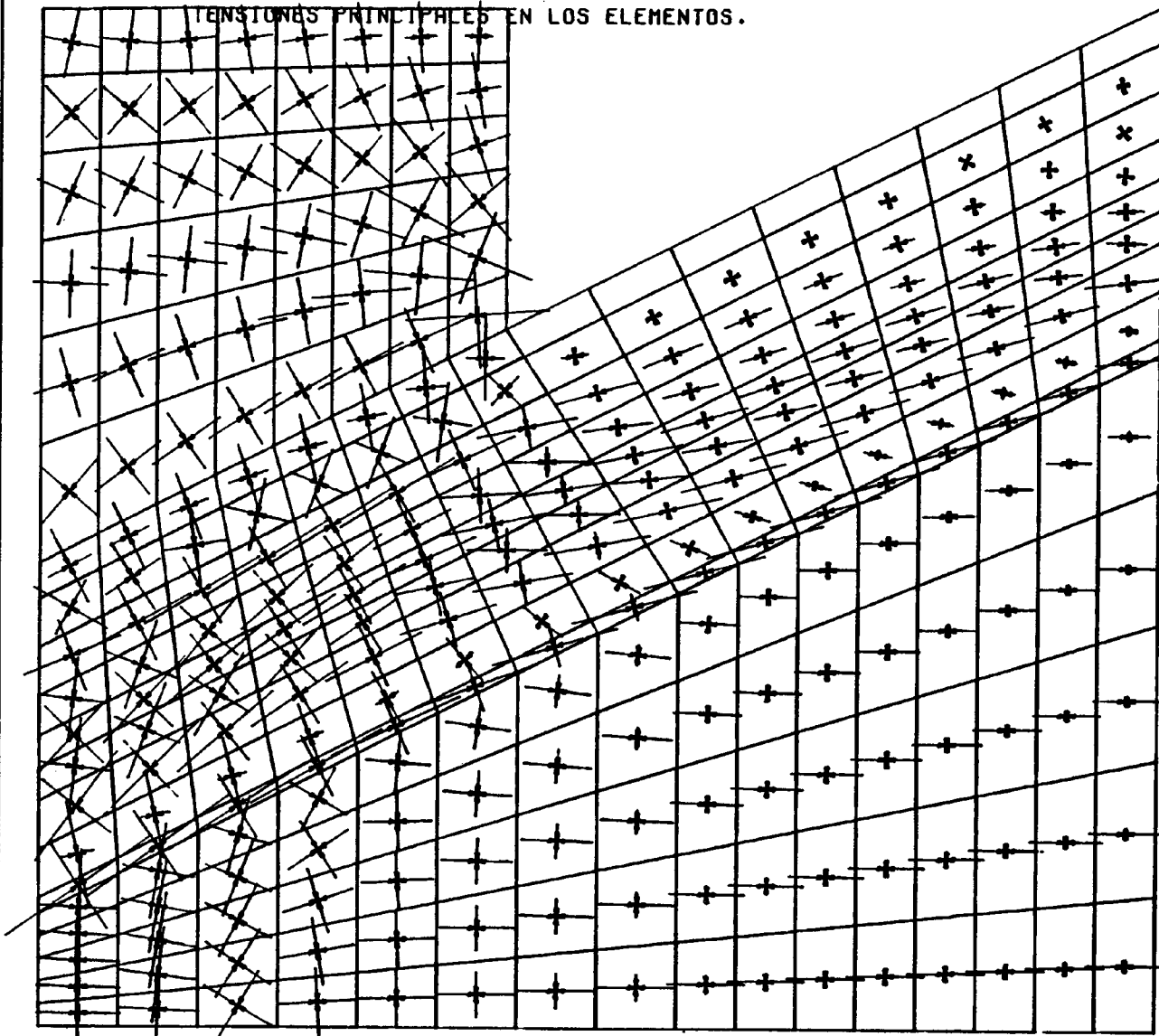


- 12 -

GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS+PPROP
HIPOT6. SIGI= 1.2*P. COL. SIGH= 0.7*SIGV. QI=14500.

0000

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

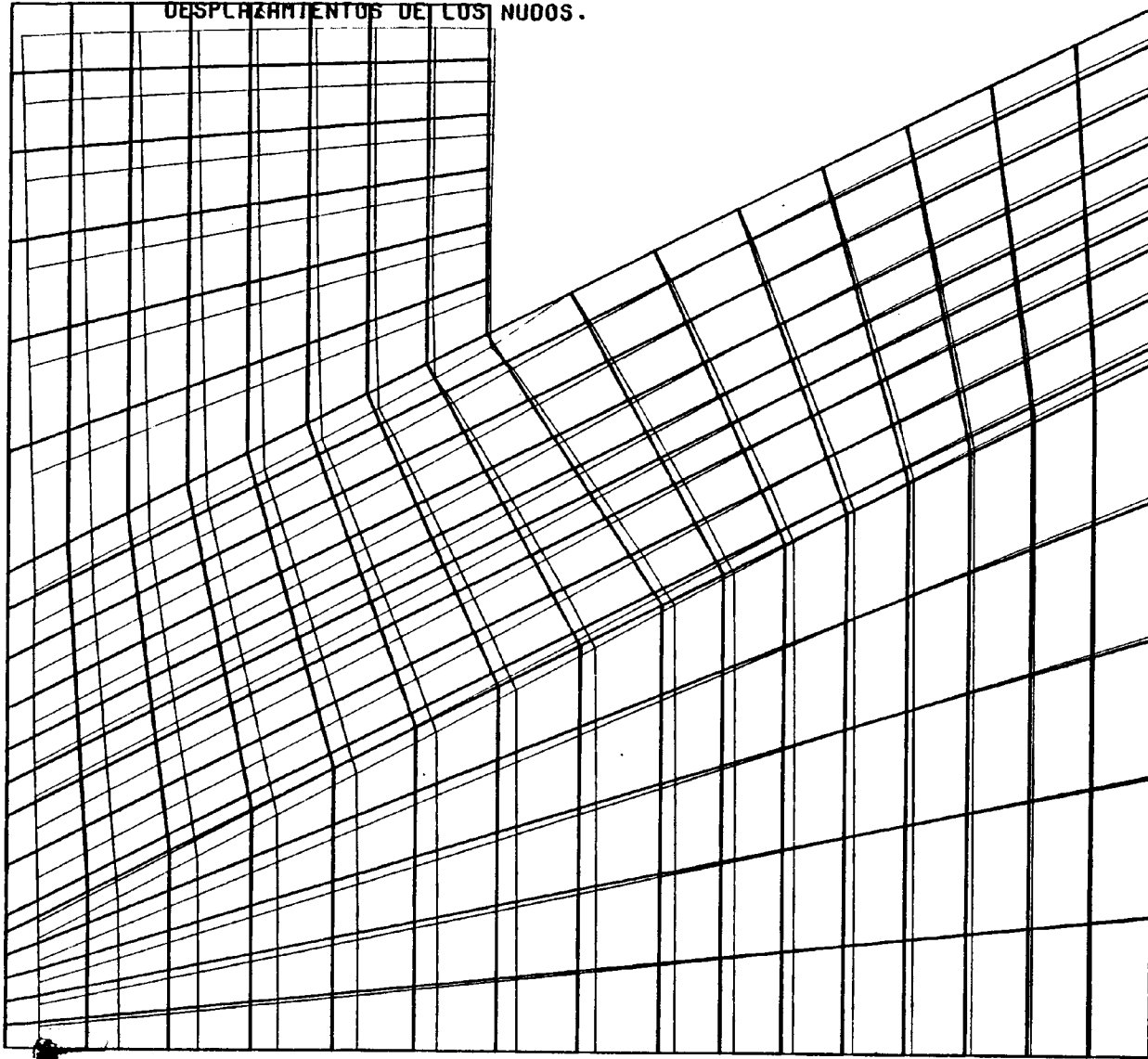


- 13 -

GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS+PPROP.
HIPOT 7. SIGI= 1.2 * P. COL. SIGH= 1.0 * SIGV. Q1=6200.

0000

DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.

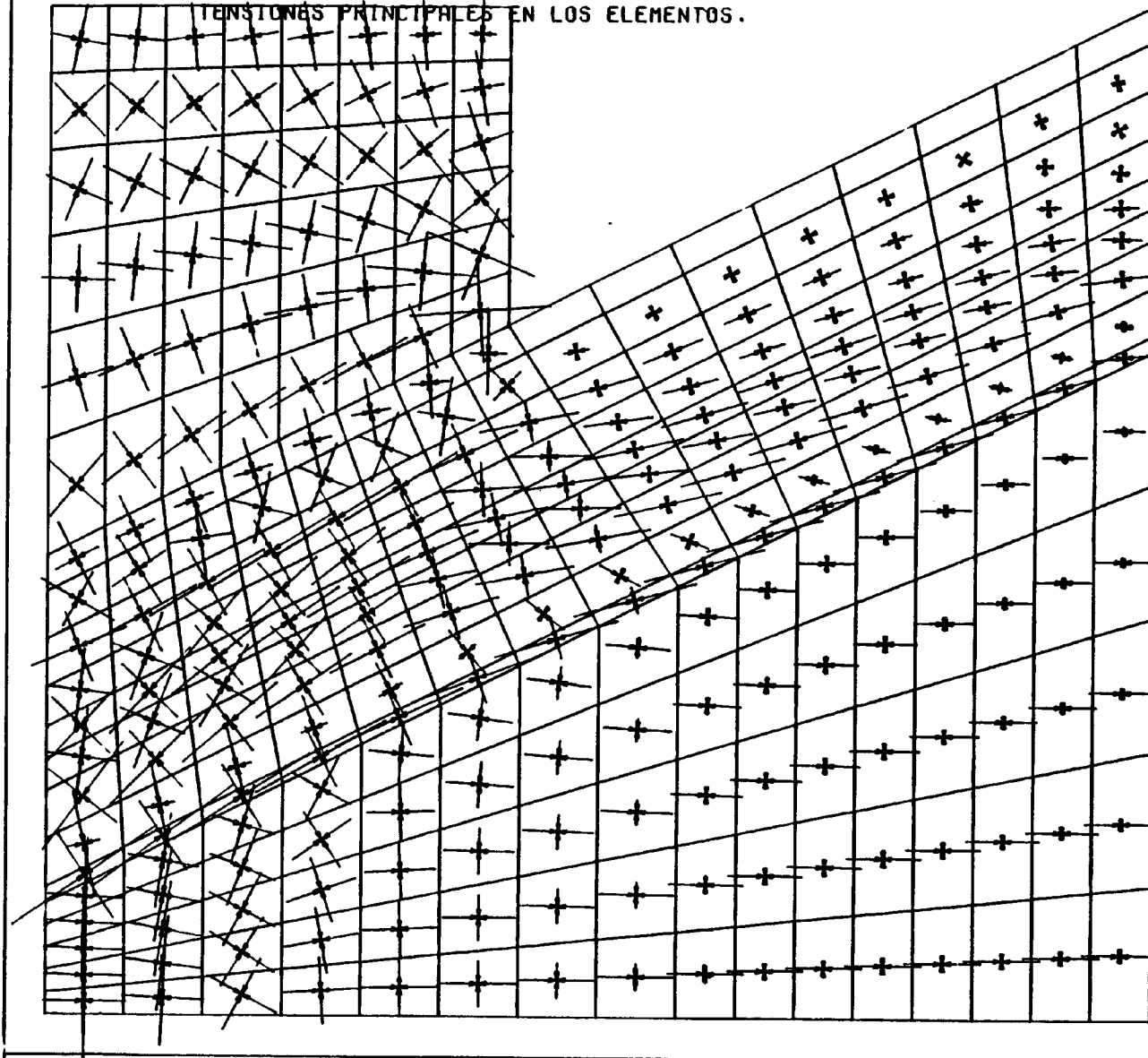


- 14 -

GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2.ª HIPOTESIS PROP.
HIPOT 7. $SIGI = 1.2 \cdot P$. COL. $SIGH = 1.0 \cdot SIGV$. $QI = 6200$.

0000

TENSIONES PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS.

