

APÉNDICE C

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE MECÁNICA DE SUELOS

Se llevaron a cabo diversas mediciones de las características de deformaciones dinámicas, con el fin de obtener las constantes de elasticidad dinámica por fuerza cortante (G) y el cociente de amortiguamiento histerético. Los métodos utilizados para las pruebas fueron el Método de Columna Resonante Triaxial y el Método de Torsión Dinámica Triaxial.

C.1. INSTRUMENTOS DE PRUEBAS.

El instrumento para realizar las pruebas de Columna Resonante, es utilizado cuando el valor de la deformación por cortante es pequeño (entre 1.0×10^{-6} y 1.0×10^{-4}) y el instrumento para pruebas de Torsión Dinámica para valores entre 1.0×10^{-4} y 1.0×10^{-2} .

Normalmente, cuando se realizan las pruebas de columna resonante junto con otra prueba, es necesario preparar una muestra para cada prueba. Sin embargo, en este estudio - como se muestra en la fig. 1- se utilizó un aparato en donde el soporte de los dos instrumentos es el mismo, lo cual permite utilizar la misma muestra para las dos pruebas.

C.2 METODOLOGÍA.

Los procesos de prueba de cargas dinámicas mencionados anteriormente, son iguales a los empleados en pruebas triaxiales estáticas. La consolidación de las muestras se realizó homogéneamente utilizando la presión efectiva de sobrecarga. Al momento de la prueba las muestras no fueron drenadas.

C.2.1 Prueba de Columna Resonante.

En esta prueba se provocan vibraciones senoidales forzadas en la parte superior de la muestra por medio de un actuador y, posteriormente, se ajusta la frecuencia del vibrador (actuador), con el fin de medir la frecuencia de resonancia f y la velocidad de vibración V . Ese proceso se repite para diez diferentes fuerzas de excitación, para así obtener las características de deformación dinámica dentro del rango mencionado anteriormente (1.0×10^{-6} a 1.0×10^{-4}).

C.2.2 Prueba de Torsión Dinámica.

Una vez realizada la prueba de columna resonante, se transfiere la muestra al instrumento para pruebas de Torsión Dinámica en el que se le aplica una fuerza de torsión cíclica por medio de un servomecanismo hidráulico y se miden el torque T y el ángulo de

rotación Θ . Este proceso se realizó para 10 diferentes rangos de carga senoidal, incluyendo cada rango diez ciclos de carga.

C.2.3 Procesamiento de resultados de las pruebas.

C.2.3.1 Columna resonante.

Con base en la teoría de la elasticidad (deformaciones pequeñas), el coeficiente de rigidez al cortante (G) y la deformación angular γ se pueden calcular mediante las siguientes ecuaciones:

$$G = \rho \left(\frac{2\pi f L}{F} \right)^2 \quad (C.1)$$

$$\gamma = \frac{RV}{3Lfr} \quad (C.2)$$

donde :

ρ = densidad ($\text{g s}^2/\text{cm}$)

R = Radio de la muestra (cm)

F se obtiene mediante:

$$F \tan(F) = Js / (Ja - Ks / (2\pi f)^2)$$

L= Altura de la muestra (cm)

r= distancia entre el medidor de velocidad y el eje de rotación

Js= momento de inercia de la muestra respecto al eje de rotación (g cm s)

Ja y Ks son constantes del instrumento.

C.2.3.2 Torsión dinámica

En este caso, se mide el torque T y el ángulo de rotación Θ en el décimo ciclo de cada rango de carga y, con base en estos datos, se calculan G y γ mediante:

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (C.3)$$

donde

$$\tau = \frac{\left(\frac{4T}{3\pi r^3} + \frac{3T}{2\pi r^3} \right)}{2} \quad (C.4)$$

$$\gamma = \frac{2\theta r}{3L} \quad (C.5)$$

y

T= Torque (kgf cm)

L= Altura de la muestra (cm)

r = Radio de la muestra (cm)

Θ = ángulo de rotación (radianes)

En este caso, τ significa el esfuerzo cortante promedio y se obtiene calculando el promedio de las partes elástica (primer sumando en C.4) y plástica (segundo sumando en C.4). Posteriormente, se calcula el cociente de amortiguamiento histerético (h) con base en las curvas de histéresis, esto es:

$$h = \frac{\Delta W}{2\pi W} \quad (C.6)$$

donde W y ΔW son las superficies que se muestran en la figura siguiente.

C.4 RESULTADOS.

