Instituto Tecnológico GeoMinero de España

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

APLICACION MINA VILLABONA

INFORME GEOTECNICO Y DE SUBSIDENCIA
RESULTADO Y ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

CONVENIO ESPECIFICO
ITGE - PRINCIPADO DE ASTURIAS

1995

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

01311

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

APLICACION MINA VILLABONA

INFORME GEOTECNICO Y DE SUBSIDENCIA
RESULTADO Y ANALISIS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

CONVENIO ESPECIFICO
ITGE - PRINCIPADO DE ASTURIAS ***1995***

INDICE

Pág.

1.- INTRODUCCION 1

2.- OBJETIVO 1

3.- RESULTADOS Y ANALISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS 1

3.1. Muestras extraídas 1

3.2. Preparación de muestras 3

3.3. Ensayos realizados 3

3.3.1. Peso específico aparente 3

3.3.2. Resistencia a la tracción indirecta 4

3.3.3. Resistencia a la compresión simple 4

3.3.4. Módulo de Young 4

3.3.5. Resistencia a la compresión triaxial 4

3.3.6. Corte directo 5

4.- COMPARACION DE LOS RESULTADOS CON LOS DATOS DE PARTIDA DEL ESTUDIO 6

4.1. Datos de los cálculos de estabilidad 6

4.1.1. Capacidad portante de los pilares. Estabilidad de cámaras y pilares 6

4.1.2. Estabilidad del techo inmediato 8

4.1.3. Estabilidad del muro 8

4.1.4. Estudio de cuñas 9

4.2. Subsidencia del terreno 9

5.- CONCLUSIONES 9

ANEJOS

A.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

1.- INTRODUCCIÓN

Una vez terminados los ensayos de laboratorio a los que se hace referencia en el apartado 4.5. del "Estudio geotécnico y de subsidencia", se presenta este trabajo como un informe adicional y complementario del mismo.

Los ensayos han sido realizados por el Laboratorio del Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), sito en Tres Cantos (Madrid), y sus resultados se incluyen en el Anejo A de este informe.

2.- OBJETIVO

La finalidad de la realización de ensayos geotécnicos de laboratorio sobre varias muestras del macizo rocoso (techo, capa y muro) ha sido el conocimiento de las características mecánicas de la roca intacta, siendo el objetivo de este informe el análisis de sus resultados y su comparación relativa con los datos que han sido tomados en el "Estudio geotécnico y de subsidencia", en adelante Estudio, para la validación o modificación, en lo que correspondiera, de los cálculos de estabilidad y de subsidencia realizados. Todo ello, con la especial consideración de la seguridad de la cavidad minera estudiada.

3.- RESULTADOS Y ANALISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

3.1. Muestras extraídas

Se tomaron un total de 28 muestras del macizo en el entorno de la zona de estudio, correspondiendo 12 de ellas al techo, 7 a la capa mineralizada y las 9 restantes al muro. De estas muestras, 24 se han extraído de cajas de testigos pertenecientes a 9 sondeos: 81-1 a 81-3, 1-V, 2-V, 9-V, 90-2, 90-7 y 90-8, cuyos emplazamientos pueden verse en el plano Nº 3 del Anejo A del Estudio.

A continuación se relacionan estas muestras con su descripción litológica:

- Techo

    1-T (1). Sondeo 81-3 (148,60-153,60)

    2-T (1). Sondeo 81-3 (148,60-153,60)

c/ Ríos Rosas, 23 - Tel. 349 57 00 - Fax 442 62 16 - 28003 MADRID

3-T (2). Sondeo 81-3 (148,60-153,60)

4-T (3). Sondeo 81-3 (148,60-153,60)

5-T (3). Sondeo 81-3 (148,60-153,60)

9-T (4). Sondeo 81-1 (177,00-182,00)

10-T (3). Sondeo 81-2 (189,60-194,60)

12-T (3). Sondeo 2-V (204,15-209,15)

14-T (5). Sondeo 9-V (103,93-108,93)

21-T (6). Sondeo 90-2 (95,10-100,10)

22-T (5). Sondeo 90-2 (95,10-100,10)

28-T (6). Sondeo 90-7 (99,40-104,40)

- Capa

17-C (7). Piedra de mineral

18-C (7). Piedra de mineral

19-C (7). Piedra de mineral

20-C (7). Piedra de mineral

25-C (8). Sondeo 90-7 (104,40-108,15)

26-C (8). Sondeo 90-7 (104,40-108,15)

27-C (8). Sondeo 90-7 (104,40-108,15)

- Muro

6-M (9). Sondeo 81-3 (156,60-159,60)

7-M (9). Sondeo 81-1 (186,00-189,00)

8-M (9). Sondeo 81-1 (186,00-189,00)

11-M (9). Sondeo 81-1 (186,00-189,00)

13-M (9). Sondeo 2-V (211,75-214,75)

15-M (10). Sondeo 9-V (111,39-114,39)

16-M (10). Sondeo 1-V (141,20-143,90)

23-M (9). Sondeo 90-2 (102,05-105,05)

24-M (9). Sondeo 90-8 (161,90-164,05)

(1) Margas calcáreas rojizas.

(2) Microconglomerados silíceos.

(3) Areniscas verdosas o blancas rosadas con cemento calcáreo.

(4) Calizas cuarcíticas (zona de tránsito de capa a techo).

(5) Calizas con pequeñas intercalaciones margosas.

(6) Margas rojas.

(7) Aspecto cuarcítico. Roca de origen carbonatado, aspecto masivo y brechoide, sin criterios estratigráficos, fuertemente silicificada y con fluoritización intensa.

(8) Calizas silicificadas con algo de fluorita.

(9) Margocalizas de tonos verdes, a veces con vetas de calcita.

(10) Calizas margosas

3.2. Preparación de muestras

Todas las muestras procedentes de testigos de sondeos han sido debidamente preparadas para la realización de los distintos ensayos. En cuanto a las muestras de piedra de mineral, ha sido necesario obtener previamente testigos de estas muestras mediante perforación, para la posterior obtención de probetas aptas para la ejecución de los distintos ensayos geotécnicos, normalmente de 2" de diámetro.

3.3. Ensayos realizados

Se han realizado sobre las distintas probetas obtenidas ensayos de peso específico aparente, resistencia a la tracción indirecta (ensayo Brasileño), resistencia a la compresión simple (compresión uniaxial), determinación del módulo de elasticidad (Young), resistencia a la compresión triaxial y corte directo. No ha sido posible la obtención del módulo de Young y del coeficiente de Poisson de algunas muestras, por falta de suministro de bandas extensométricas a la hora de la entrega de los resultados de laboratorio (ver Hoja 1 del Anejo A).

En los apartados que siguen se dan a conocer y se analizan los resultados correspondientes a cada uno de estos ensayos.

3.3.1. Peso específico aparente

Se han realizado en total nueve ensayos, siendo los valores medios los siguientes:

- Techo (todas las litologías): 2,57 t/m^3
- Capa: 2,80 t/m^3
- Muro (margocaliza): 2,67 t/m^3

3.3.2. Resistencia a la tracción indirecta

Los valores medios correspondientes a siete ensayos son:

- Techo (marga calcárea, microcongl. y arenisca): 7,46 MPa
- Capa: 4,89 MPa
- Muro (margocaliza y caliza margosa): 4,92 MPa

3.3.3. Resistencia a la compresión simple

Se han realizado en total once ensayos, siendo los valores medios los siguientes (se desecha el valor disperso, muy alto, correspondiente a la probeta 9-T):

- Techo (arenisca): 73,1 MPa
- Capa: 77,2 MPa
- Muro (margocaliza y caliza margosa): 83,5 MPa

3.3.4. Módulo de Young

Se han realizado en total nueve ensayos, siendo los valores medios los siguientes:

- Techo (marga calcárea): $9,0 \times 10^3$ MPa
- Techo (marga): $5,6 \times 10^3$ MPa

El valor medio general para estas dos litologías del techo es $7,3 \times 10^3$ MPa.

No ha sido posible disponer de módulos de elasticidad de otras litologías del techo y de la capa y muro, así como de coeficientes de Poisson por la razón apuntada en el apartado 3.