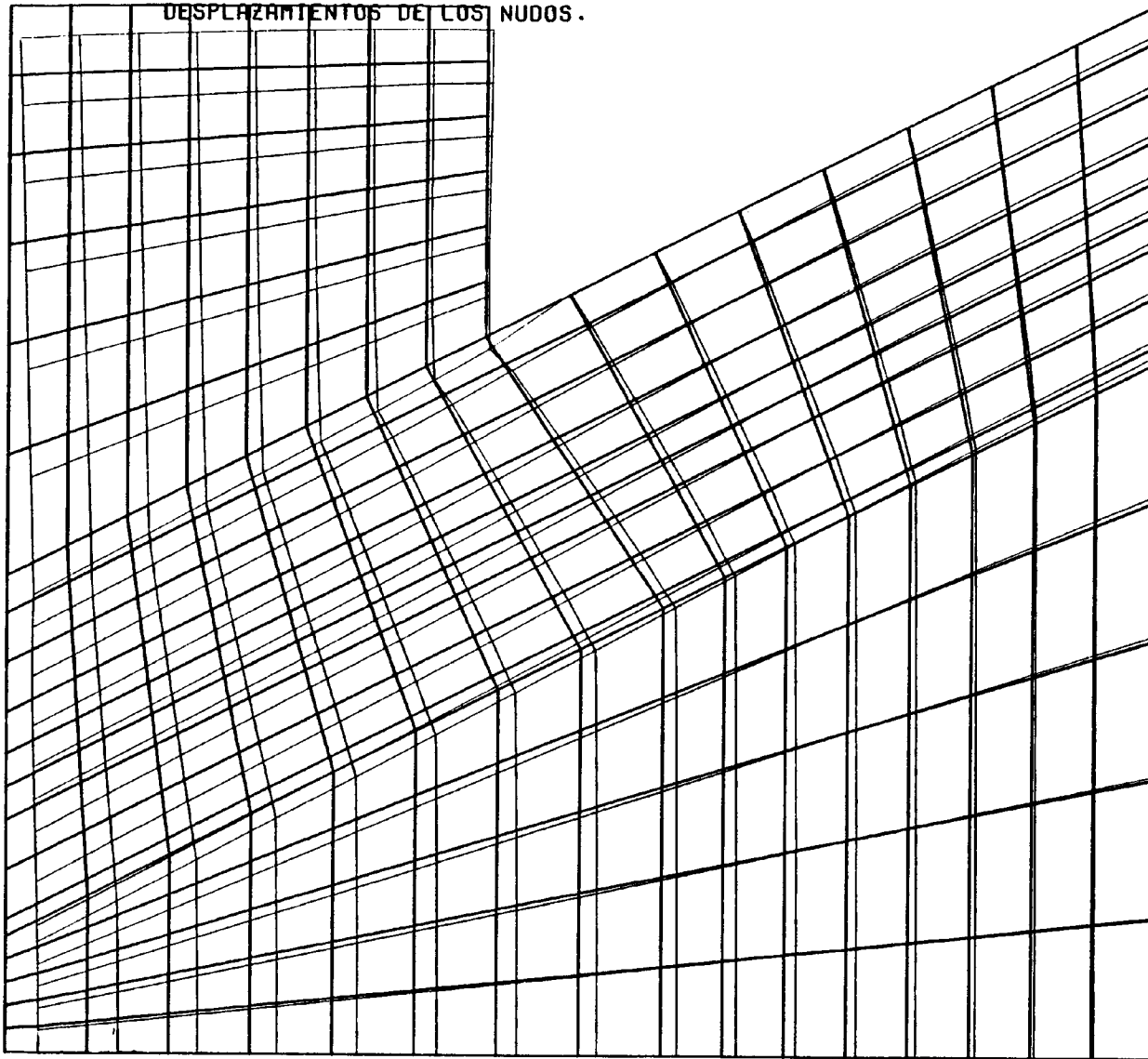


- 15 -

GALERIA DE PENARROYA. PASADA 2. 8 HIPOTESIS+PPROP.
HIPOT8. SIGI= 1.2*P. COL. SIGH= 1.0*SIGV. QI=14500.

0000

DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS.



- 16 -

GALERIA DE PENARROYA: PASADA 2: 8 HIPOTESIS+PPROP.
HIPOT8. SIGI= 1.2*P: COL. SICH= 1.0*SIGV. Q1=14500.

0000

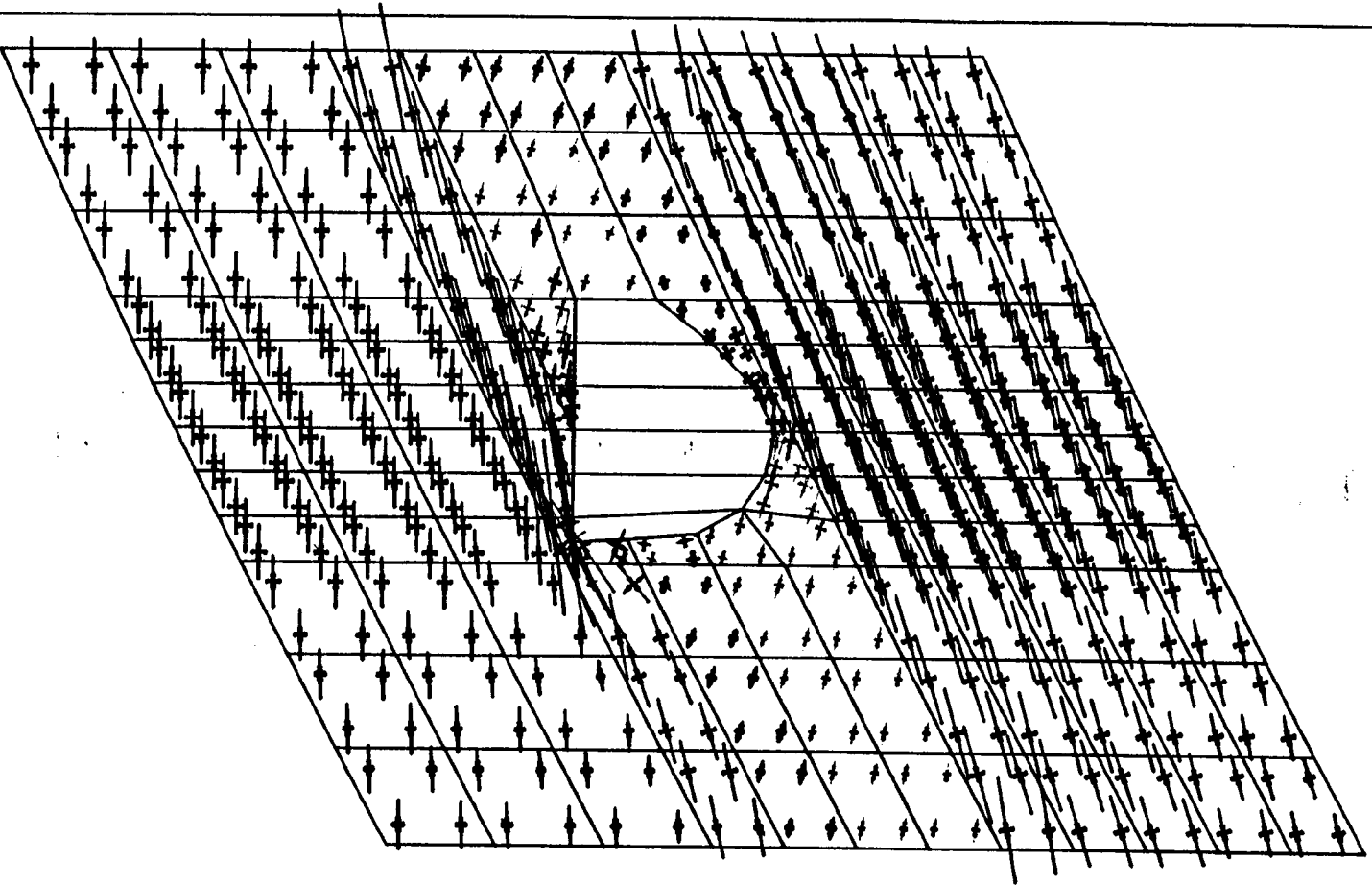
ANEXO 10

ESTADO TENSO-DEFORMACIONAL ELASTO-PLASTICO DE
LAS POSIBLES SITUACIONES DE LA GALERIA

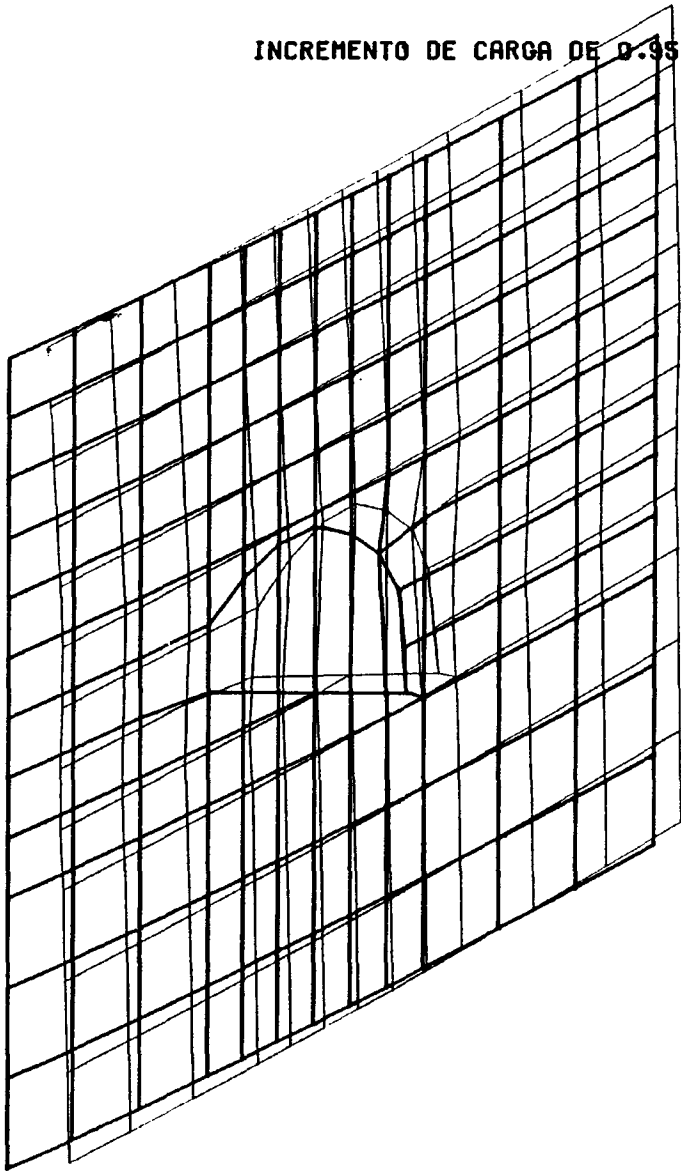
1	13	25	37	49	61	73	85	97	109	121	133
2	14	28	39	50	62	74	86	98	110	122	134
3	15	27	38	51	63	75	87	99	111	123	135
4	16	29	40	52	64	76	88	100	112	124	136
5	17	30	41	53	65	77	89	101	113	125	137
6	18	31	42	54	66	78	90	102	114	126	138
7	19	32	43	55	67	79	91	103	115	127	139
8	20	33	44	56	68	80	92	104	116	128	140
9	21	34	45	57	69	81	93	105	117	129	141
10	22	35	46	58	70	82	94	106	118	130	142
11	23	36	47	59	71	83	95	107	119	131	143
12	24	37	48	60	72	84	96	108	120	132	144

PENABROYA, MODELO PARA ANALISIS LOCAL PLASTICO.
GALLERIA ORIGINAL. POSICION I

PENETRACION, MODELO PARA ANÁLISIS LOCAL PLÁSTICO.
POSICION 1 EN GALERIA EN MATERIAL B.