Después de realizar las pruebas descritas, se obtuvieron los coeficientes de rigidez al corte, cociente de amortiguamiento histerético y la deformación angular para cada muestra. Estos resultados se encuentran graficados en forma semilogarítmica (log en las abscisas y lineal en las ordenadas) en las figs. 2 a la 11.

Tabla 1. Especificaciones para las pruebas de columna resonante y torsión dinámica

	PRUEBA DE COLUMNA RESONANTE	PRUEBA DE TORSIÓN DINÁMICA
Forma de carga	Vibración forzada de torsión	Torsión cíclica
Conceptos de control	Voltaje de entrada, frecuencia	Torque
Frecuencia	~10 Hz	30 Hz
Rangos de carga	~10	~10
Conceptos para medir	Frecuencia de resonancia, velocidad	Torque, ángulo de rotación
Nivel de deformación	1×10^{-6} - 1×10^{-4}	1×10^{-4} - 1×10^{-2}

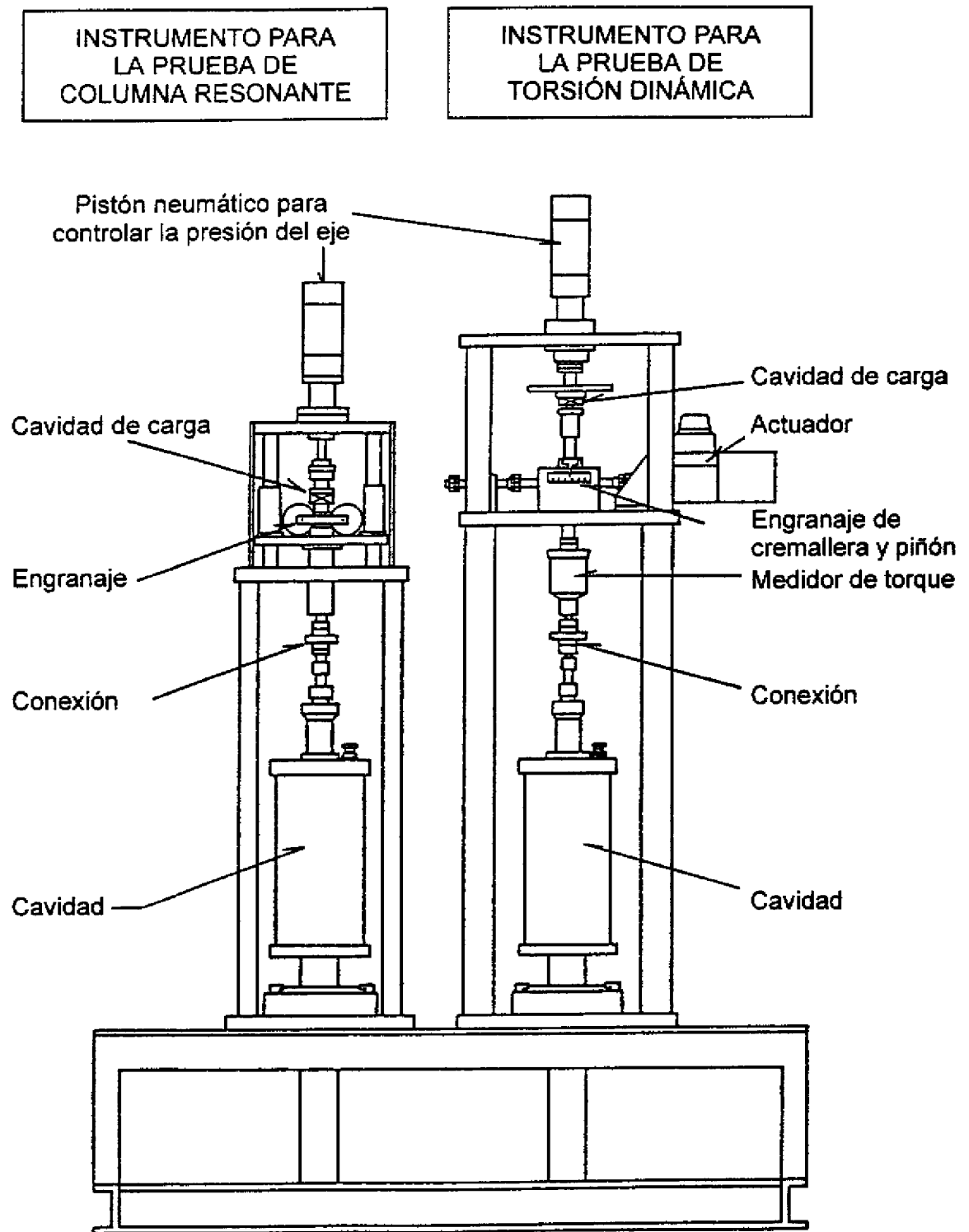


Fig. 1 Instrumento de pruebas

Tabla 2. Muestras para efectuar las pruebas de torsión dinámica y de columna resonante