3.3.5. Resistencia a la compresión triaxial

Se han realizado en total 3 ensayos triaxiales (con tres probetas cada uno), para el macizo del techo, cuyos valores medios de la cohesión c y del ángulo de resistencia intrínseca φ, deducidos éstos con ayuda del diagrama p-q, son los siguientes:

4.- COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LOS DATOS DE PARTIDA DEL ESTUDIO

Se pasa en lo que sigue a realizar un análisis comparativo de los resultados de los ensayos realizados con los datos que propiamente han servido para definir en el Estudio los parámetros geotécnicos utilizados en los cálculos de estabilidad y de subsidencia de la cavidad minera.

Esta comparación se hará siempre de una forma cualitativa en cuanto a la posible variación en el grado de seguridad estimada de la zona de la mina estudiada.

4.1. Datos de los cálculos de estabilidad

4.1.1. Capacidad portante de los pilares. Estabilidad de cámaras y pilares

Se recuerda la fórmula de OBERT y DUVALL (1967) adoptada para el cálculo de la resistencia σ_p de un pilar cuadrado de lado W y altura H (apartado 4.6. del Estudio):

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

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

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

es decir, dependiente, además de d (longitud en metros del lado del pilar, supuesto de sección cuadrada), del valor de σ_{50}, resistencia a la compresión simple, de una probeta cilíndrica de 50 mm de diámetro (probeta de laboratorio).

Como valor de σ_{50} se tomó tratándose de la capa 65 MPa (apartado 4.2.2. del Estudio). En los ensayos de laboratorio realizados se ha obtenido el valor de 77,2 MPa (apartado 3.3.3.), superior al valor tomado de 65 MPa. Quedan validados, por tanto, todos los cálculos efectuados en el Estudio para la obtención de los coeficientes de seguridad de los 181 pilares en el análisis de estabilidad por el método del área atribuida.

En cuanto a los datos de partida para el análisis numérico con el programa BESOL/MS y contraste de resultados con el método del área atribuida (apartado 5.1.2. del Estudio), se establece el cuadro nº 1 comparativo relativo, tratándose por una parte del macizo rocoso considerado en el Estudio y por otra de una roca intacta ensayada en laboratorio (apartados 3.3.1. y 3.3.4.).

Techo y muro (valores medios)	
Estudio (Macizo rocoso)	Laboratorio (Roca intacta)
$E = 9{,}2 \times 10^3$ MPa $\nu = 0{,}2$ $\gamma = 2{,}65$ t/m^3 (1)	$E = 7{,}3 \times 10^3$ MPa (2) Sin datos $\gamma = 2{,}62$ t/m^3
Capa	
Estudio (Macizo rocoso)	Laboratorio (Roca intacta)
$E = 8{,}4 \times 10^3$ MPa $\nu = 0{,}2$ $\gamma = 2{,}60$ t/m^3 (1)	Sin datos Sin datos $\gamma = 2{,}80$ t/m^3

CUADRO Nº 1. Módulos de Young, coeficientes de Poisson y pesos específicos aparentes

(1) Datos de ensayos de laboratorio sobre probetas.

(2) Marga y marga calcárea.

Del cuadro se puede señalar:

* El módulo de elasticidad o de Young del macizo rocoso (calculado en función del RMR) es ligeramente superior, contrariamente a lo esperable, al de la roca intacta ensayada. Pero ello tiene la sencilla explicación de que no han sido ensayadas

en laboratorio (apartado 3.3) otras litologías del techo más duras (areniscas, conglomerados y calizas), así como del muro (margocalizas), lo que hubiera dado para el módulo de elasticidad global de la roca intacta un valor bastante superior a $1,0 \times 10^4$, como así se obtuvo en los ensayos para la Mina Moscona (apartado 4.2.2. del Estudio).

* Los pesos específicos aparentes tomados en el Estudio y procedentes de ensayos de laboratorio para la Mina Moscona, se pueden considerar como similares a los obtenidos con las muestras ensayadas actualmente, sobre todo en lo que respecta al macizo rocoso de techo y muro.

* De lo anterior, puede concluirse que, con la salvedad de la necesidad de completar los ensayos de laboratorio para mayor información, los datos de partida tomados en el Estudio, pueden considerarse con criterios de seguridad, con respecto a los resultados de los ensayos de laboratorio que han sido realizados para la roca intacta.

4.1.2. Estabilidad del techo inmediato

Se recuerda que el coeficiente de seguridad a la rotura por flexión en la fórmula utilizada de RAMÍREZ OYANGUREN, en aplicación de la teoría de las vigas a la estabilidad del techo inmediato, era directamente proporcional a la resistencia a la tracción de la roca intacta. Que como valor de esta resistencia se estimó el 7,5% de la resistencia a la compresión simple, obteniéndose como valor de la resistencia a la tracción de la roca intacta del techo 6,15 MPa (apartado 5.2. del Estudio).

En los ensayos efectuados, se ha obtenido como valor de la resistencia a la tracción de la roca intacta del techo 7,46 MPa, valor 21% superior al utilizado en el Estudio, lo que sitúa a los cálculos efectuados en un mayor grado de seguridad.

4.1.3. Estabilidad del muro

En los cálculos de la capacidad portante del muro se utilizaron como parámetros geomecánicos de partida de la resistencia intrínseca c = 0,75 MPa y $\varphi = 58,5°$ (apartado 5.3. del Estudio).

En los ensayos triaxiales efectuados (apartado 3.3.5.) no ha sido posible obtener probetas del macizo del muro. No obstante, para el macizo del techo (margas y margas calcáreas) se han obtenido valores de c = 5,44 MPa y φ = 56,1° que en su conjunto son muy superiores. Por otra parte, conviene recordar que el mínimo coeficiente de seguridad obtenido en el Estudio fue de 62,91.

4.1.4. Estudio de cuñas

Las características geomecánicas de las discontinuidades utilizadas en el estudio de cuñas, en cuanto a valores calculados de c y φ de estas discontinuidades, quedaban comprendidos entre 8,3 y 14,3 t/m^2 para la cohesión c y entre 27,5° y 29,5° para el ángulo de fricción φ (apartado 4.4.4. del Estudio).

En los ensayos de corte directo efectuados sobre probetas del macizo del techo se obtuvieron valores residuales de c_r = 62 t/m^2 y φ_r = 65,8° (apartado 3.3.6), valores que superan ampliamente a los utilizados en los cálculos del coeficiente de seguridad al deslizamiento de las cuñas de posible formación.

4.2. Subsidencia del terreno

Dado que para el análisis de la subsidencia del terreno mediante el programa BESOL se utilizaron los mismos datos de partida para el macizo del techo que fueron empleados en el cálculo de tensiones de pilares con el indicado programa (apartado 6 del Estudio), cabe trasladar aquí todo lo que se refiere en el apartado 4.1.1. en cuanto a uso de estos datos de partida del análisis numérico y de las conclusiones que se derivan de su comparación con los datos obtenidos en el laboratorio para la roca intacta.

5.- CONCLUSIONES

1) Dado que a la hora de redactar el "Estudio geotécnico y de subsidencia" no estaban disponibles los resultados de los ensayos de laboratorio que ahora se presentan, este trabajo cumple la misión de ser un informe adicional y complementario del mismo.

2) El objetivo de este informe ha sido el análisis comparativo de los resultados de estos ensayos, que definen características mecánicas de la roca intacta, con los datos tomados en el Estudio para los distintos cálculos de estabilidad y de

subsidencia, todo en aras de la constatación de la seguridad de la cavidad minera estudiada.

3) Por razones inherentes al suministro de materiales al Laboratorio, no ha sido posible realizar hasta el momento algunos ensayos que hubieran sido necesarios para completar la información utilizada.

4) El análisis comparativo de los resultados de los ensayos de laboratorio de los que se ha dispuesto, con los correspondientes datos de partida del Estudio, no sólo avalan los cálculos de estabilidad y de subsidencia efectuados en el mismo, sino que de forma cualitativa puede afirmarse que en todos los casos aseguran un aumento del grado estimado de seguridad en la estabilidad de la zona de la mina estudiada.