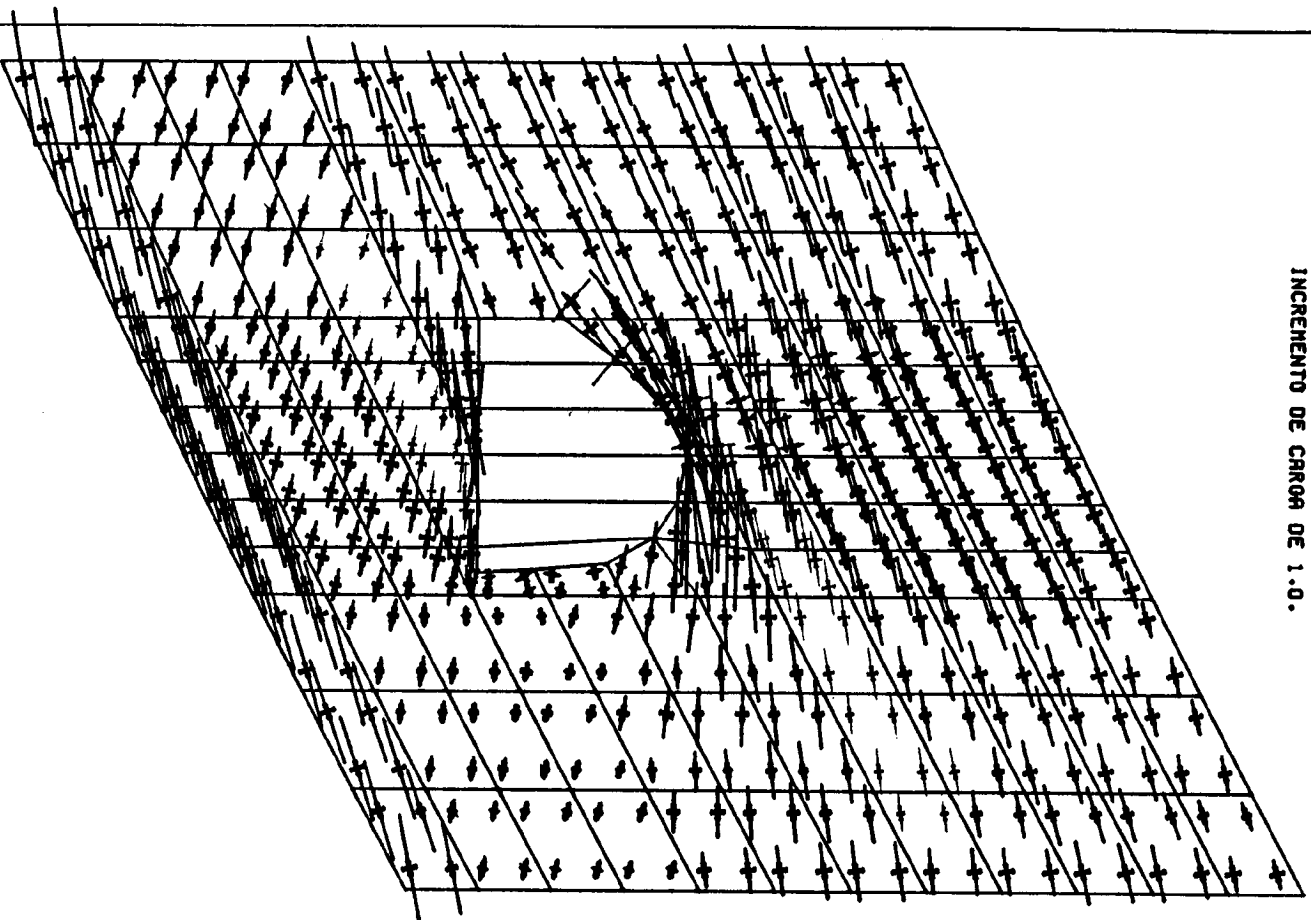
INCREMENTO DE CARGA DE 0.95



- 3 -

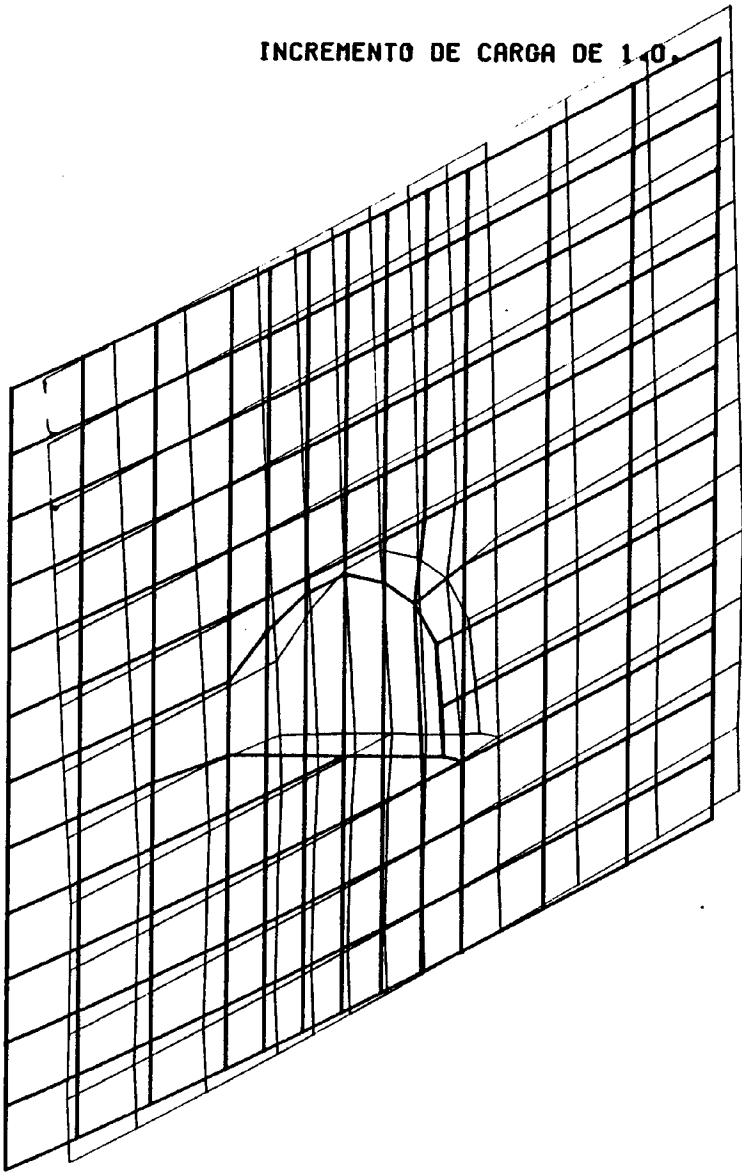
PENORROYA, MODELO PARA ANALISIS LOCAL PLASTICO.
POSICION 1 ==> GALERIA EN MATERIAL 6.

INCREMENTO DE CARGA DE 1.0.



SENERPIVA HQQEDD PARA ANALISIS LOCAL PLASTICO.

INCREMENTO DE CARGA DE 1.0.

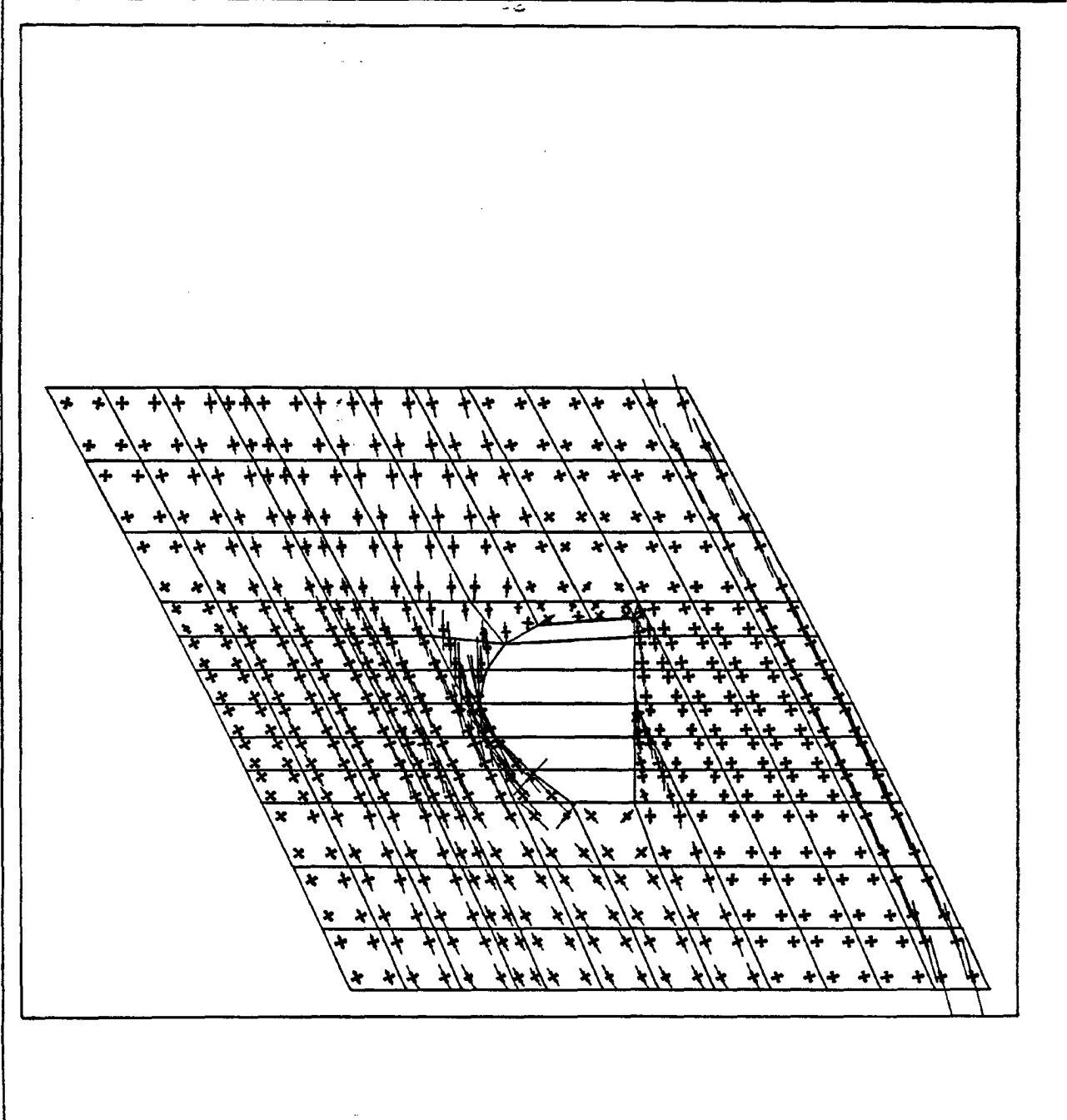


- 9 -

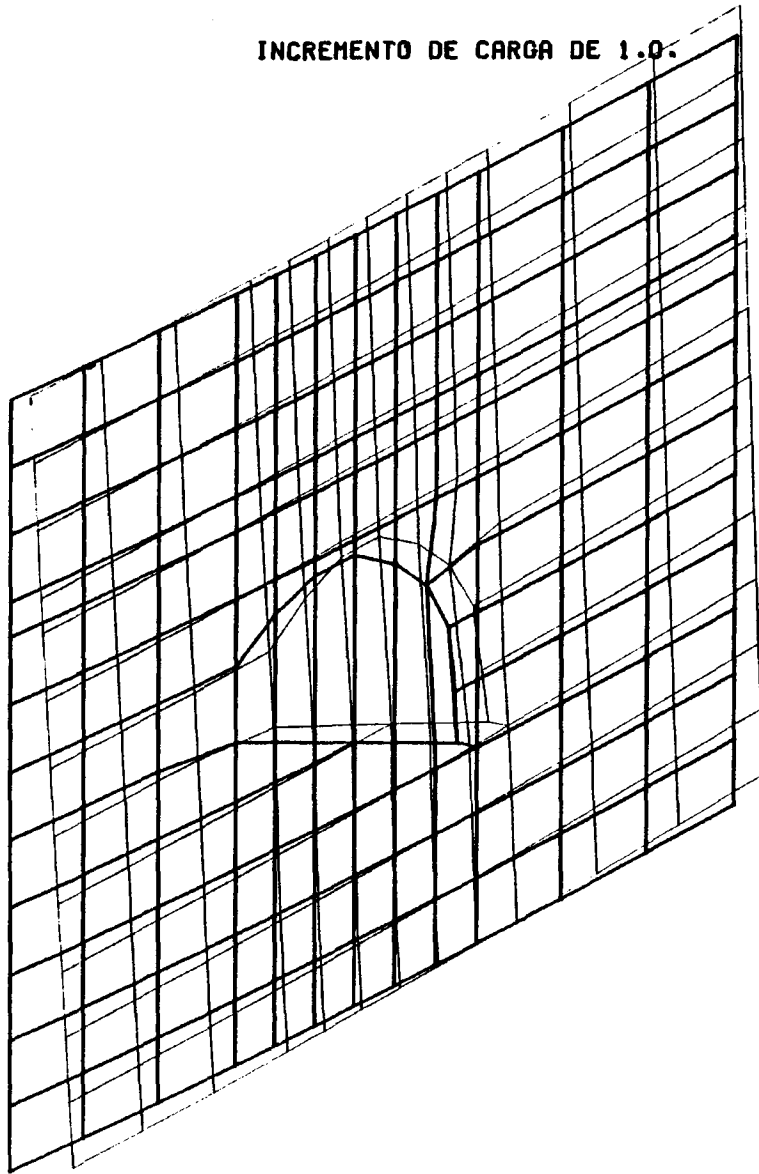
PENARROYA, MODELO PARA ANALISIS LOCAL PLASTICO.
GALERIA EN MATERIAL 4.

1	13	25	37	49	61	73	85	97	109	121	133
2	14	26	38	50	62	74	86	98	110	122	134
3	15	27	39	51	63	75	87	99	111	123	135
4	16	28	40	52	64	76	88	100	112	124	136
5	17	29	41	53	65	77	89	101	113	125	137
6	18	30	42	54	66	78	90	102	114	126	138
7	19	31	43	55	67	79	91	103	115	127	139
8	20	32	44	56	68	80	92	104	116	128	140
9	21	33	45	57	69	81	93	105	117	129	141
10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	130	142
11	23	35	47	59	71	83	95	107	119	131	143
12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144

BENARROYA, MODELO PARA ANALISIS LOCAL PLASTICO.
GALERIA EN POSICION 3.

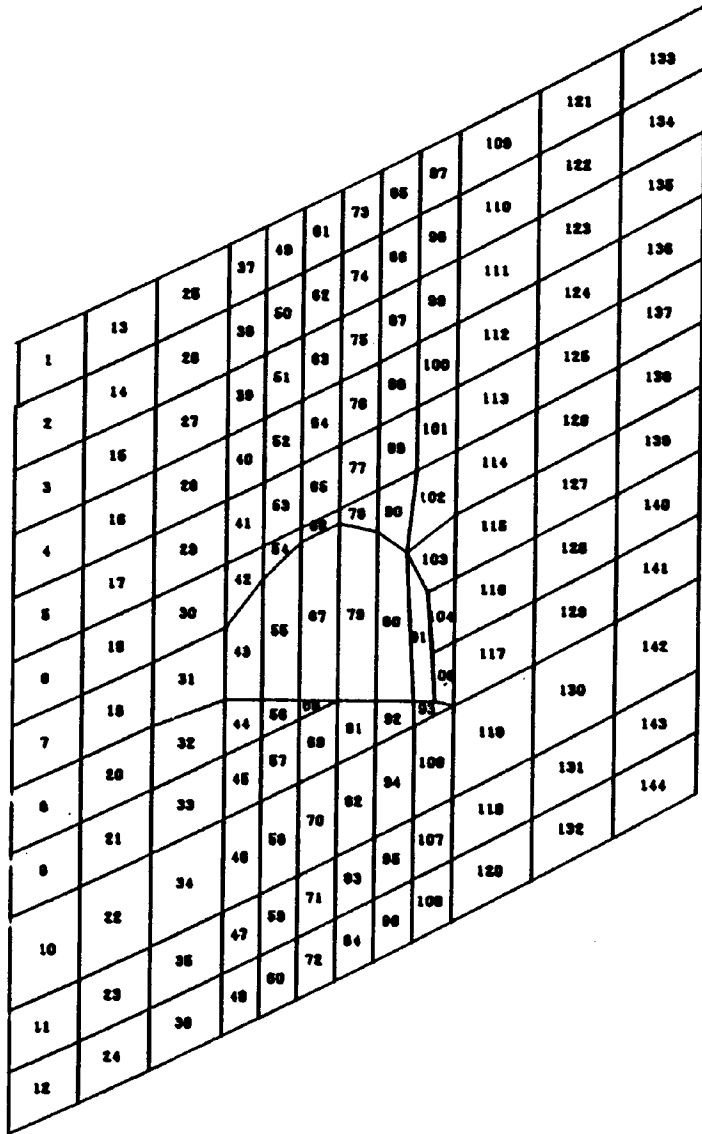


INCREMENTO DE CARGA DE 1.0.