NO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD DE MUESTREO (m)	PRESIÓN EFECTIVA DE CIERRE (kgf/cm ²)	DENSIDAD DE HUMEDAD INICIAL (g/cm ³)	CONTENIDO DE AGUA (%)	DENSIDAD DE SEQUEDAZ INICIAL (g/cm ³)	DENSIDAD DE SEQUEDAZ POSTERIOR A LA CONSOLIDACIÓN (g/cm ³)	G _s (Y= 10 ⁻⁵) (kgf/cm ²)
B9 - 1	5 - 5.90	0.40	1.136	353.9	0.250	0.264	50
B9 - 2	10 - 10.90	0.70	1.099	378.8	0.230	0.265	36
B9 - 3	20 - 20.90	0.40	1.135	298.0	0.285	0.392	84
B9 - 4	25 - 25.90	0.50	1.162	286.7	0.301	0.318	45
B9 - 5	30 - 30.90	0.50	1.079	369.3	0.230	0.262	30
B11 - 1	5 - 5.90	0.50	1.127	279.7	0.297	0.301	52
B11 - 2	10 - 10.90	0.50	1.101	334.3	0.254	0.277	30
B11 - 3	20 - 20.90	0.50	1.131	354.7	0.249	0.256	50
B11 - 4	25 - 25.90	0.50	1.107	307.7	0.271	0.291	33
B11 - 5	30 - 30.90	0.50	1.141	295.2	0.289	0.305	52