ANEJOS

A.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

LABORATORIO DEL ITGE.
C/LA CALERA, 1. 28760 -TRES CANTOS (MADRID) Tf. 8032200. FAX 8036200

Laboratorio de ensayo acreditado por el MINER y RELE para los ensayos indicados en el Certificado Nº 62/169-2/94 "Piedras naturales para la construcción (Rocas ornamentales)".

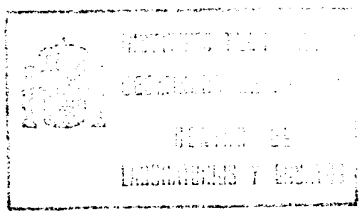
INFORME DE LABORATORIO Nº 95/472	**Hoja 1 de 24**
Solicitante: Sr. D. Arturo Ochoa (MINA VILLABONA (Asturias)) **Dirección:** I.T.G.E. **Teléfono:** **Fax:**	
Fecha recepción: 23-10-95 **Fecha/s de ensayo:** 6-11 a 20-12-95	
Muestreo: REALIZADO POR EL SOLICITANTE. Se relacionan las muestras en Pag. 2	
Procedimiento/s de ensayo (Se indican con * los ensayos acreditados para rocas): SE RECOGEN EN PÁGINA 3	
Observaciones: INFORME PROVISIONAL (Faltan los ensayos de bandas extensométricas, por falta de suministor de las mismas).	
Los resultados expuestos afectan en exclusiva a las muestras sometidas a ensayo. La reproducción parcial de este informe sólo podrá realizarse con la autorización escrita del Laboratorio del ITGE.	
Fecha: 22 de enero de 1995 **Jefe de Dpto. de Ensayos Tecnológicos:** **Fdo. J. Menduiña Fernandez**	

Las muestras quedarán a disposición del solicitante durante un período de tres meses siguientes a la emisión de este informe, a partir de los cuales podrán ser eliminadas.

INFORME DE LABORATORIO Nº 95/472	Hoja 2 de 24

RELACIONE DE MUESTRAS:

Referencia del Laboratorio	Referencia del solicitante
95/472-01	17-C
95/472-02	18-C
95/472-03	19-C
95/472-04	20-C
95/472-05	25-C
95/472-06	26-C
95/472-07	27-C
95/472-08	6-M
95/472-09	7-M
95/472-10	8-M
95/472-11	11-M
95/472-12	13-M
95/472-13	15-M
95/472-14	16-M
95/472-15	23-M
95/472-16	29-M
95/472-17	1-T
95/472-18	2-T
95/472-19	3-T
95/472-20	4-T
95/472-21	5-T
95/472-22	9-T
95/472-23	10-T
95/472-24	12-T
95/472-25	14-T
95/472-26	21-T
95/472-27	22-T
95/472-28	28-T



Observaciones:

Procedimiento/s de ensayo (Se indican con * los ensayos acreditados para rocas):

- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ROCAS. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA. PARTE 1: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL. UNE 22 950 (1)

- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ROCAS. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA. PARTE 2: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN. DETERMINACIÓN INDIRECTA (ENSAYO BRASILEÑO) UNE 22 950 (2)

- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ROCAS. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA. PARTE 3: DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (YOUNG) Y DEL COEFICIENTE DE POISSON. UNE 22 950 (3)

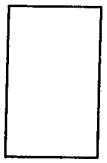
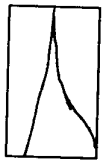
- PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ROCAS. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA. PARTE 4: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL. UNE 22 950 (4)

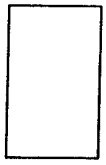
- ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO APARENTE UNE-7 067/54

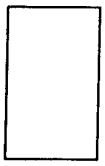
- CORTE DIRECTO ASTM-D-3080/90

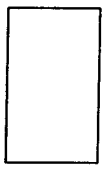
Observaciones:

- **PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ROCAS. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA. PARTE 1: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL. UNE 22 950 (1)**

Ref.Probeta	**17-C**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	12,03		
Diámetro cm	5,04		
Densd. g/cm^3	2,98		
Resistencia kg/cm^2	666,99		
Compresión MPa	65,39		

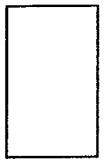
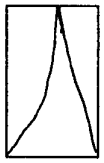
Ref.Probeta	**25-C**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	7,50		
Diámetro cm	4,74		
Densd. g/cm^3	2,64		
Resistencia kg/cm^2	765,43		
Compresión MPa	75,04		

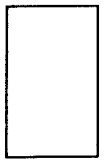
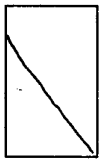
Ref.Probeta	**26-C**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	10,47		
Diámetro cm	4,74		
Densd. g/cm^3	2,61		
Resistencia kg/cm^2	890,17		
Compresión MPa	87,27		

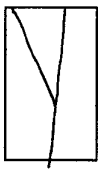
Ref.Probeta	**27-C**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	10,39		
Diámetro cm	4,73		
Densd. g/cm^3	2,64		
Resistencia kg/cm^2	825,61		
Compresión MPa	80,94		

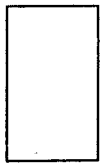
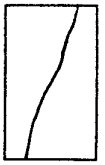
Observaciones:

INFORME DE LABORATORIO Nº 95/472	Hoja 5 de 24

Ref.Probeta	**6-M**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	9,22		
Diámetro cm	5,14		
Densd. g/cm^3	2,59		
Resistencia kg/cm^2	737,73		
Compresión MPa	72,33		

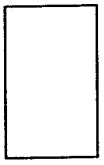
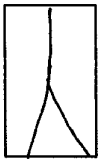
Ref.Probeta	**13-M**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	10,96		
Diámetro cm	5,18		
Densd. g/cm^3	2,64		
Resistencia kg/cm^2	1125,17		
Compresión MPa	110,31		

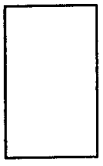
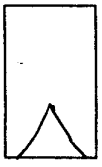
Ref.Probeta	**15-M**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	9,79		
Diámetro cm	5,18		
Densd. g/cm^3	2,59		
Resistencia kg/cm^2	764,36		
Compresión MPa	74,93		

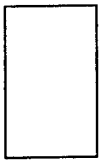
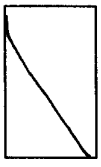
Ref.Probeta	**23-M**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	11,31		
Diámetro cm	4,70		
Densd. g/cm^3	2,61		
Resistencia kg/cm^2	778,52		
Compresión MPa	76,32		

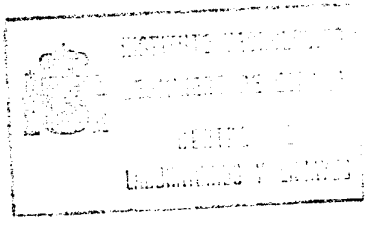
Observaciones:

INFORME DE LABORATORIO Nº 95/472	Hoja 6 de 24

Ref.Probeta	5-T	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	9,40		
Diámetro cm	5,13		
Densd. g/cm^3	2,59		
Resistencia kg/cm^2	861,62		
Compresión MPa	84,47		

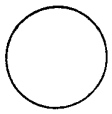
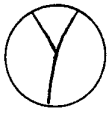
Ref.Probeta	9-T	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	9,41		
Diámetro cm	5,13		
Densd. g/cm^3	2,76		
Resistencia kg/cm^2	1616,75		
Compresión MPa	158,50		

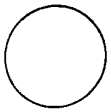
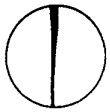
Ref.Probeta	10-T	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	11,29		
Diámetro cm	4,74		
Densd. g/cm^3	2,41		
Resistencia kg/cm^2	629,36		
Compresión MPa	61,70		

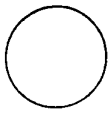
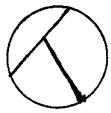


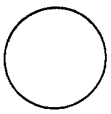
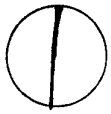
Observaciones:

- **PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ROCAS. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA. PARTE 2: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN. DETERMINACIÓN INDIRECTA (ENSAYO BRASILEÑO) UNE 22 950 (2)**