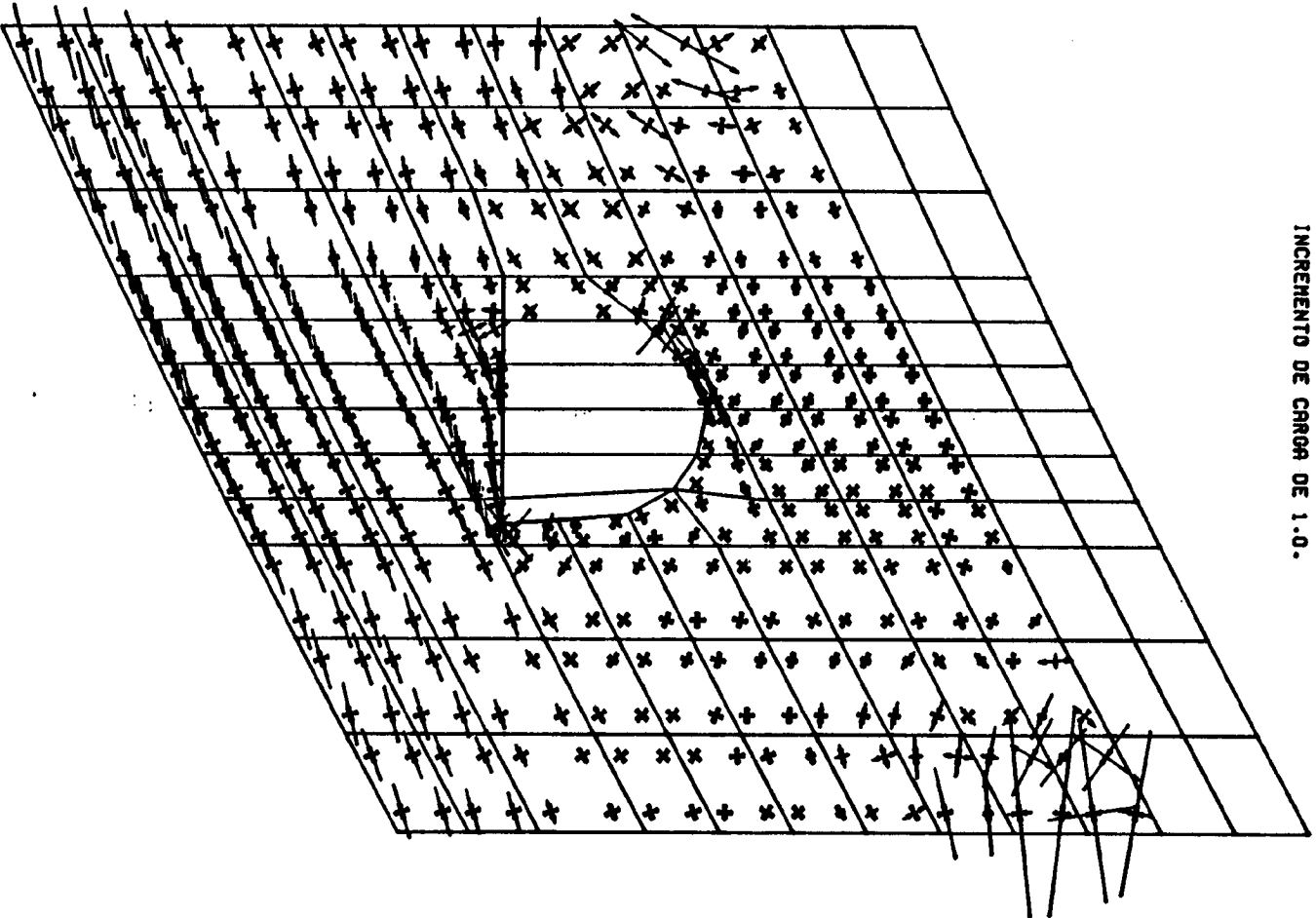
- 9 -

PENARROYA. MODELO PARA ANALISIS LOCAL PLASTICO.
GALERIA EN POSICION 3.



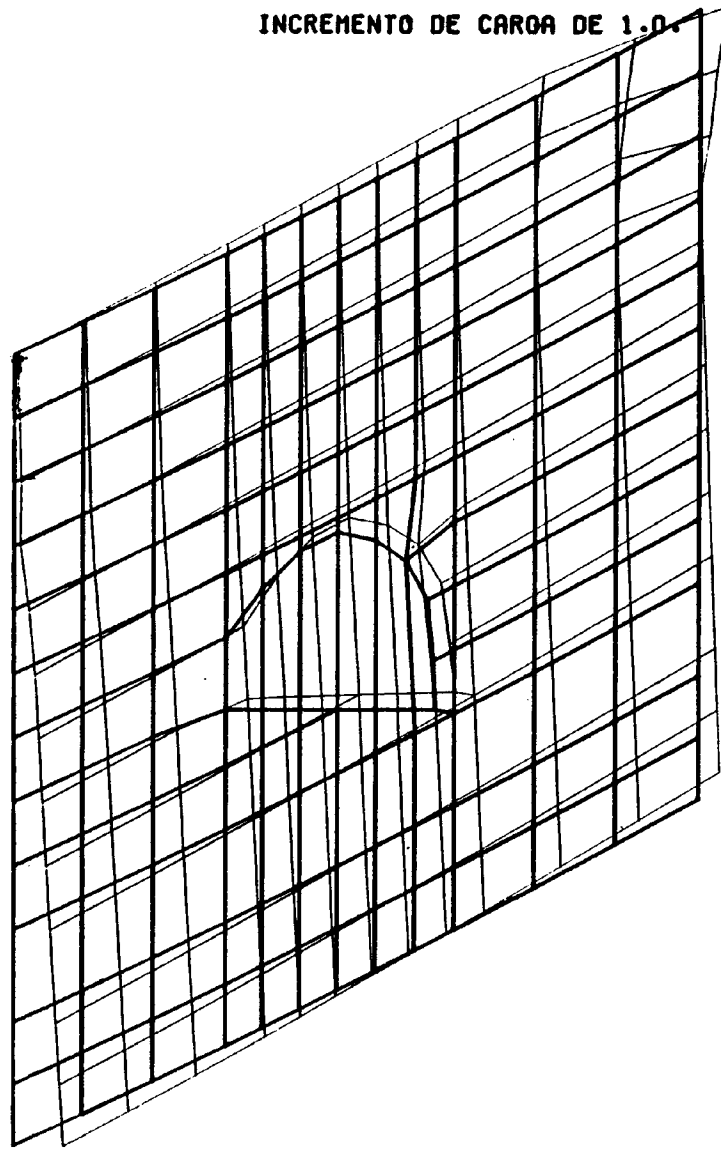
LA MERUYA, MODELO PARA ANALISIS LOCAL PLASTICO.
GALERIA EN POSICION 4.

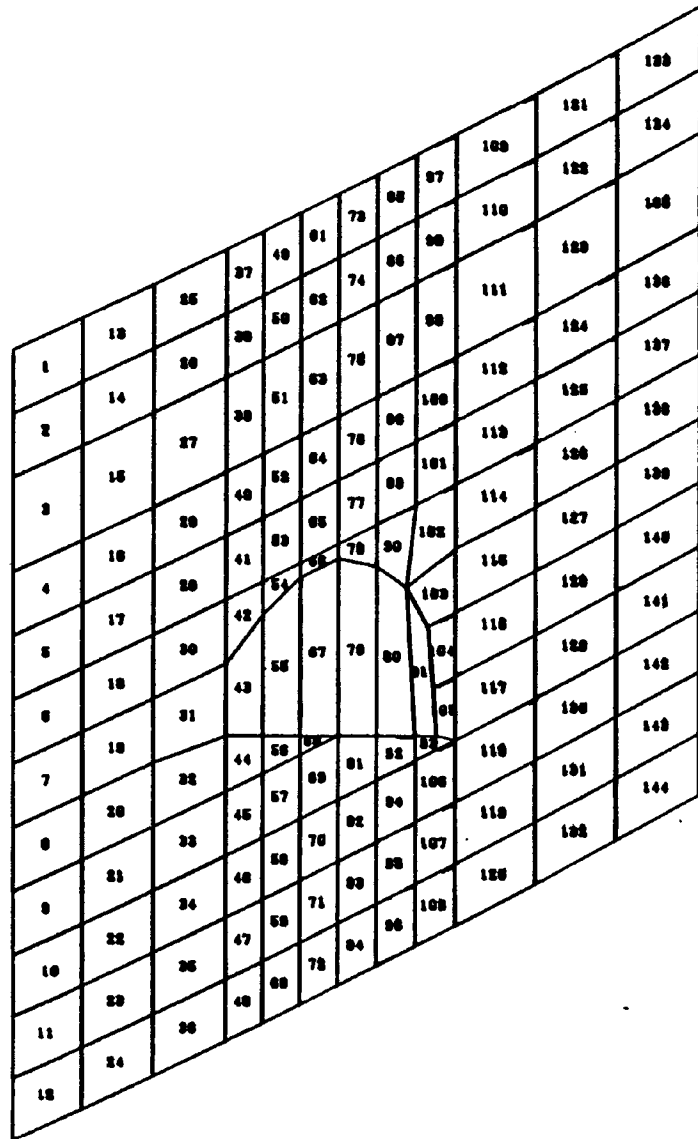
INCREMENTO DE CARGA DE 1.0.



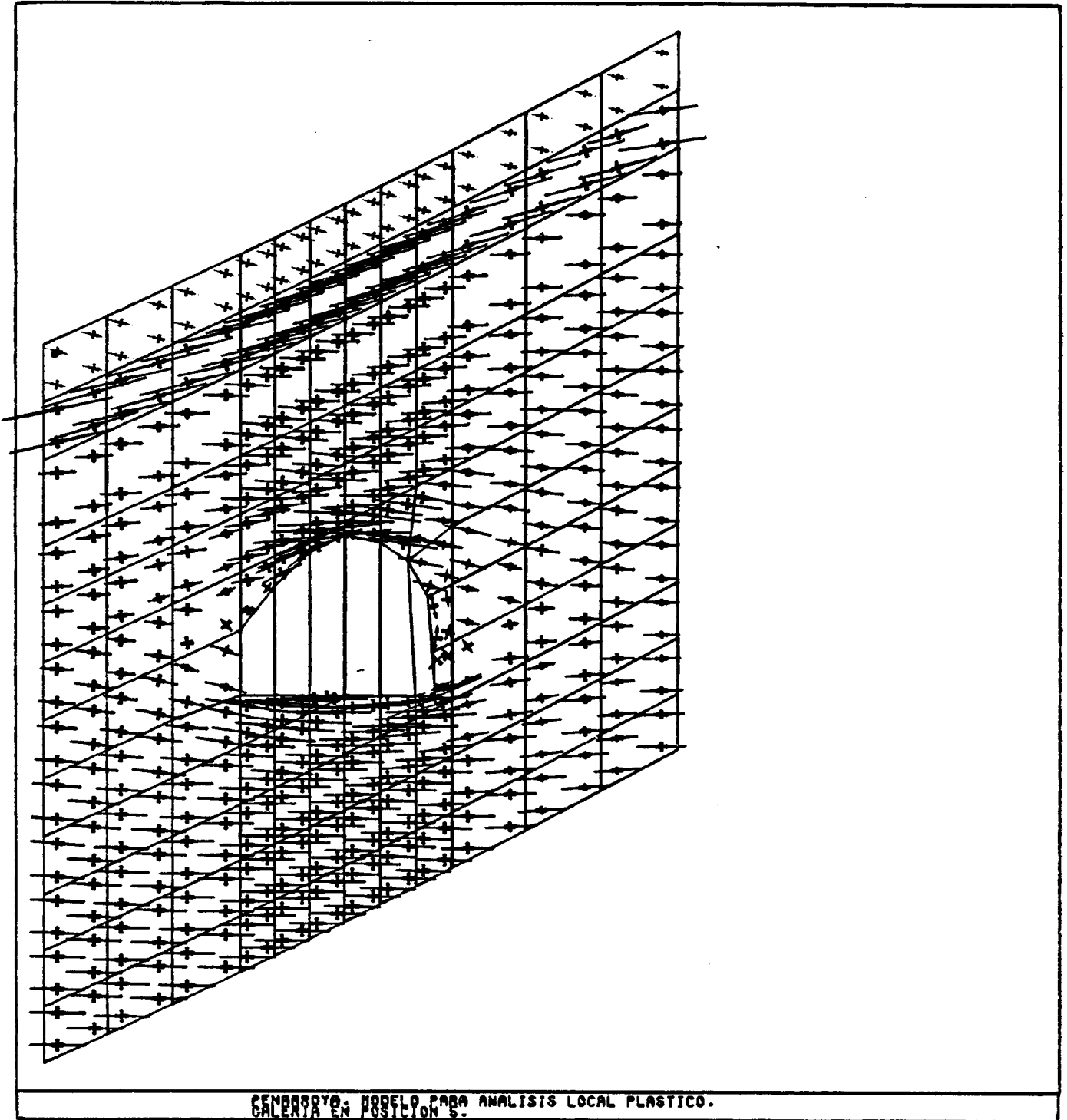
GENERAR LA PROYECCION.
ANALISIS LOCAL PLASTICO.

INCREMENTO DE CARGA DE 1.0.