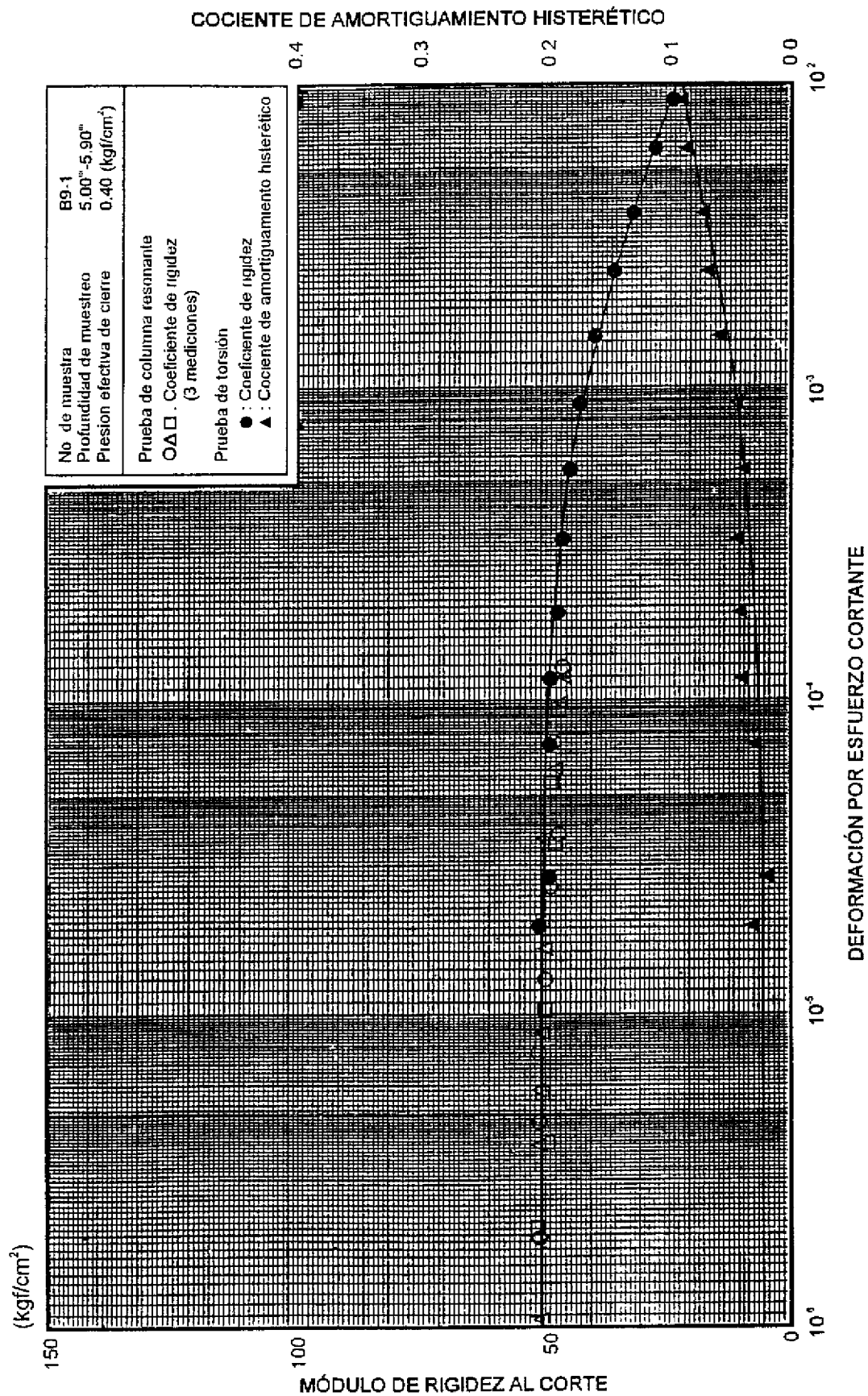


Fig. 2 Resultados de las pruebas de mecánica de suelos

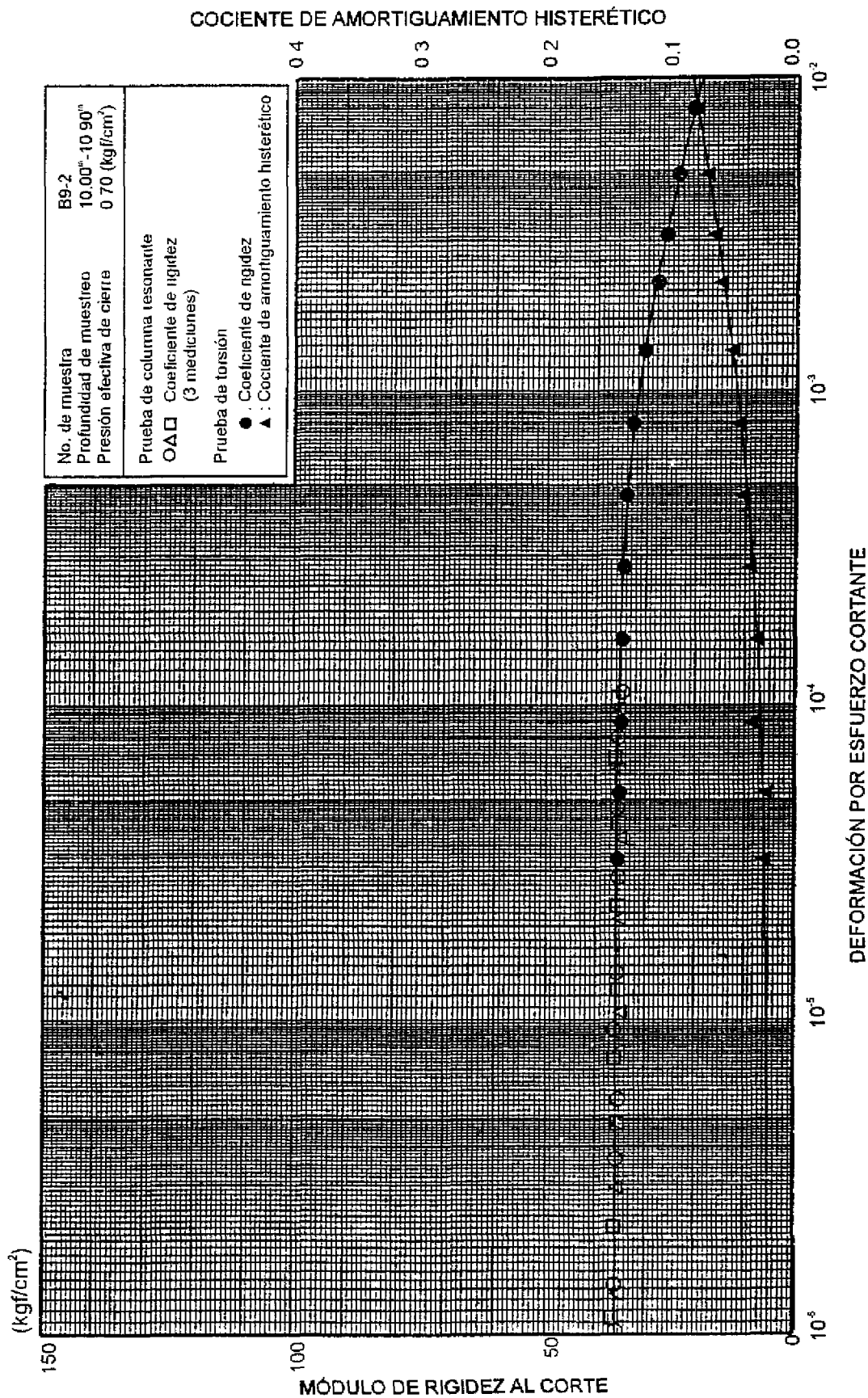