Ref.Probeta	**26-C**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	2,53		
Diámetro cm	4,72		
Resistencia kg/cm^2	49,95		
Compresión MPa	4,89		

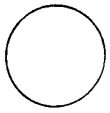
Ref.Probeta	**7-M**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	2,81		
Diámetro cm	5,13		
Resistencia kg/cm^2	63,28		
Compresión MPa	6,21		

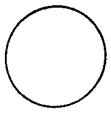
Ref.Probeta	**8-M**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	2,50		
Diámetro cm	5,14		
Resistencia kg/cm^2	48,70		
Compresión MPa	4,78		

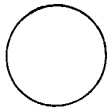
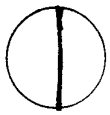
Ref.Probeta	**16-M**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	2,10		
Diámetro cm	5,16		
Resistencia kg/cm^2	38,36		
Compresión MPa	3,76		

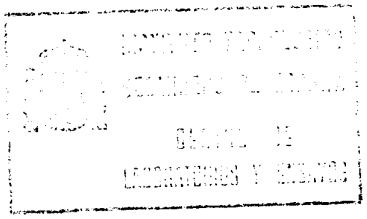
Observaciones:

INFORME DE LABORATORIO Nº 95/472	Hoja 8 de 24

Ref.Probeta	**2-T**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	2,55		
Diámetro cm	5,13		
Resistencia kg/cm^2	40,10		
Compresión MPa	3,93		

Ref.Probeta	**3-T**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	2,70		
Diámetro cm	5,13		
Resistencia kg/cm^2	89,17		
Compresión MPa	8,74		

Ref.Probeta	**4-T**	Antes rotura	Desp. rotura
Altura cm	2,90		
Diámetro cm	5,13		
Resistencia kg/cm^2	99,02		
Compresión MPa	9,71		

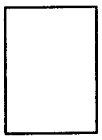


Observaciones:

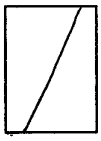
- **PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ROCAS. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA. PARTE 3: DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (YOUNG) Y DEL COEFICIENTE DE POISSON. UNE 22 950 (3)**

Ref.Probeta **1-T**

Antes rotura

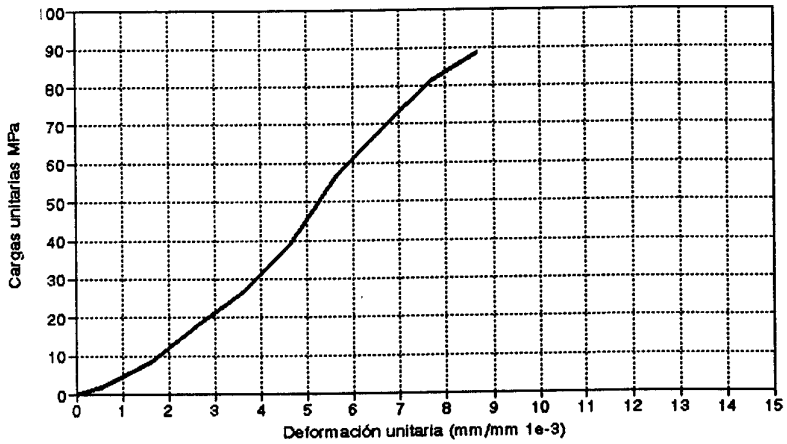


Desp. rotura



Altura cm	9,92
Diámetro cm	5,13
Densd. g/cm^3	2,65
Carga rotura MPa	88,70
Módulo Young	8384-0,8x10^4

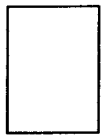
Curva Tensión-Deformación confinada a 10 kg/cm^2

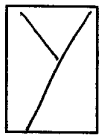


Observaciones:

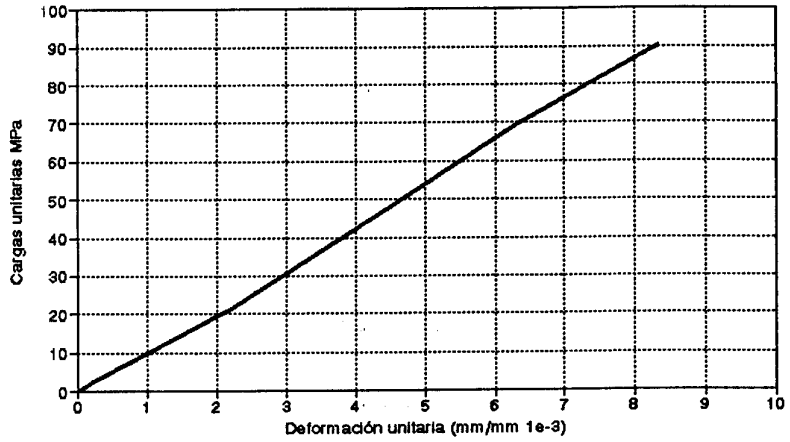
Ref.Probeta **1-T** Antes rotura Desp. rotura

Altura cm	9,84
Diámetro cm	5,14
Densd. g/cm^3	2,55
Carga rotura MPa	90,12
Módulo Young MPa	10697-1,1x10^4



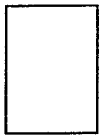


Curva Tensión-Deformación confinada a 20 kg/cm²

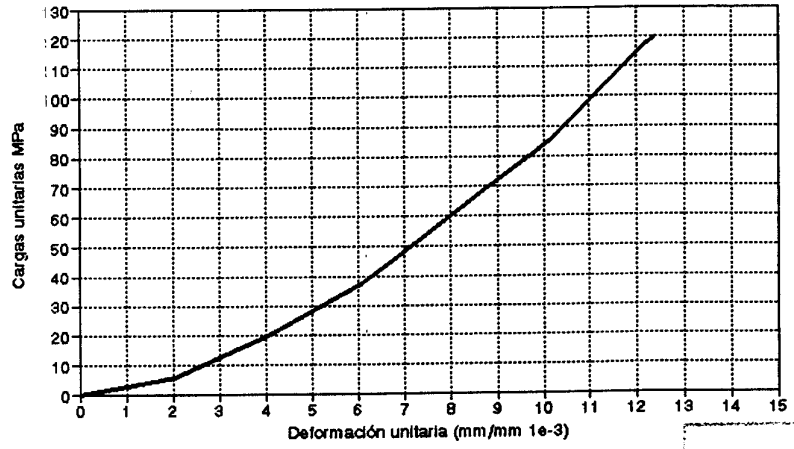


Ref.Probeta **1-T** Antes rotura Desp. rotura

Altura cm	9,86
Diámetro cm	5,15
Densd. g/cm^3	2,62
Carga rotura MPa	119,53
Módulo Young MPa	7584-0,8x10^4



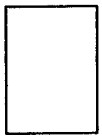
Curva Tensión-Deformación confinada a 40 kg/cm²



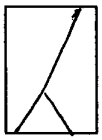
Observaciones:

Ref.Probeta **21-T**

Antes rotura

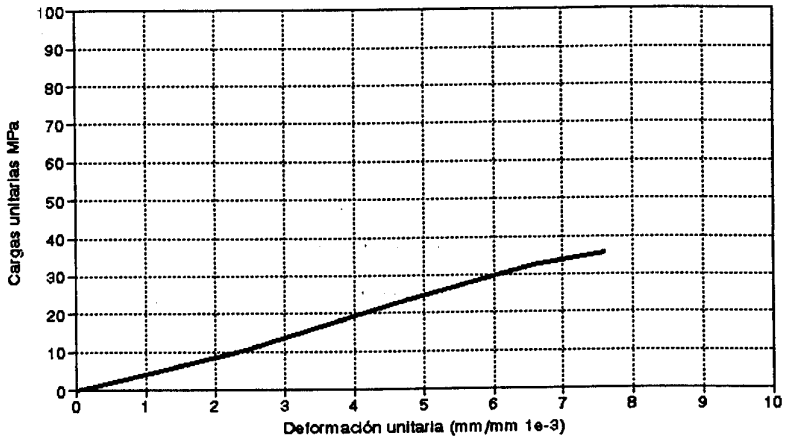


Desp. rotura



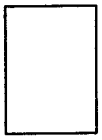
Altura cm	9,74
Diámetro cm	4,70
Densd. g/cm^3	2,41
Carga rotura MPa	35,60
Módulo Young MPa	4966-0,5x10^4