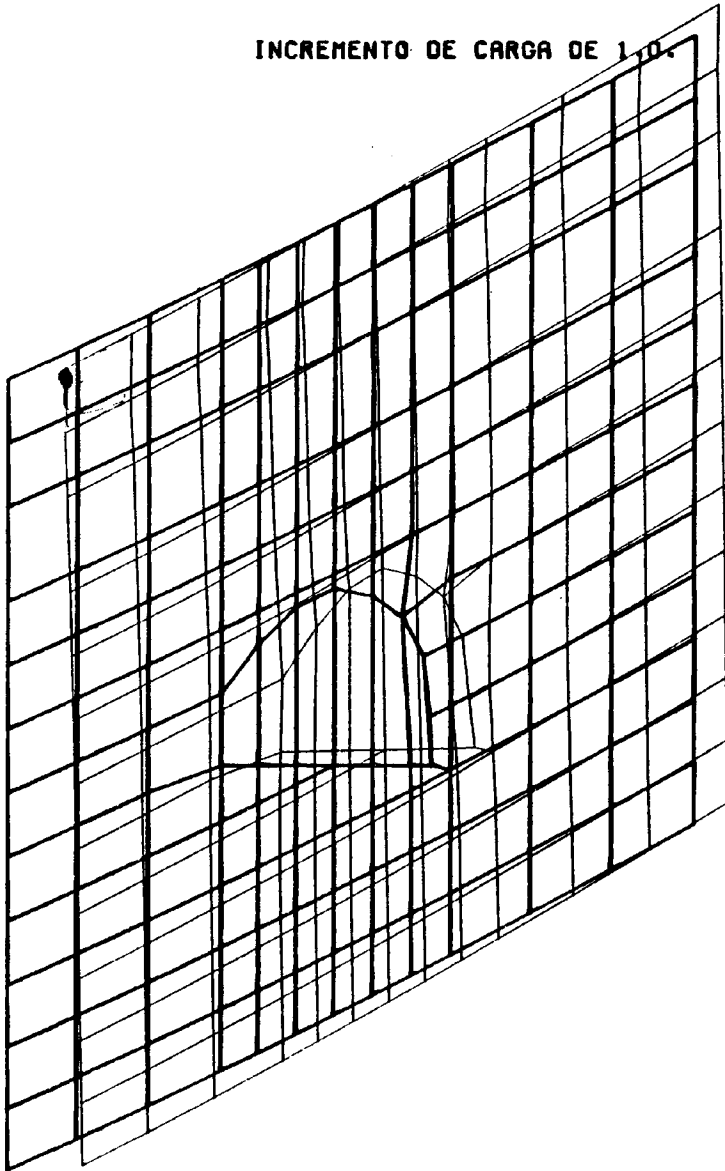




PENARROYA: MODELO PARA ANALISIS LOCAL PLASTICO.
 GALERIA EN POSICION 5.



INCREMENTO DE CARGA DE 1.0.

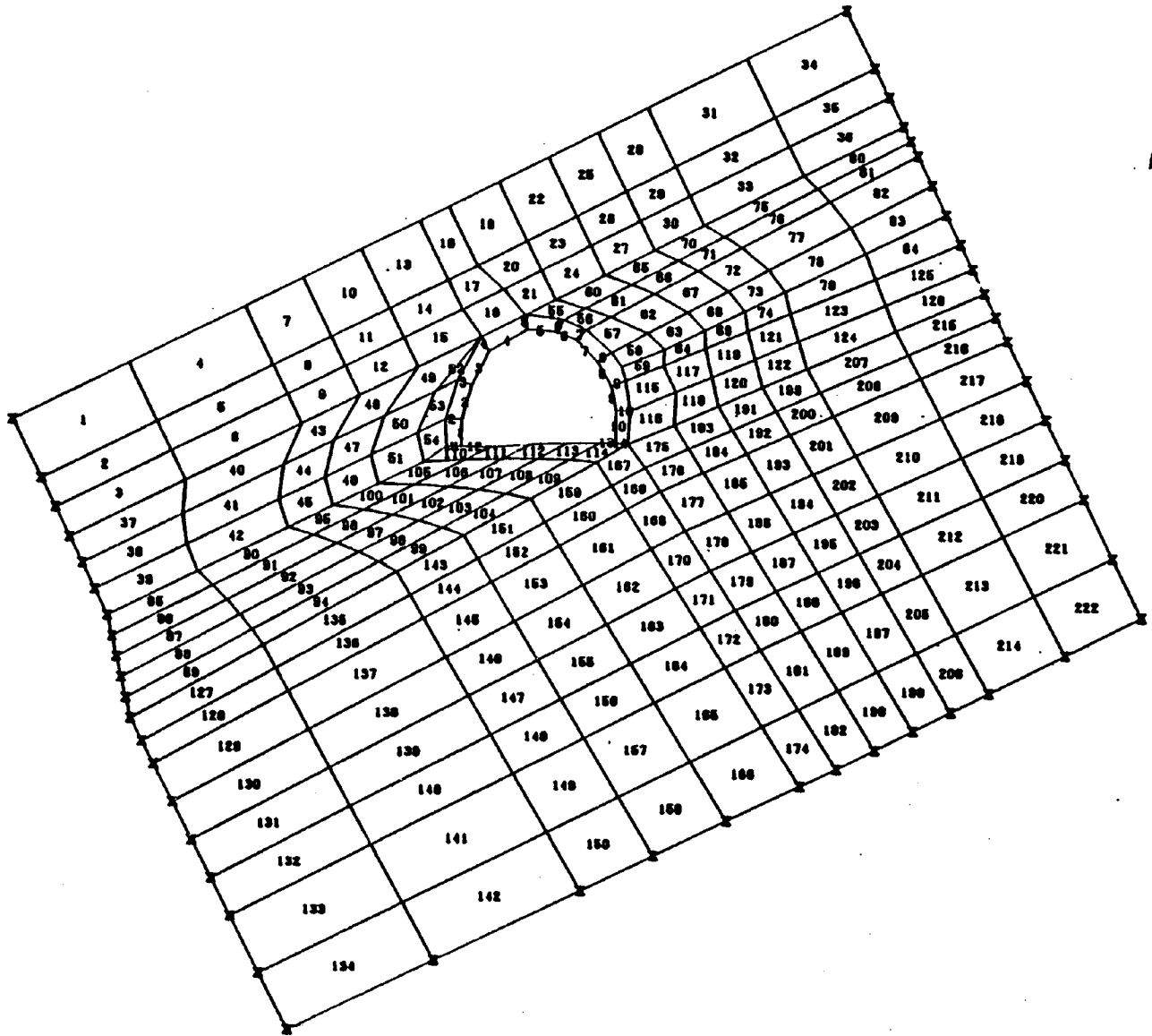


- 15 -

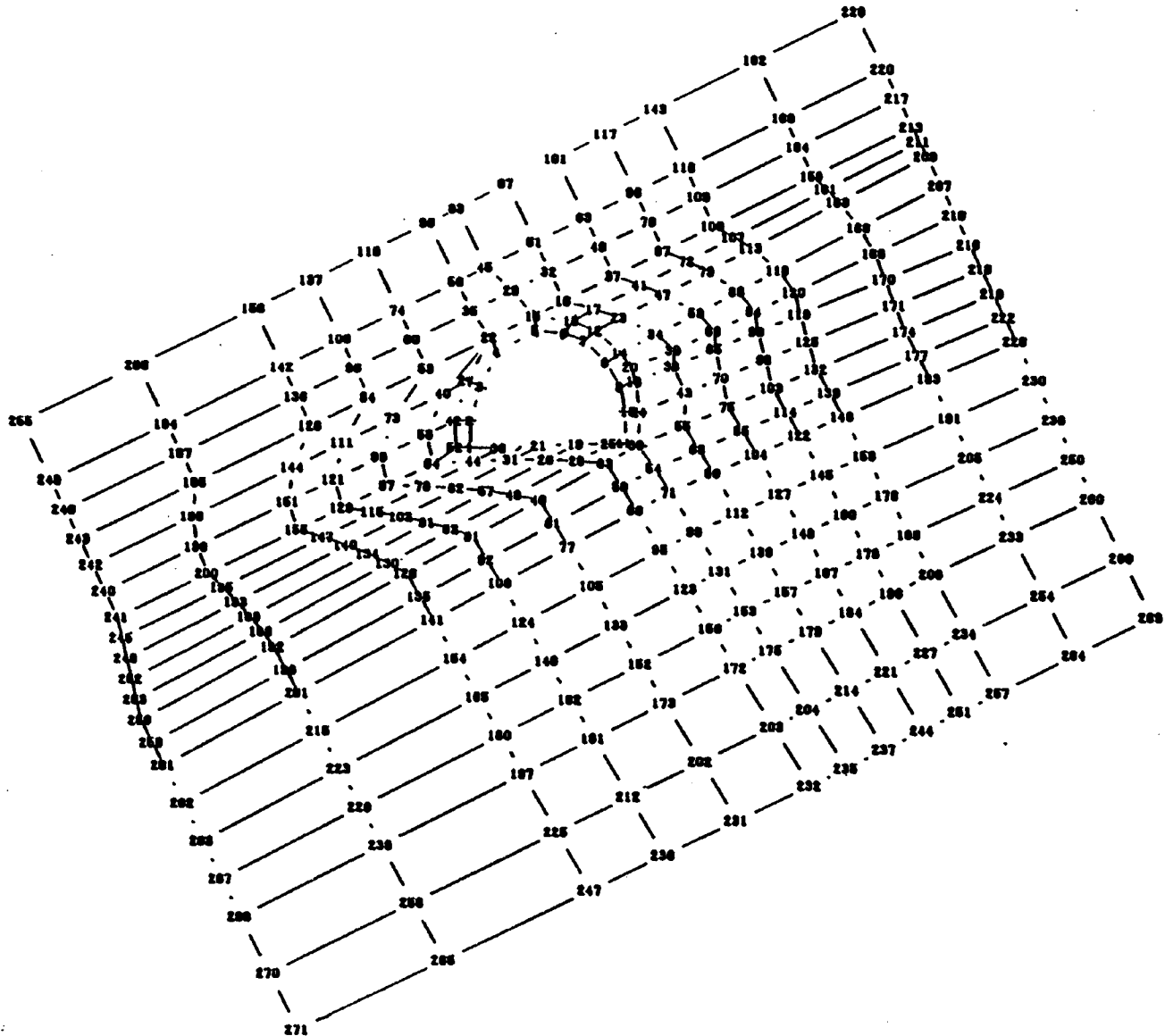
RENABROYA: MODELO PARA ANALISIS LOCAL PLASTICO.
GALERIA EN POSICION 5.

ANEXO 11

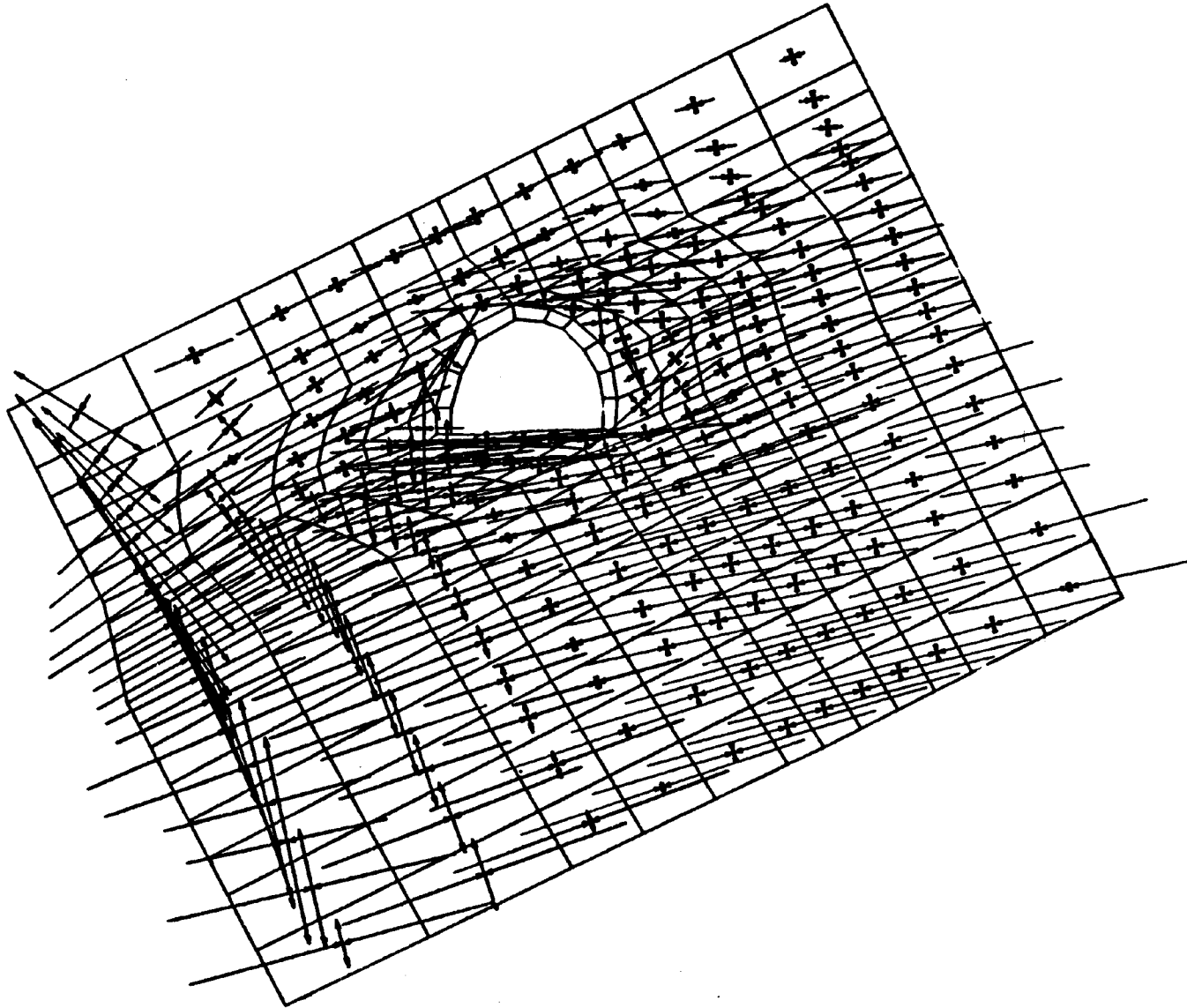
ANALISIS ESTRUCTURAL DE LA ENTIBACION
(CUADROS, PERFILES, ESPACIAMIENTO)



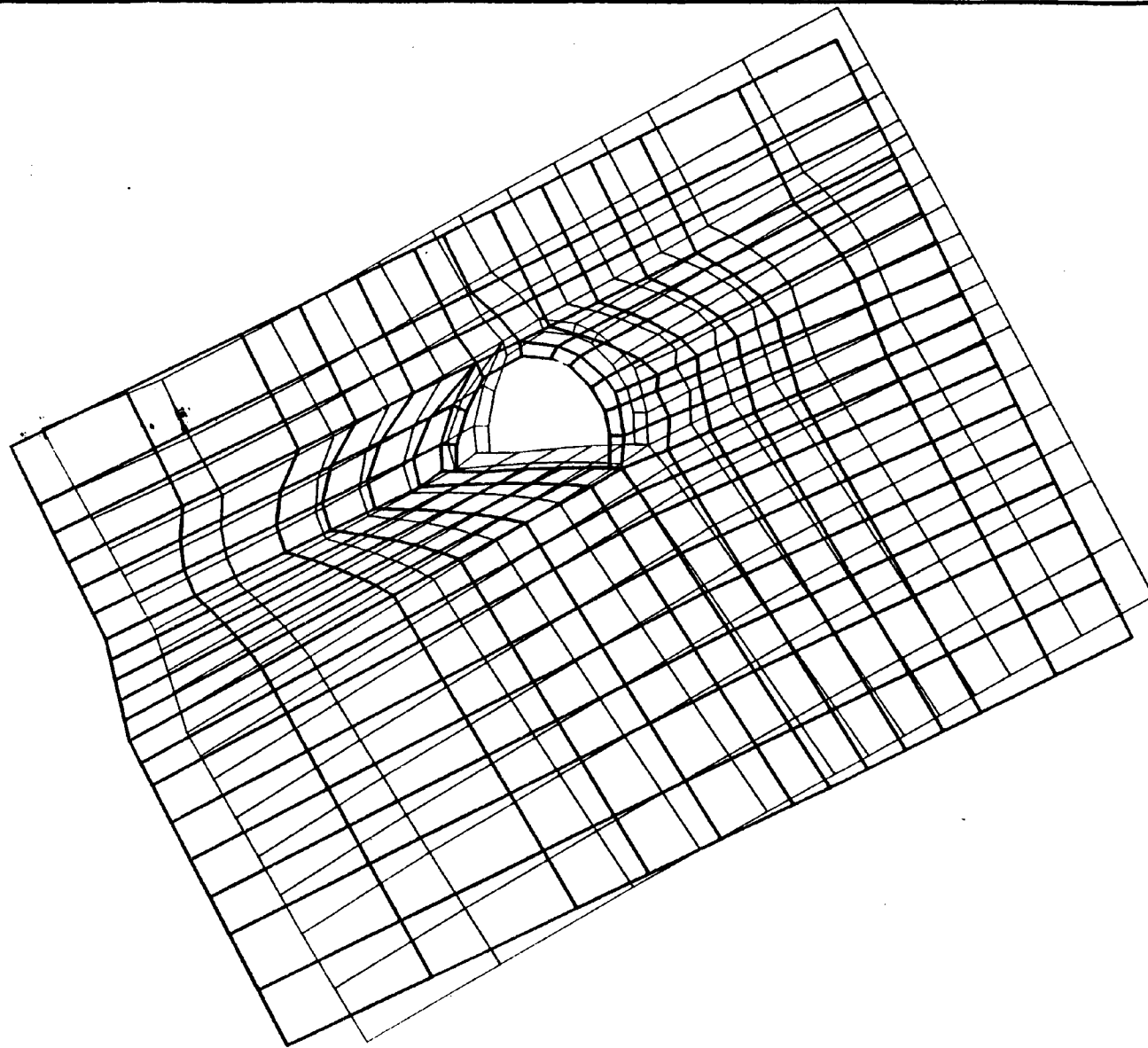
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-A TH-21 A .8 M 0000



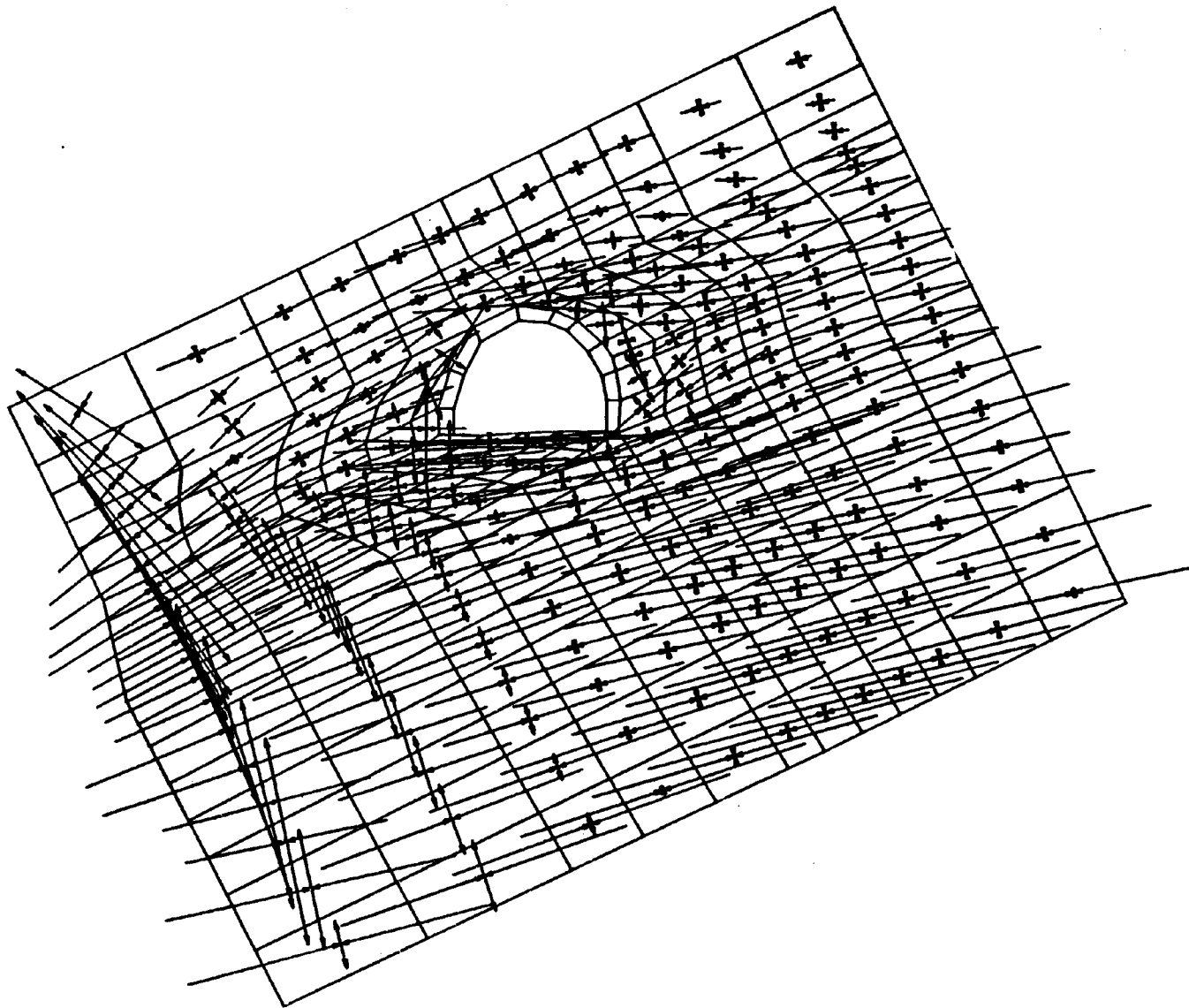
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-A TH-21 A .8 M



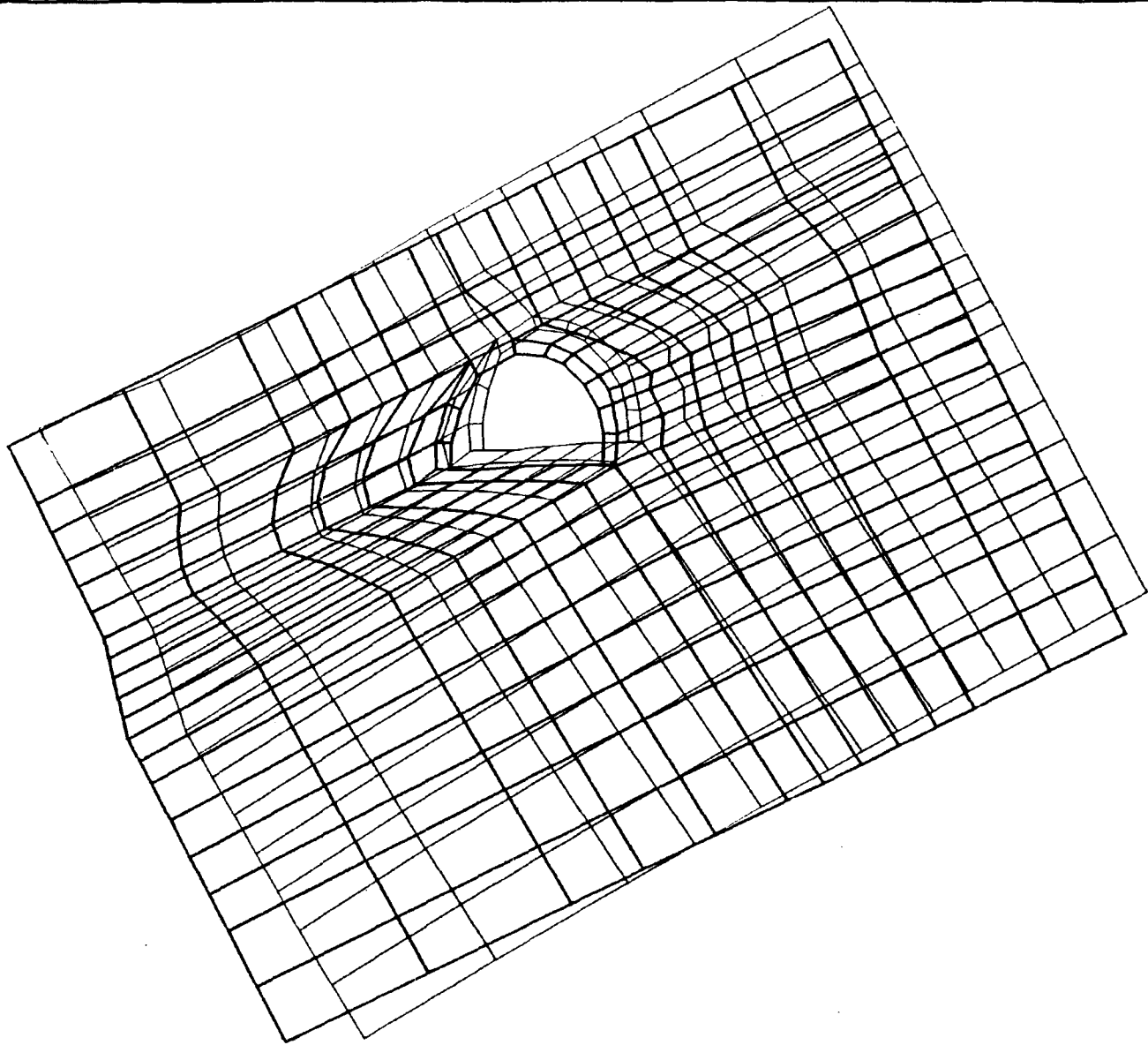
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-A TH-21 A .8 M 0000



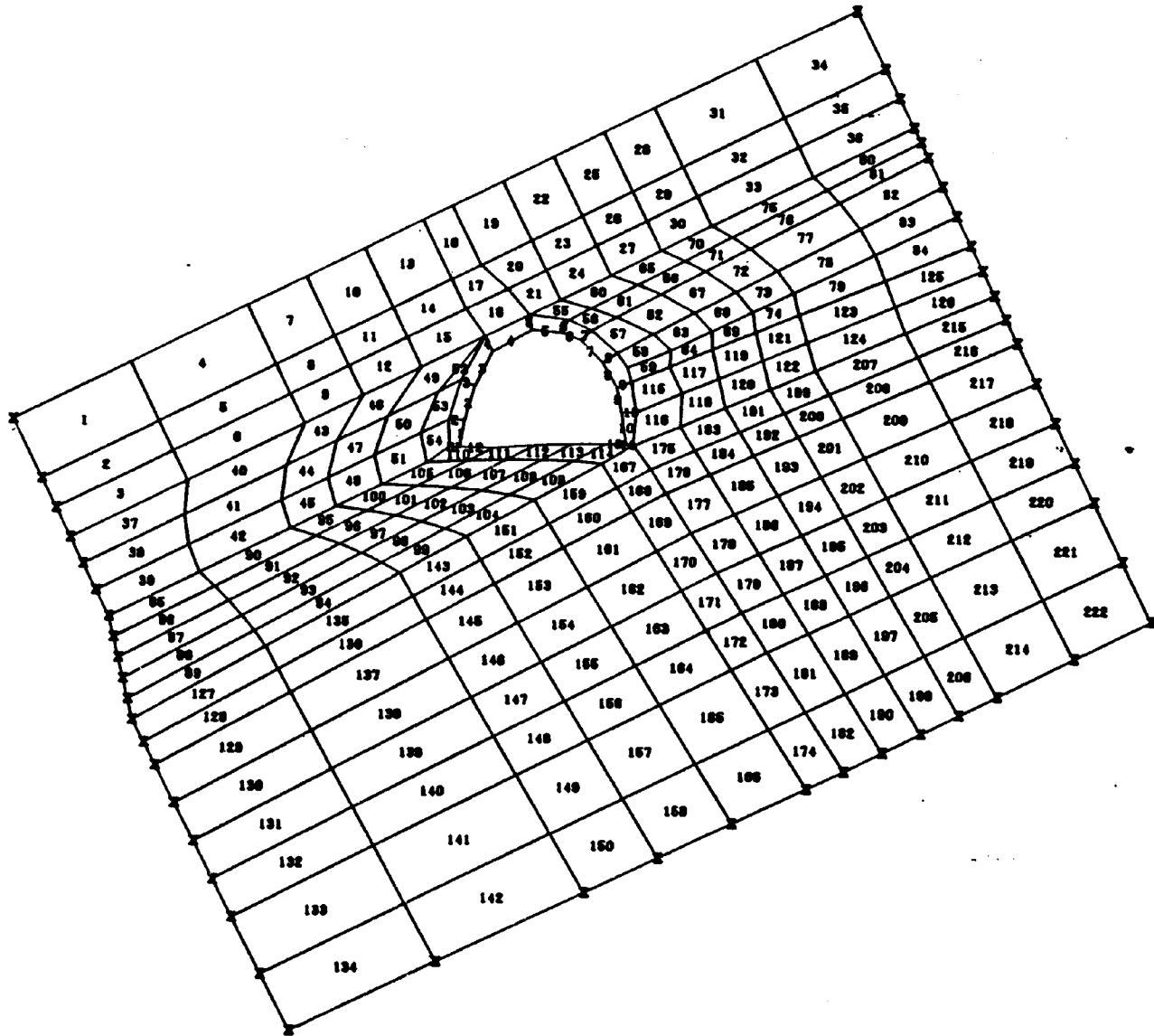
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-A TH-21 A .8 M ●●●●



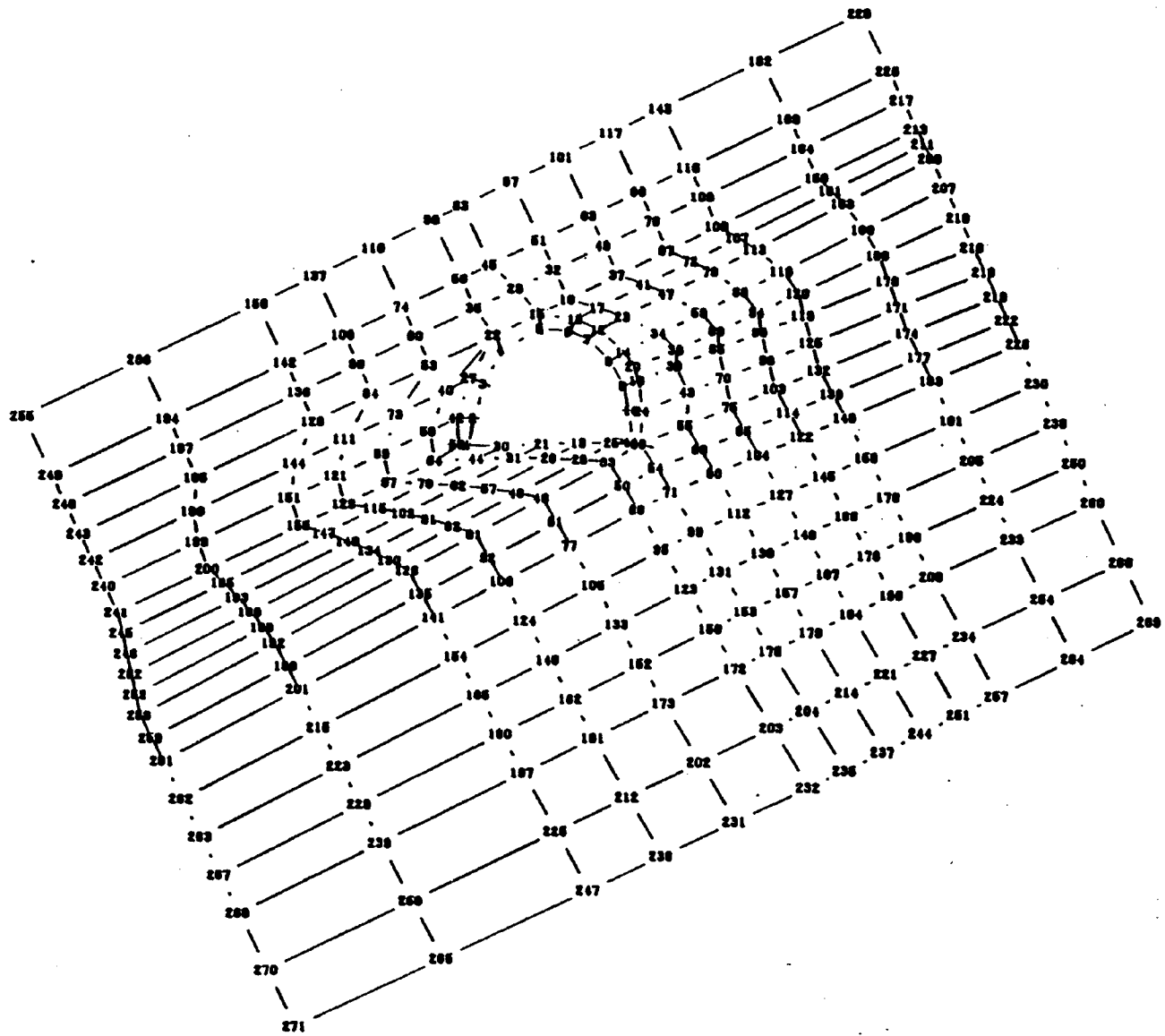
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-A TH-21 A 1.2M □□□□



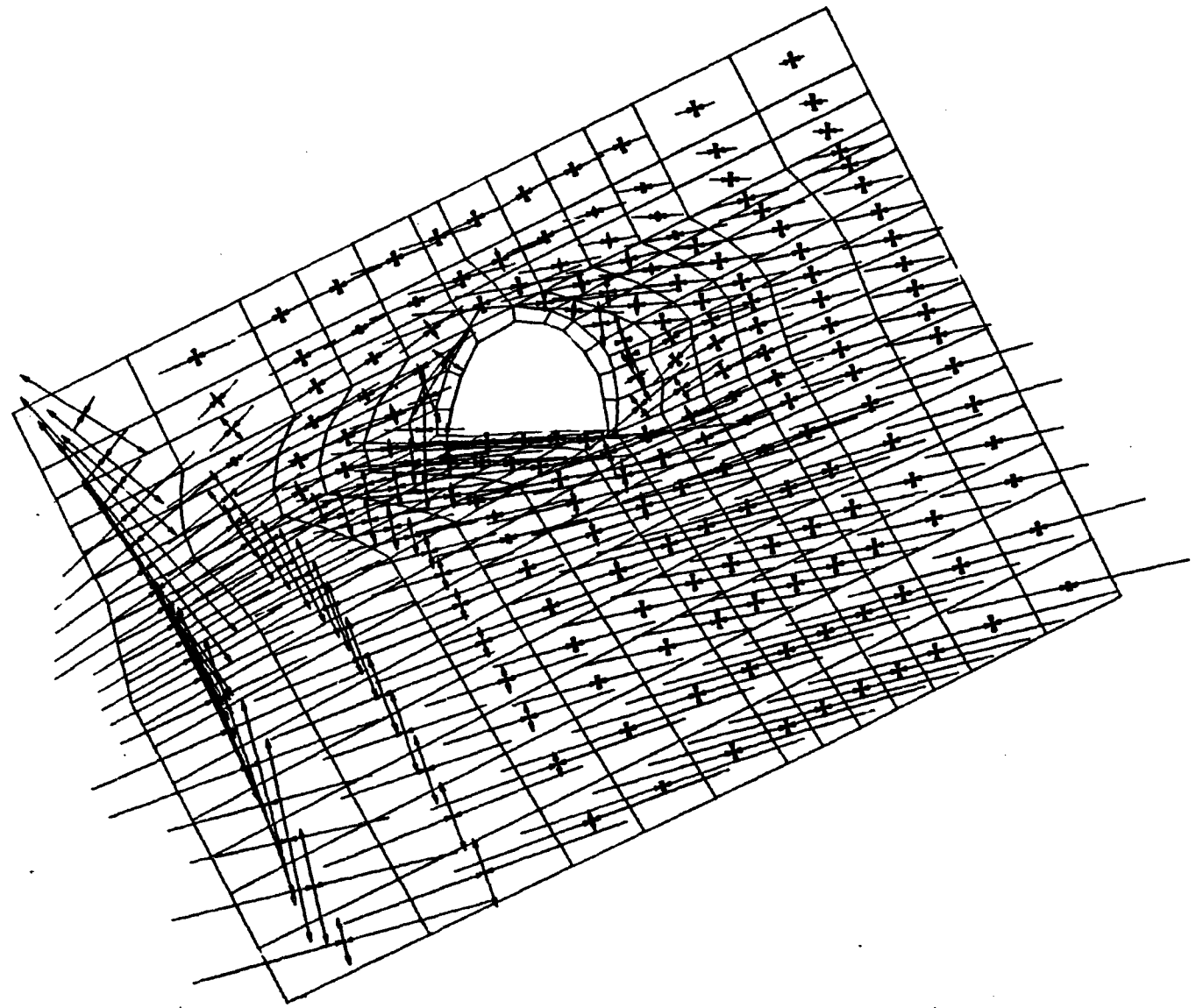
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-A TH-21 A 1.2M



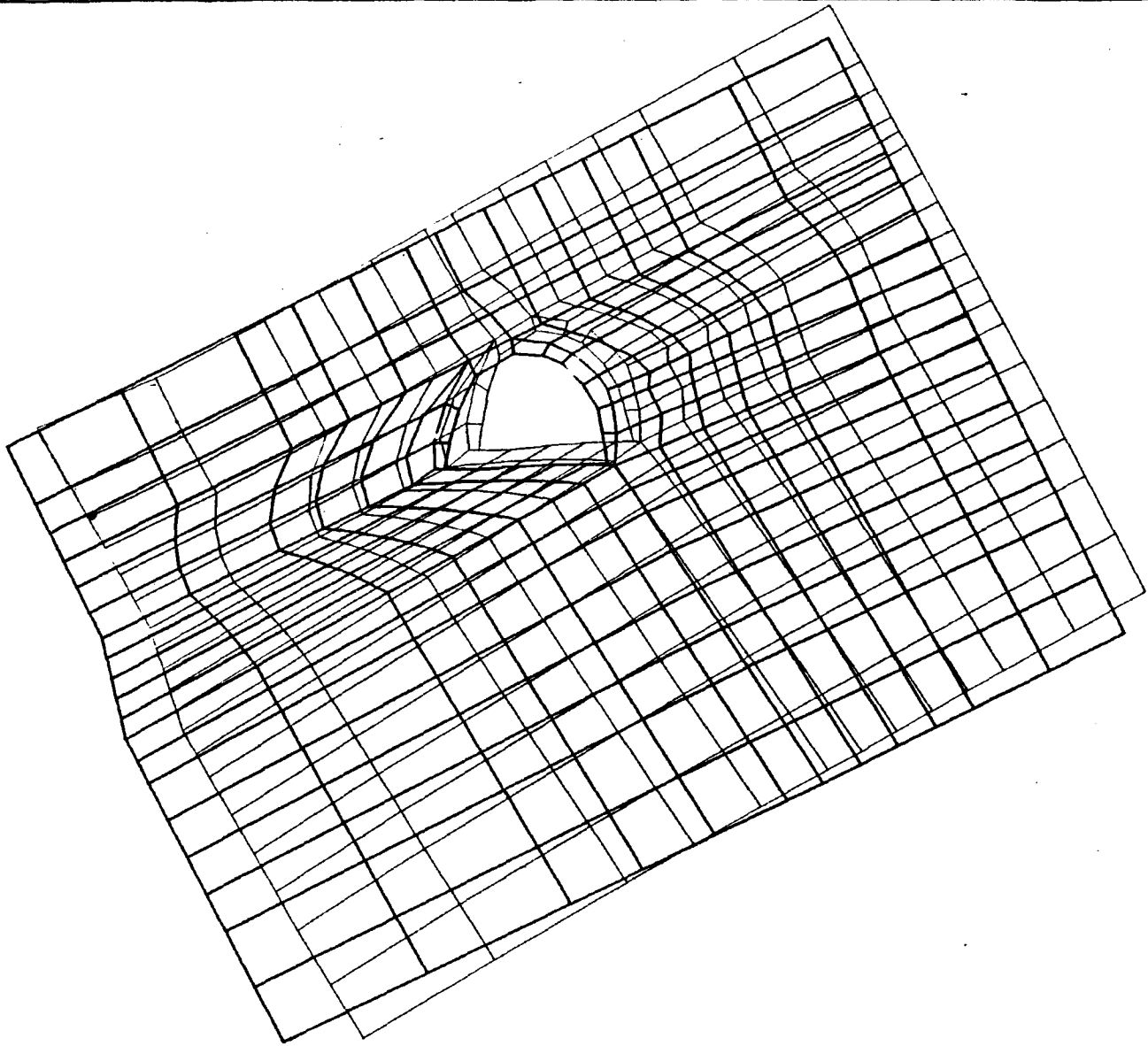
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-B TH-21 A 1. M