Fig. 3 Resultados de las pruebas de mecánica de suelos

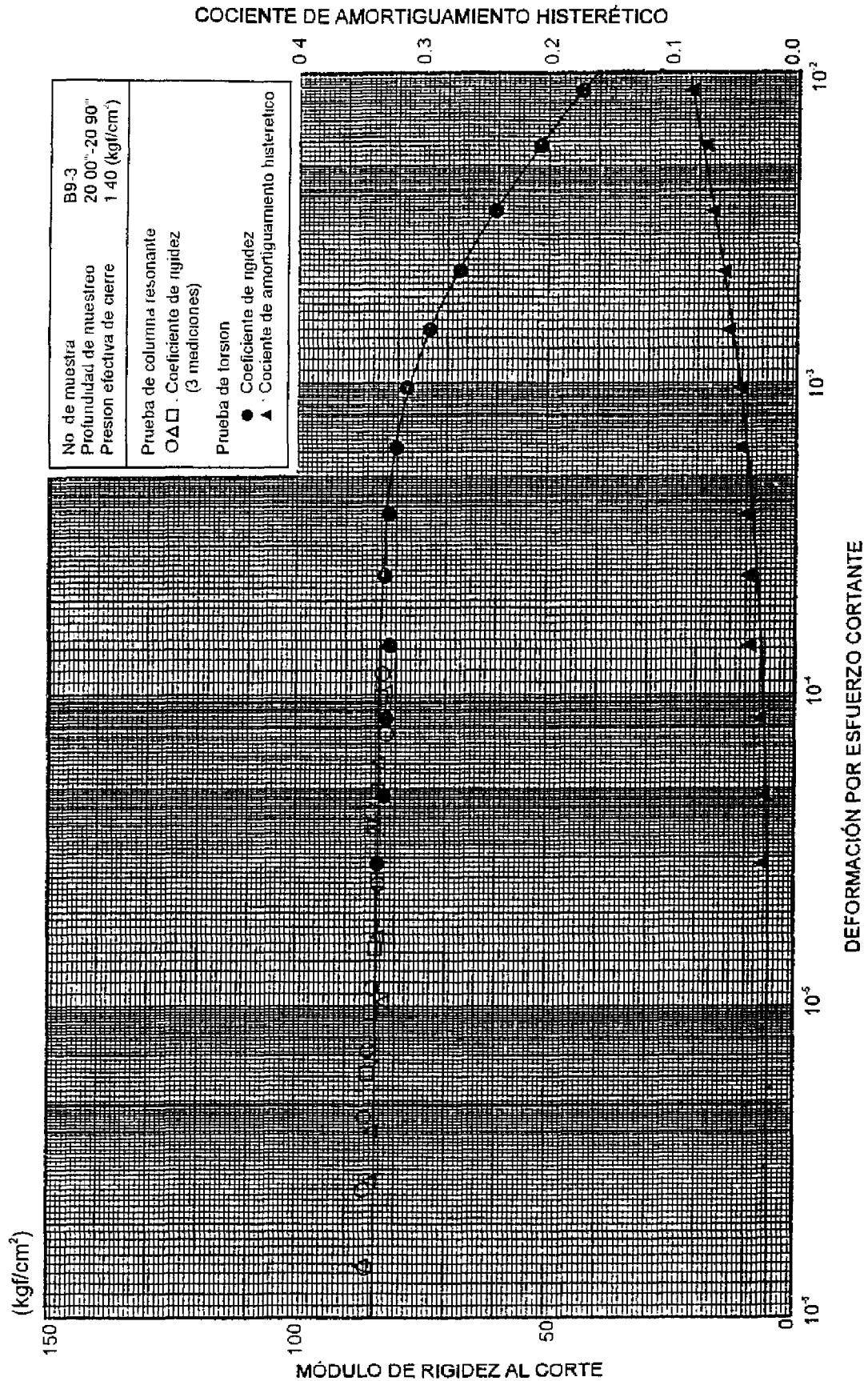


Fig. 4 Resultados de