Curva Tensión-Deformación confinada a 10 kg/cm^2

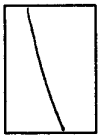


Ref.Probeta **21-T**

Antes rotura

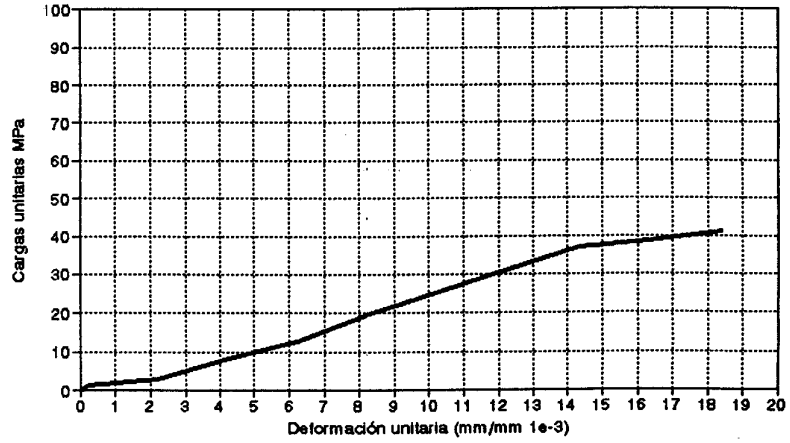


Desp. rotura



Altura cm	9,91
Diámetro cm	4,69
Densd. g/cm^3	2,32
Carga rotura MPa	41,25
Módulo Young MPa	2406-0,2x10^4

Curva Tensión-Deformación confinada a 20 kg/cm^2

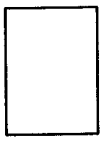


Observaciones:

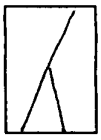
INFORME DE LABORATORIO Nº 95/472	Hoja 12 de 24

Ref.Probeta **21-T**

Antes rotura

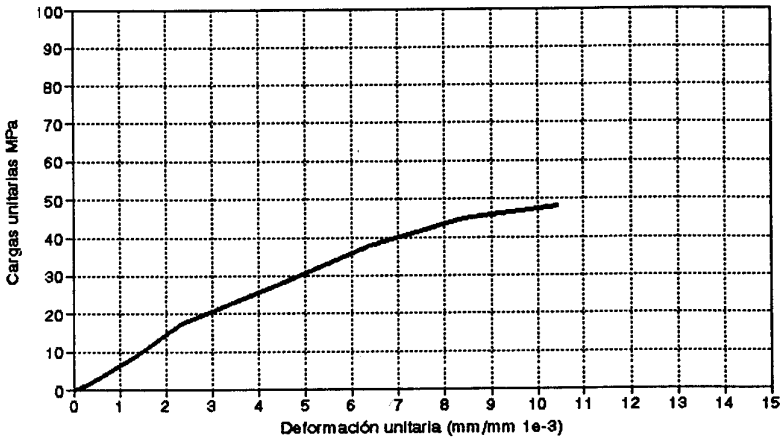


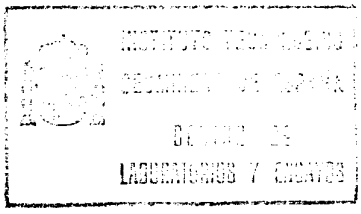
Desp. rotura



Altura cm	9,87
Diámetro cm	4,62
Densd. g/cm^3	2,46
Carga rotura MPa	48,03
Módulo Young MPa	6347-0,6x10^4

Curva Tensión-Deformación confinada a 40 kg/cm^2

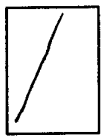


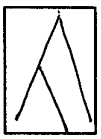


Observaciones:

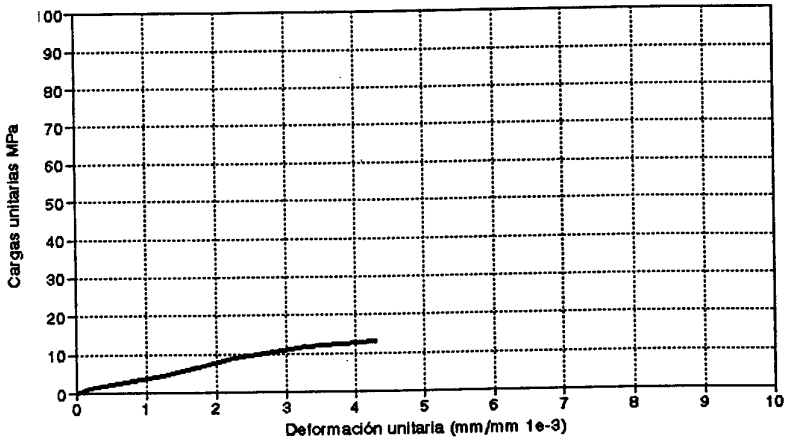
Ref.Probeta **28-T** Antes rotura Desp. rotura

Altura cm	9,78
Diámetro cm	4,75
Densd. g/cm^3	2,51
Carga rotura MPa	13,28
Módulo Young MPa	3607-0,4x10^4



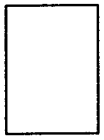


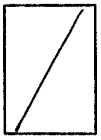
Curva Tensión-Deformación confinada a 10 kg/cm²



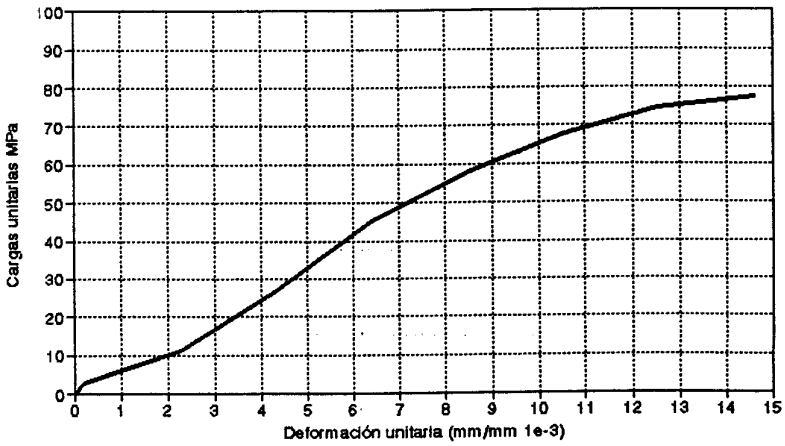
Ref.Probeta **28-T** Antes rotura Desp. rotura

Altura cm	9,73
Diámetro cm	4,75
Densd. g/cm^3	2,55
Carga rotura MPa	77,46
Módulo Young MPa	7072-0,7x10^4





Curva Tensión-Deformación confinada a 20 kg/cm²

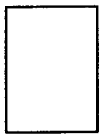


Observaciones:

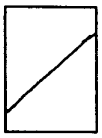
INFORME DE LABORATORIO Nº 95/472	Hoja 14 de 24

Ref.Probeta **28-T**

Antes rotura

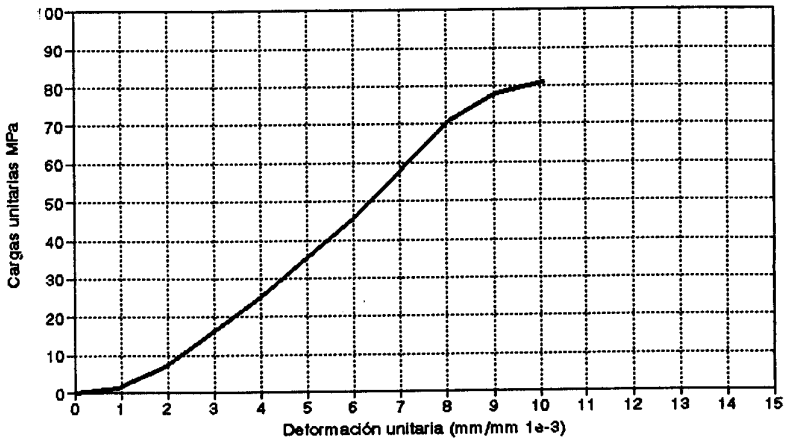


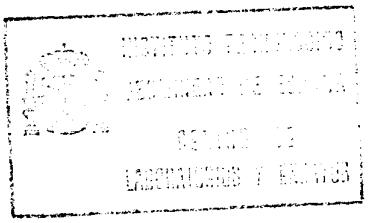
Desp. rotura



Altura cm	9,80
Diámetro cm	4,75
Densd. g/cm^3	2,53
Carga rotura MPa	80,77
Módulo Young MPa	7633-0,8x10^4