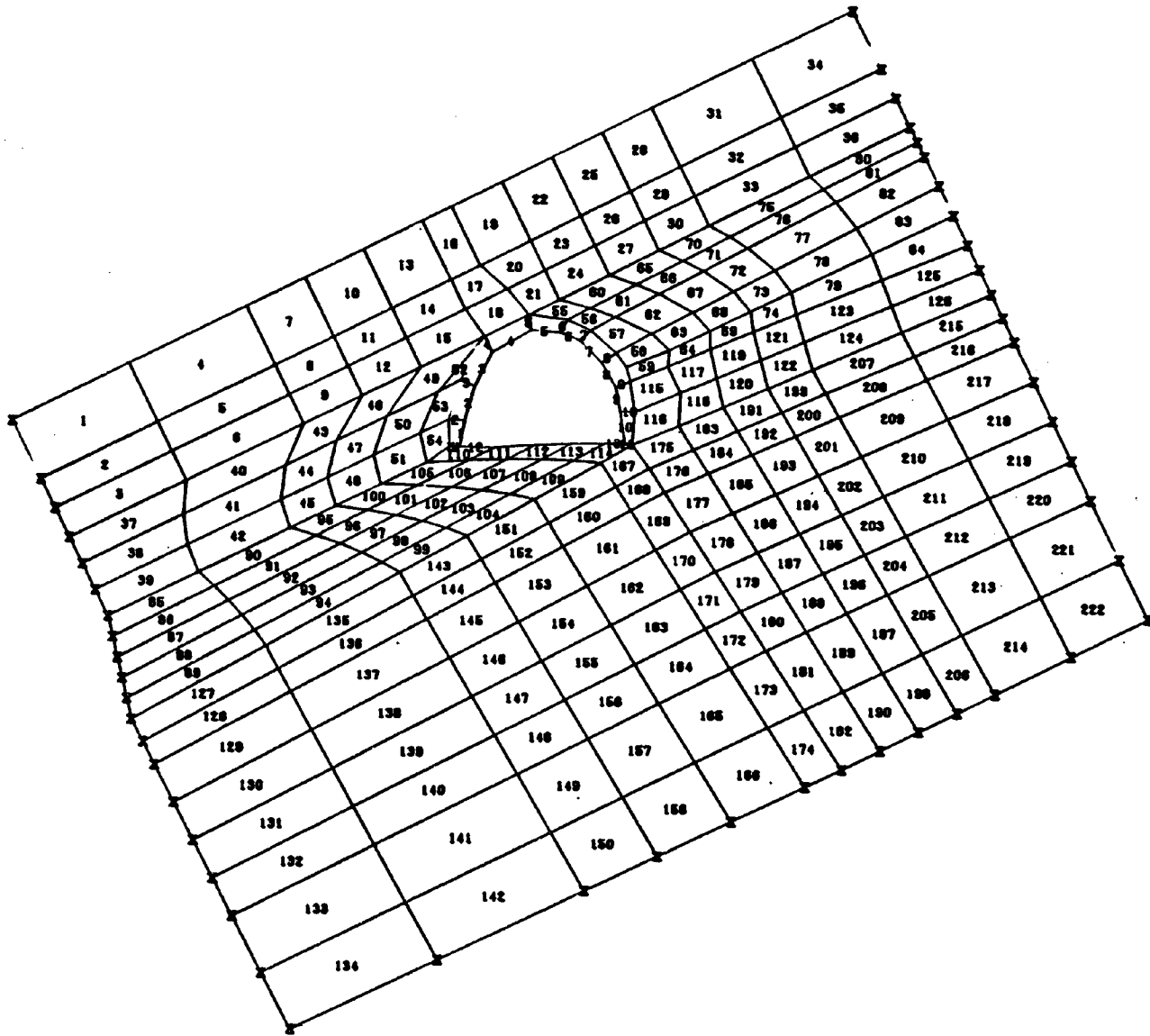
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-B TH-21 A 1. M



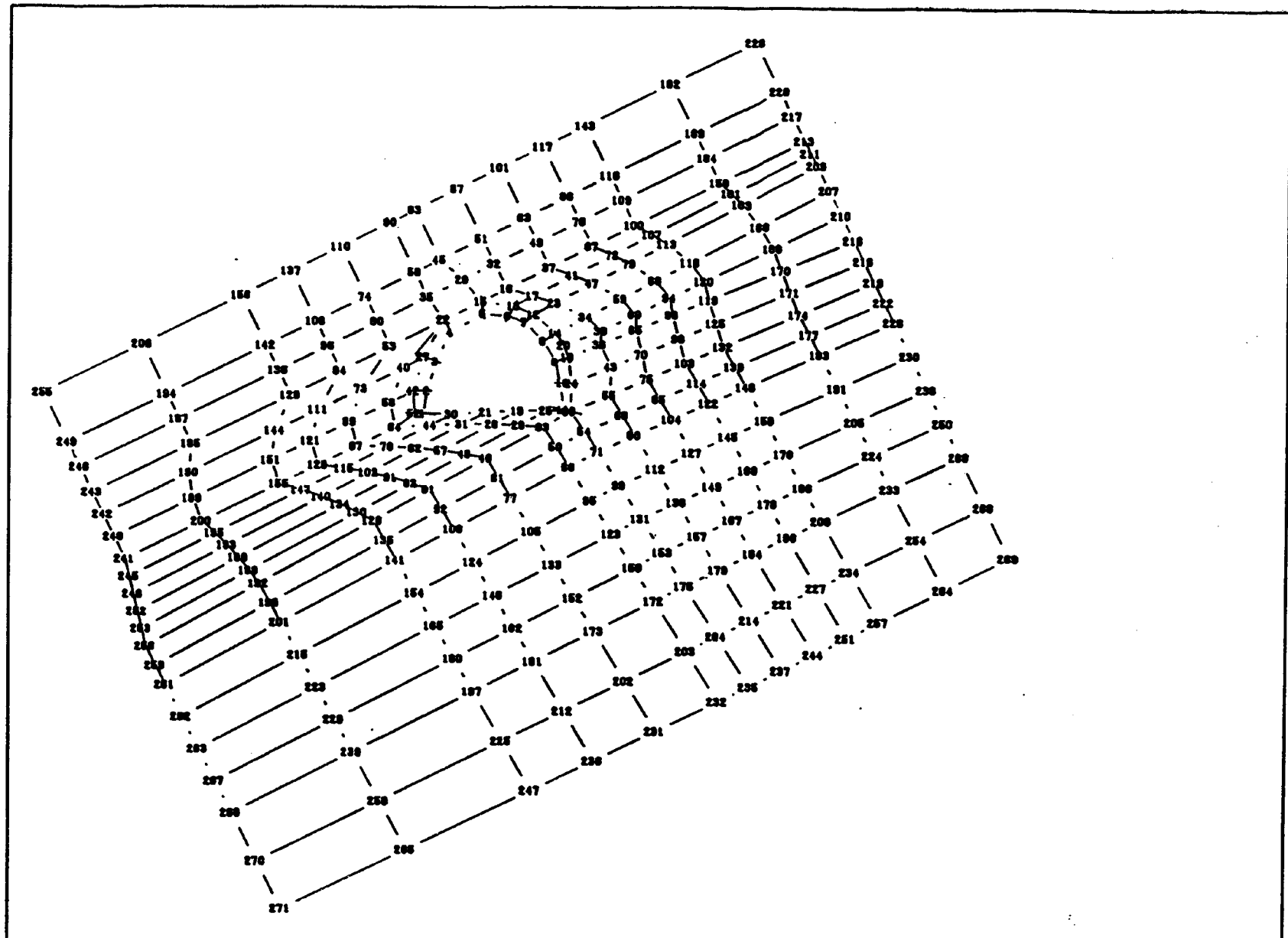
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-B TH-21 A 1. M



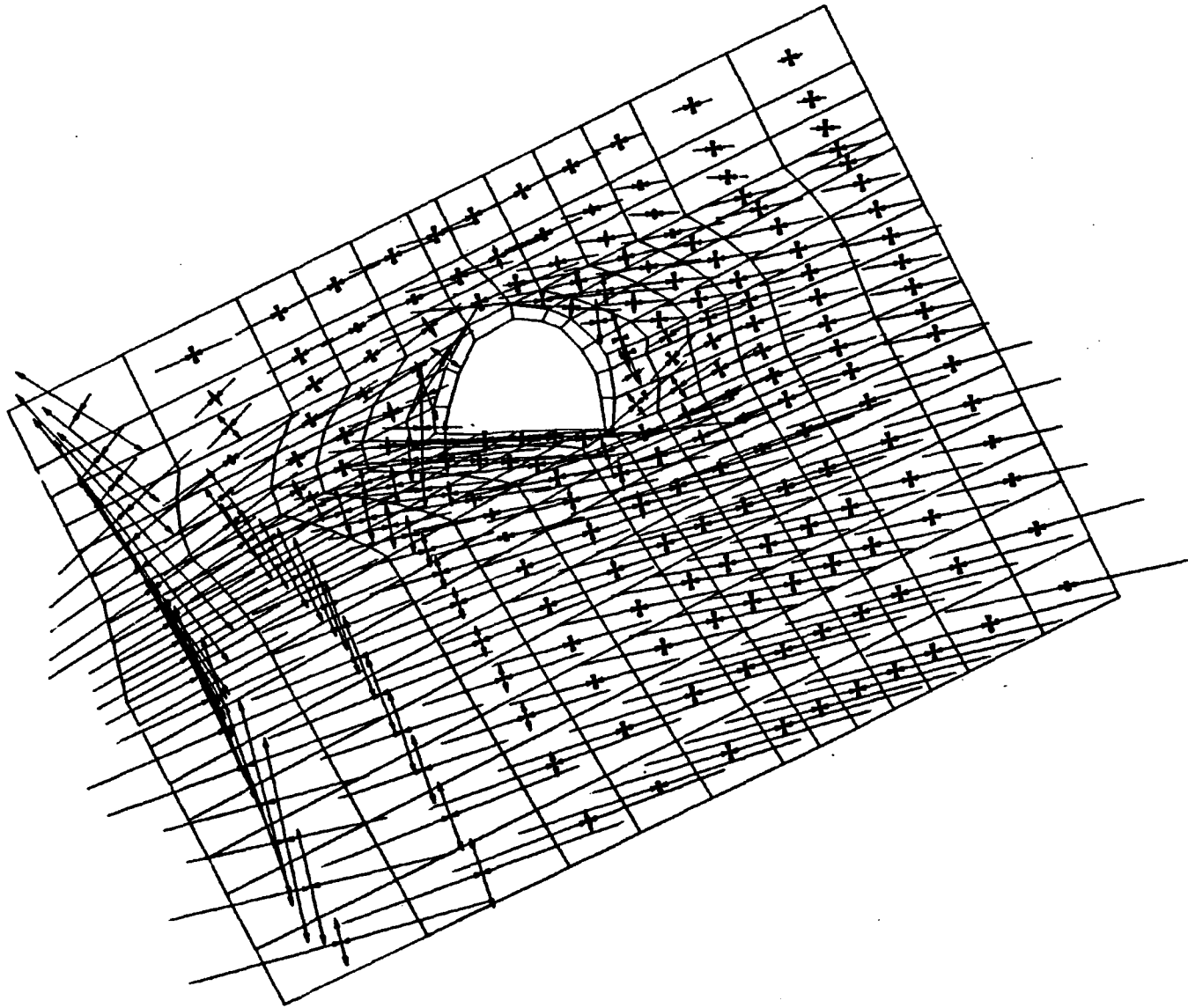
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-B TH-2I A 1. M



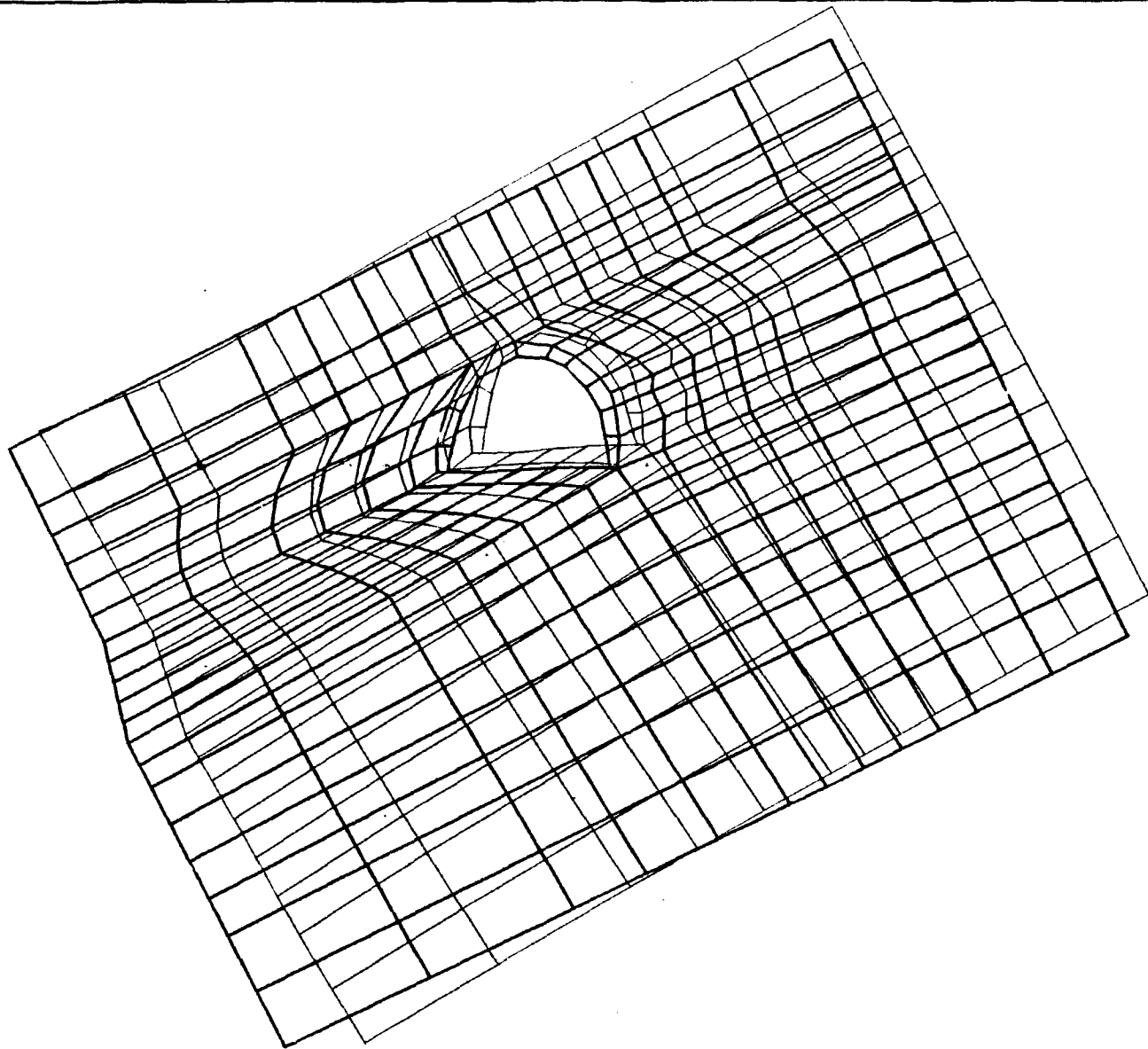
GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-B TH-29 A 1. M



GALERIA DE PENARRIYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-8 TH-29 A 1. M



GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-B TH-29 A 1. M



GALERIA DE PENARROYA. CALCULO DE LA ENTIBACION. ARCOS 2U-B TH-29 A 1. M