las pruebas de mecánica de suelos

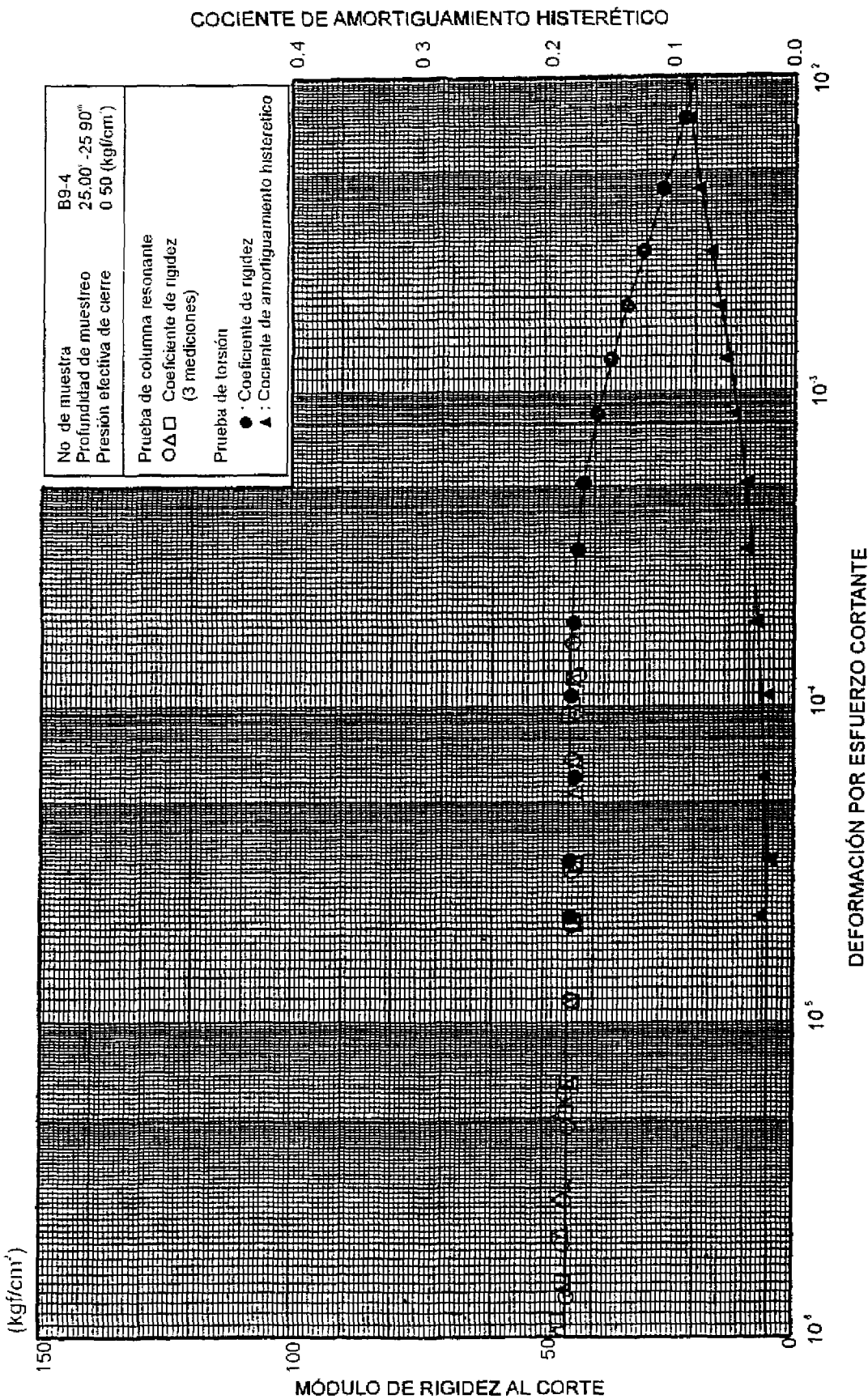


Fig. 5 Resultados de las pruebas de mecánica de suelos