Curva Tensión-Deformación confinada a 40 kg/cm²





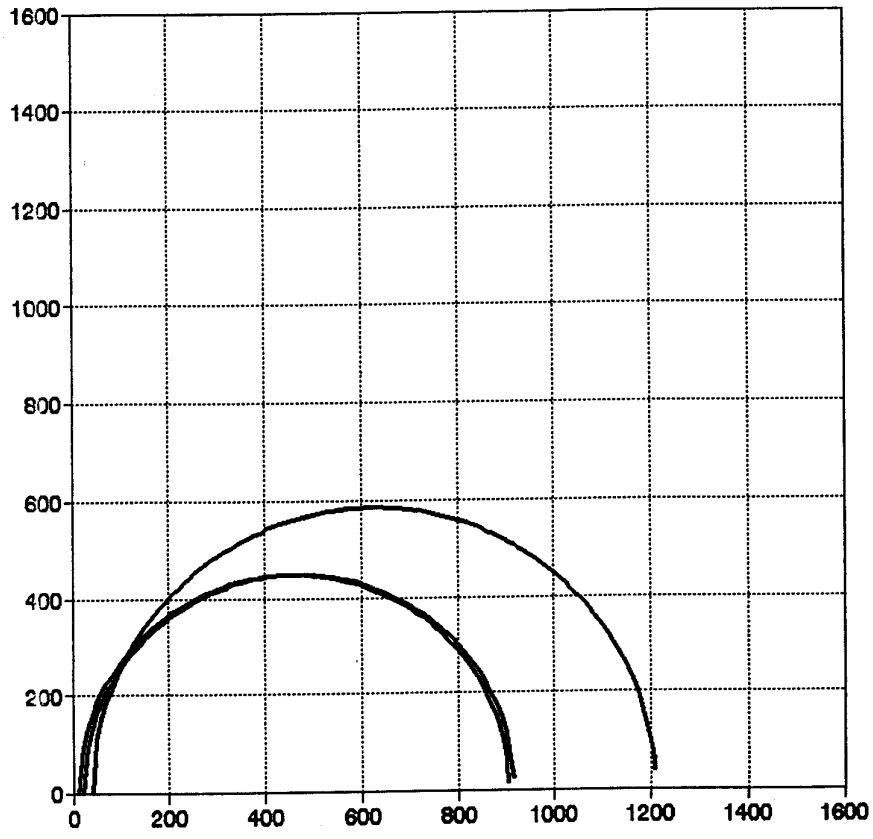
Observaciones:

- **PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS ROCAS. ENSAYOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA. PARTE 4: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TRIAXIAL. UNE 22 950 (4)**

CALCULO DE LOS CÍRCULOS DE MOHR EN EL ENSAYO TRIAXIAL

Ref.Probeta 1-T	10 kg/cm²	20 kg/cm²	40 kg/cm²
σ_3 (kg/cm²)	10,0	20,0	40,0
σ_1 (kg/cm²)	904,72	915,66	1209,75

Círculos de Mohr

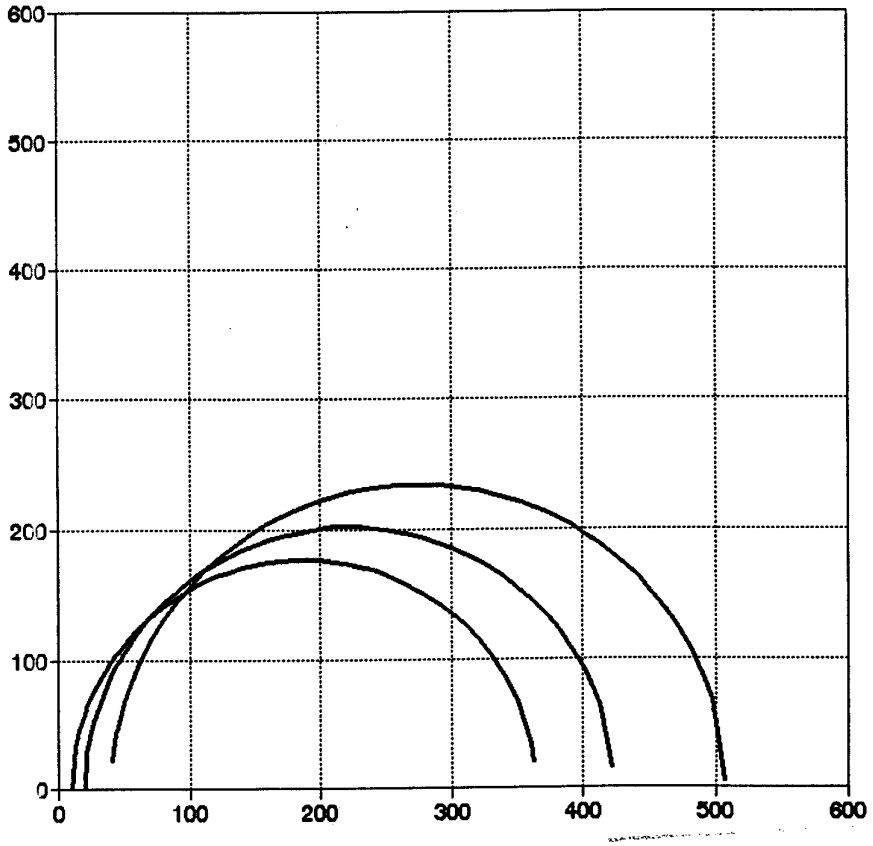


Observaciones:

CALCULO DE LOS CÍRCULOS DE MOHR EN EL ENSAYO TRIAXIAL

Ref.Probeta 21-T	10 kg/cm²	20 kg/cm²	40 kg/cm²
σ_3 (kg/cm²)	10,0	20,0	40,0
σ_1 (kg/cm²)	363,12	422,56	507,04

Círculos de Mohr



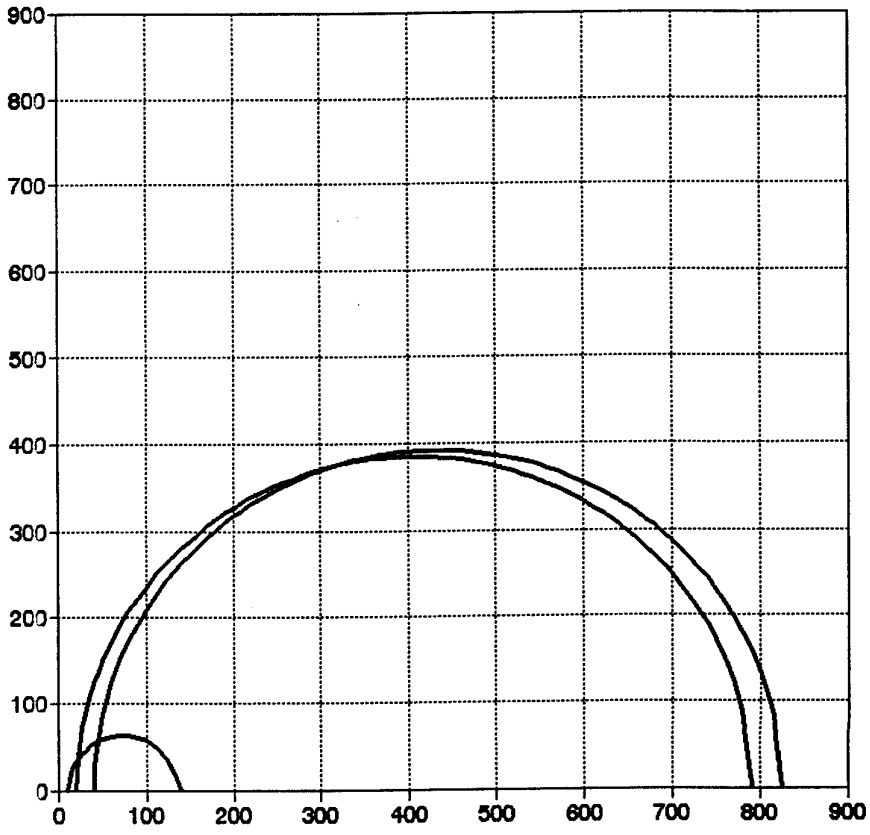
Observaciones:

INFORME DE LABORATORIO Nº 95/472	Hoja 17 de 24

CALCULO DE LOS CÍRCULOS DE MOHR EN EL ENSAYO TRIAXIAL

Ref.Probeta 28-T	10 kg/cm²	20 kg/cm²	40 kg/cm²
σ_3 (kg/cm²)	10,0	20,0	40,0
σ_1 (kg/cm²)	135,44	790,04	823,90

Círculos de Mohr



Observaciones:

- **ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO APARENTE**
  UNE-7 067/54

Ref.Probeta	P.e.real	P.e.aparente	%Absorción	%Porosidad
17-C	3,00	2,93	0,83	2,42
27-C	2,69	2,66	0,44	1,17
8-M	2,66	2,48	2,69	6,67
23-M	2,68	2,60	1,19	3,10
2-T	2,70	2,57	1,96	5,04
5-T	2,67	2,48	2,92	7,22
9-T	2,67	2,61	0,73	1,92
14-T	2,68	2,64	0,60	1,59
28-T	2,70	2,55	2,15	5,49

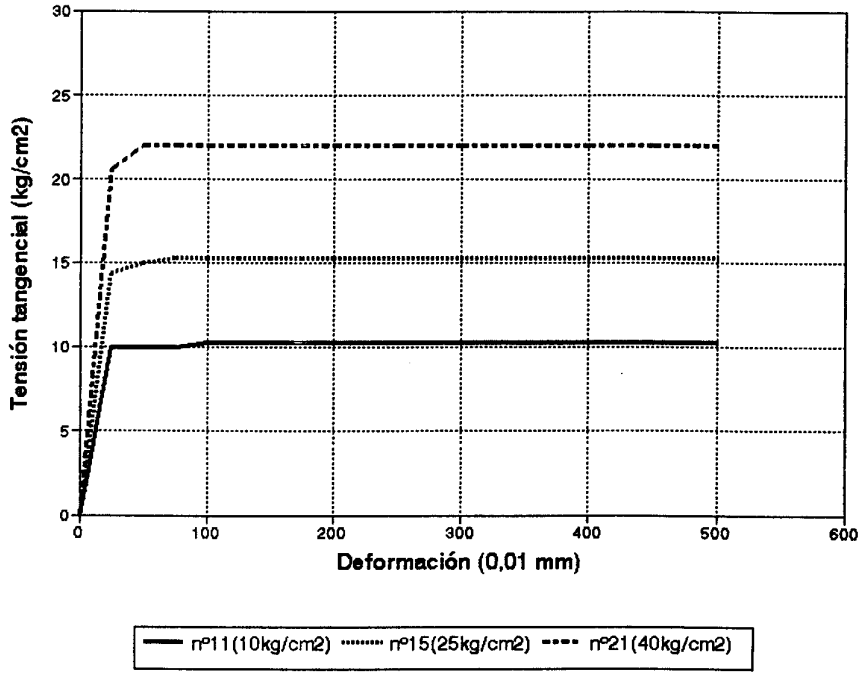
Observaciones:

- **CORTE DIRECTO**
  ASTM-D-3080/90

Ref. muestra. 24-M			
Tensión normal kg/cm²	2	4	8
Tensión tangencial máxima kg/cm²	10.27	15.26	22.01
Tensión tangencial residual kg/cm²	10.27	15.26	22.01

Recta de regresión lineal:

Tensiones máximas: y= 6.8986 + 1.9186 x
Tensiones residuales: y= 6.8986 + 1.9186 x



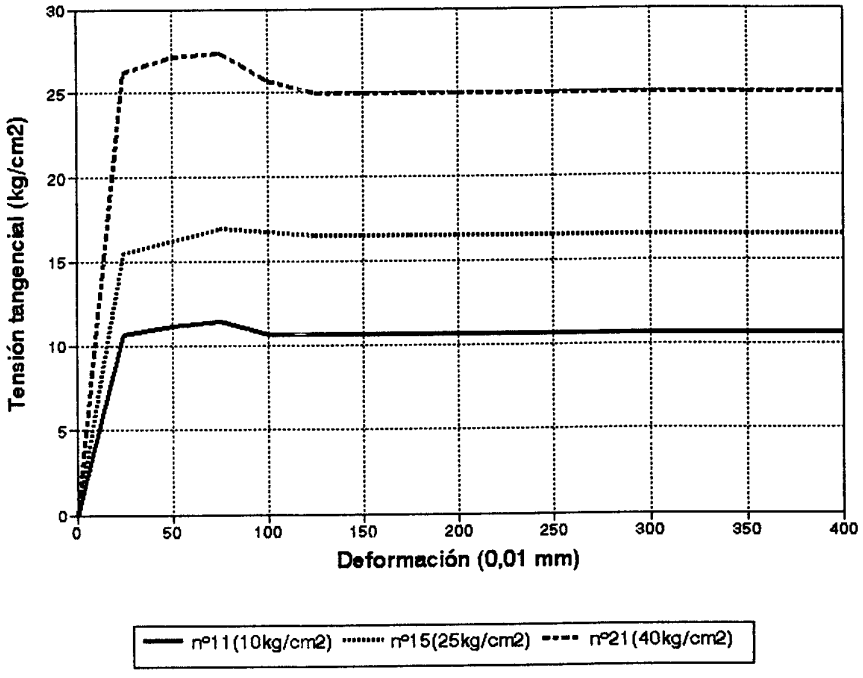
Observaciones:

- **CORTE DIRECTO**
  ASTM-D-3080/90

Ref. muestra. 3-T			
Tensión normal kg/cm²	2	4	8
Tensión tangencial máxima kg/cm²	11.63	17.32	27.96
Tensión tangencial residual kg/cm²	10.89	16.83	25.48

Recta de regresión lineal:

Tensiones máximas: y= 6.3095 + 2.7129 x
Tensiones residuales: y= 6.5569 + 2.3948 x



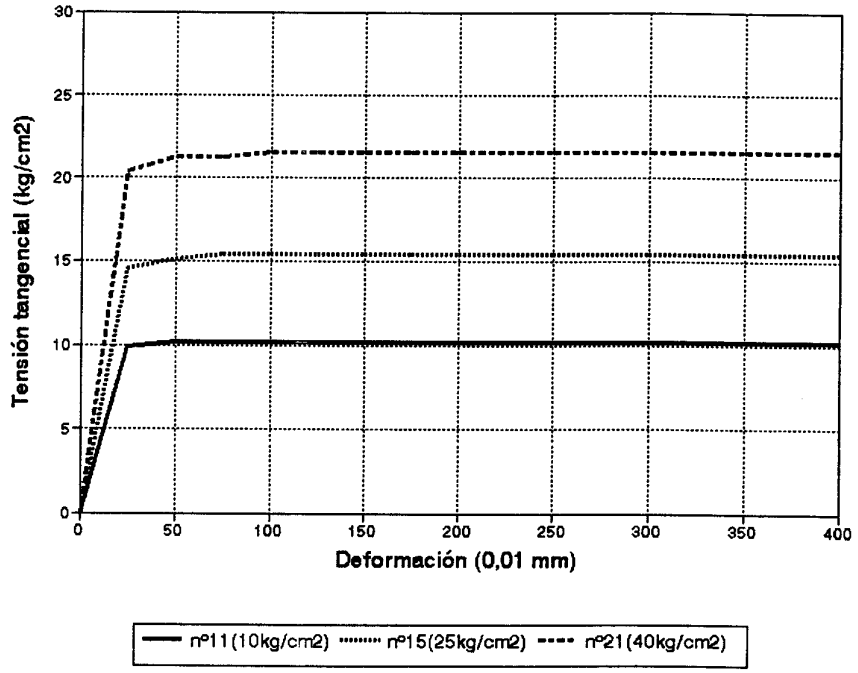
Observaciones:

- **CORTE DIRECTO**
  ASTM-D-3080/90

Ref. muestra. 10-T			
Tensión normal kg/cm²	2	4	8
Tensión tangencial máxima kg/cm²	10.19	15.43	21.54
Tensión tangencial residual kg/cm²	10.19	15.43	21.54

Recta de regresión lineal:

Tensiones máximas: y= 7.1306 + 1.6398 x
Tensiones residuales: y= 7.1306 + 1.8398 x



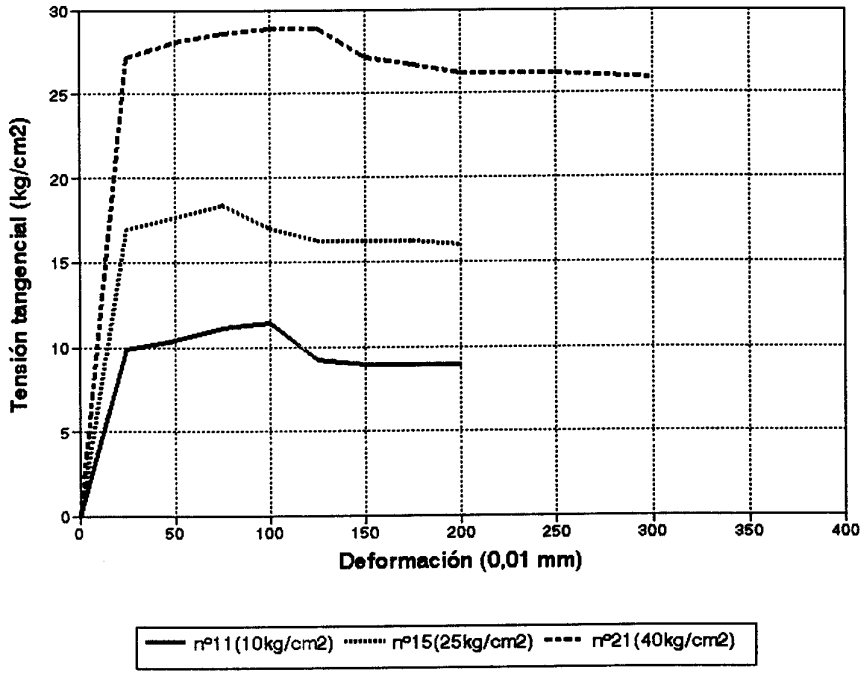
Observaciones:

- **CORTE DIRECTO**
  ASTM-D-3080/90

Ref. muestra. 12-T			
Tensión normal kg/cm²	2	4	8
Tensión tangencial máxima kg/cm²	11.38	18.40	28.82
Tensión tangencial residual kg/cm²	8.96	15.96	25.91

Recta de regresión lineal:

Tensiones máximas: $y = 6.1747 + 2.8625\ x$
Tensiones residuales: $y = 3.9954 + 2.7768\ x$



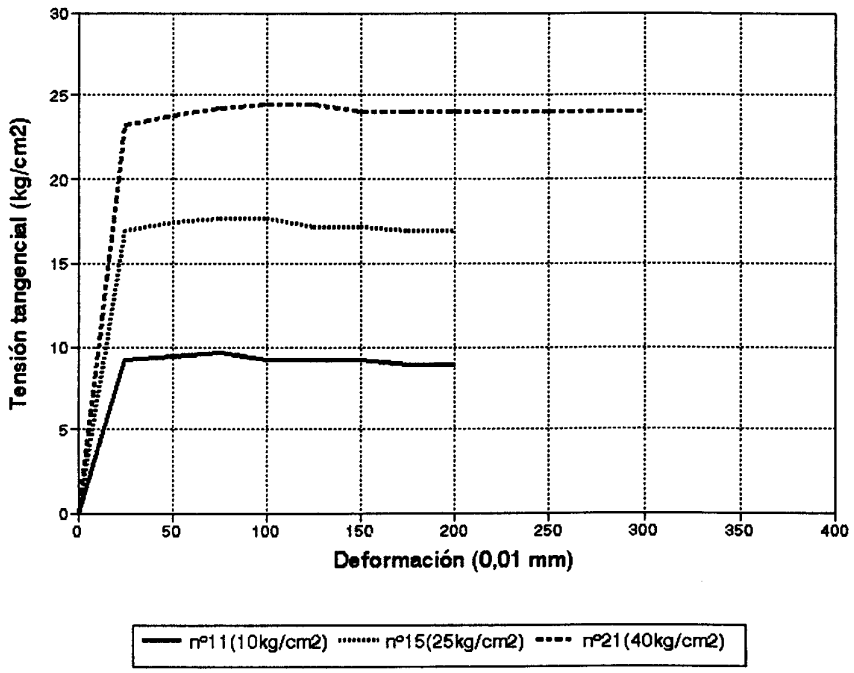
Observaciones:

- **CORTE DIRECTO**
  ASTM-D-3080/90

Ref. muestra. 14-T			
Tensión normal kg/cm²	2	4	8
Tensión tangencial máxima kg/cm²	9.69	17.68	24.56
Tensión tangencial residual kg/cm²	8.96	16.95	23.97

Recta de regresión lineal:

Tensiones máximas: y= 6.2958 + 2.3523 x
Tensiones residuales: y= 5.4483 + 2.3955 x



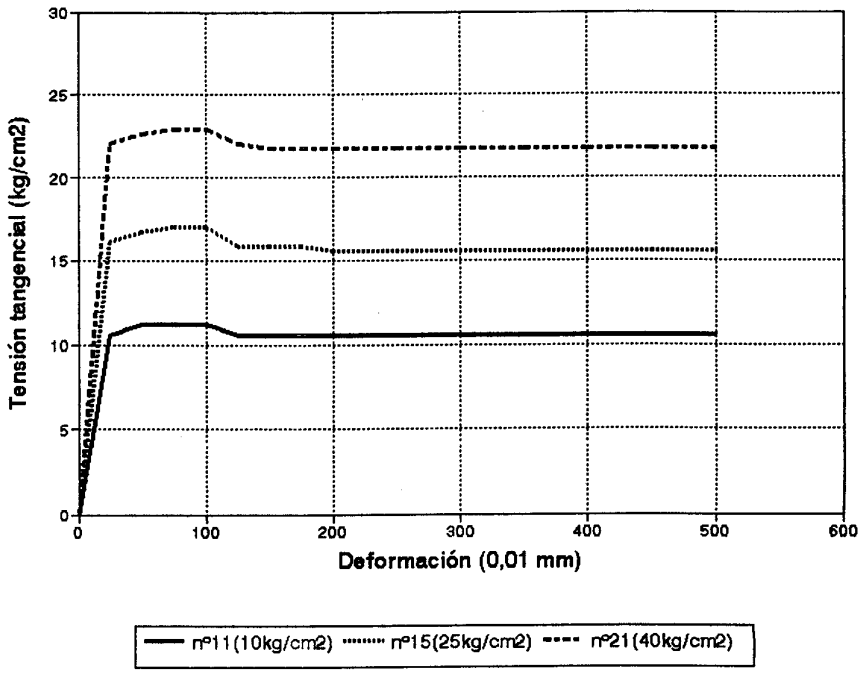
Observaciones:

- **CORTE DIRECTO**
  ASTM-D-3080/90

Ref. muestra. 22-T			
Tensión normal kg/cm²	2	4	8
Tensión tangencial máxima kg/cm²	11.15	17.03	22.90
Tensión tangencial residual kg/cm²	10.57	15.56	21.72

Recta de regresión lineal:

Tensiones máximas: y= 8.2196 + 1.8871 x
Tensiones residuales: y= 7.4857 + 1.8138 x



Observaciones: