

Capítulo VI

ENSAYOS *IN SITU*

6.1 Introducción

La determinación de las propiedades del suelo a partir de ensayos realizados en el laboratorio presenta algunos inconvenientes. Según se indica en el capítulo V este método consiste en tomar muestras del terreno y ensayarlas posteriormente, manteniendo en lo posible, las condiciones iniciales.

Entre las limitaciones que presenta pueden destacarse la alteración de las propiedades del suelo durante la toma de muestras. Las arcillas pueden sufrir una disminución en su resistencia debido al inevitable remoldeo.

Es frecuente, en estos suelos residuales con trozos de roca semidescompuesta, que la muestra tomada no sea representativa de una gran masa de terreno. Abundan los fragmentos rocosos que forman parte del suelo debido a la inevitable pequeñez de las muestras. Al mismo tiempo se añade la dificultad de la toma en estas zonas.

Se traduce también en un problema el intento de reproducir en el laboratorio los cambios de tensiones que pueden ocurrir *in situ*.

Teniendo en cuenta el margen de error presente a la hora de caracterizar el suelo mediante los ensayos de laboratorio es conveniente recurrir, siempre que sea posible, a los ensayos *in situ*.

6.2 Ensayo de placa de carga

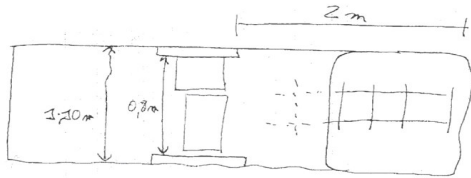
El ensayo de placa de carga permite determinar las características de deformación y resistencia del terreno.

Consiste en colocar una placa sobre el terreno, aplicar una serie de cargas, y medir los desplazamientos. El resultado se representa en un diagrama tensión-desplazamiento.

Se realizan tres ensayos de carga con motivo de la ampliación del Hospital de Sant Pau (ver ubicación en el anejo 3). El primero en el interior de una galería existente en el mismo solar, a una profundidad de 5,5 metros

aproximadamente (figura 6.1). El terreno que aflora en el interior de la galería es pizarra.

PLANTA



ALZADO

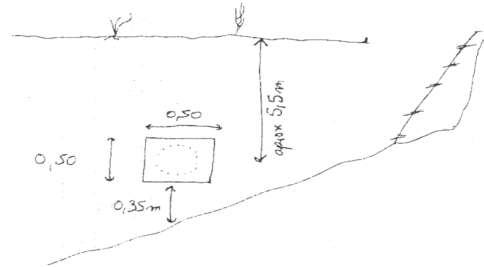
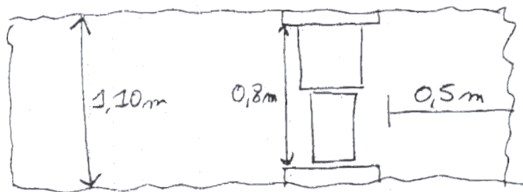


Figura 6.1: Croquis de la galería realizado por Mekano4, S.A. (2000)

Los dos ensayos restantes se realizan en el interior de dos zanjas a 2,45 metros de profundidad aproximadamente (figura 6.2). En estas zanjas el terreno que aflora es arcilloso.

PLANTA



ALZADO

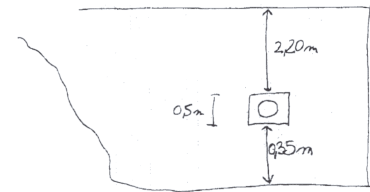


Figura 6.2: Croquis de las zanjas realizado por Mekano4, S.A. (2000)

La metodología del ensayo consiste en colocar dos placas de forma vertical sobre el terreno, de dimensiones 500x500x50 milímetros sujetas a éste mediante unos pernos (figura 6.3). Se cargan las dos placas situadas sobre paredes opuestas con el mismo gato. Se añaden unas vigas de perfil metálico a las placas para que esté perfectamente encajado en el terreno y una rótula para atenuar y corregir una posible desviación del gato al cargar. Se incorporan también dos extensómetros en los extremos de la placa y diametralmente opuestos, obteniéndose así el desplazamiento medio en el centro de la misma más el de los extremos. También se añaden unos comparadores analógicos en el perímetro de la placa para captar movimientos no uniformes.

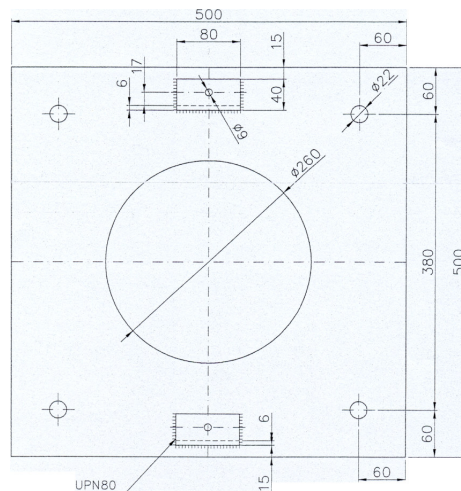


Figura 6.3: Detalle de las placas realizado por Mekano4, S.A. (2000)

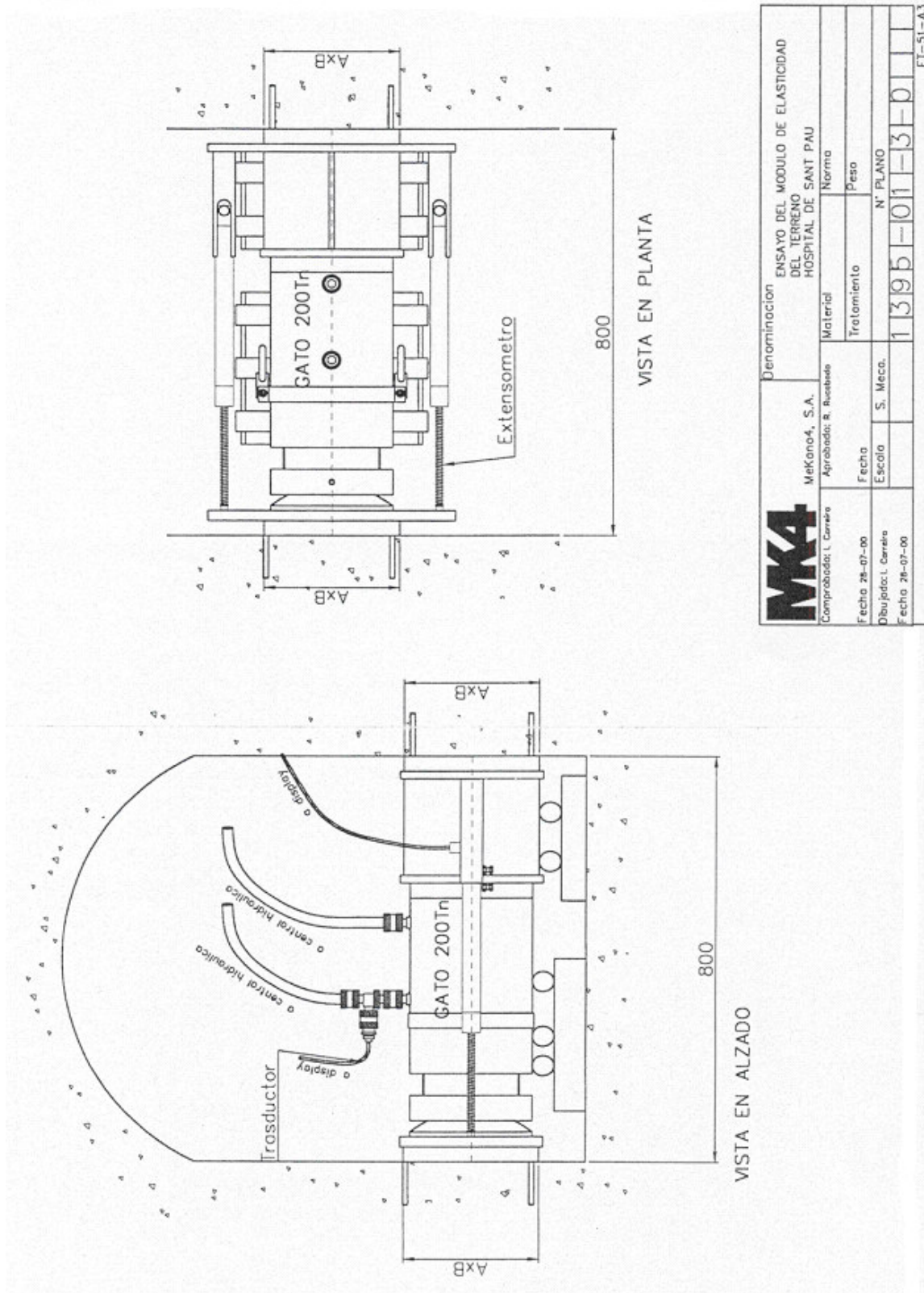


Figura 6.4: Croquis de montaje de las pruebas en galería y zanjas realizado por Mekano4, S.A. (2000)

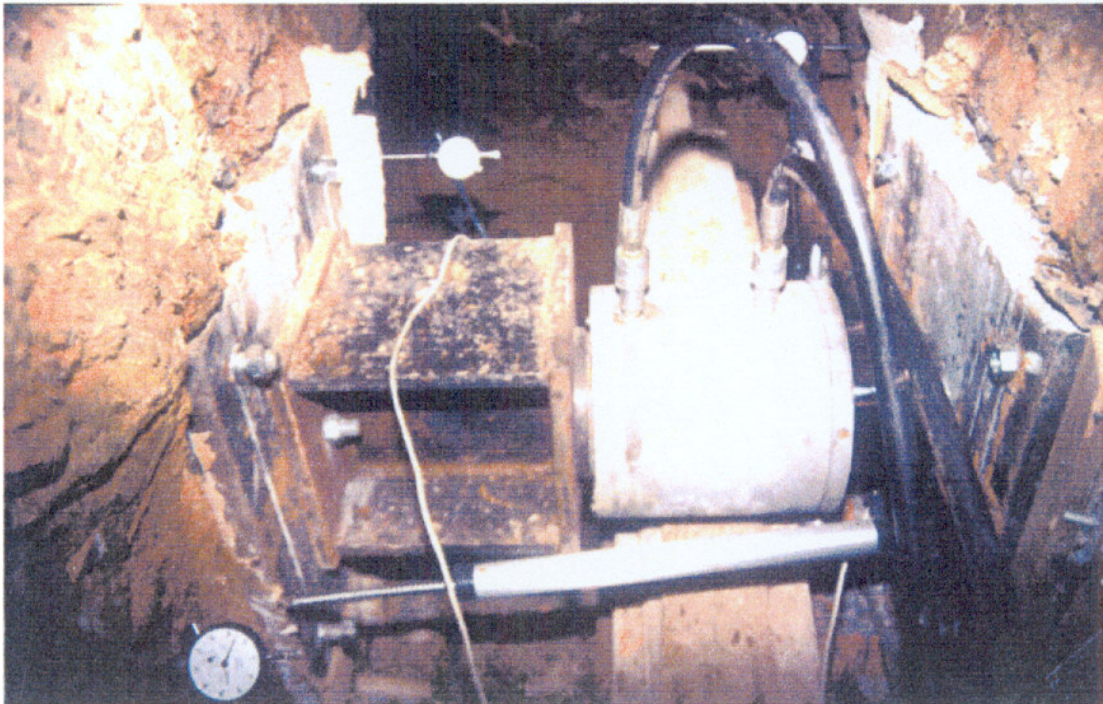


Figura 6.5: Fotografía de la prueba en galería realizada por Mekano4, S.A. (2000)

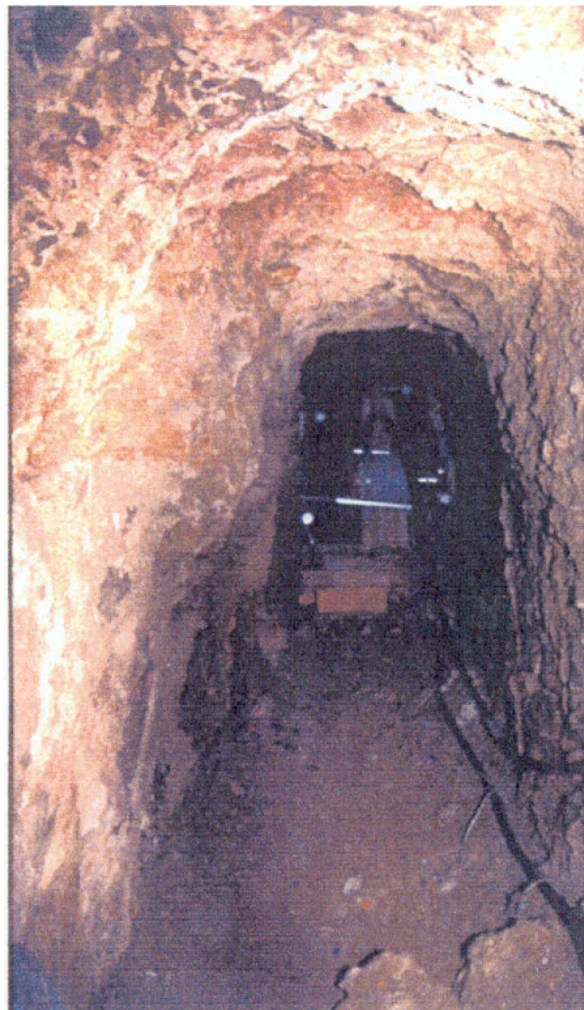


Figura 6.6: Fotografía de la galería realizada por Mekano4, S.A. (2000)

Se registran los datos de presión, fuerza y alargamiento medidos por el manómetro y el extensómetro en soporte digital. A partir de esta información se obtiene la relación tensión-desplazamiento de donde se deducen los parámetros resistentes del suelo. Los resultados del ensayo se presentan en el anejo 3.

El área de presión de un gato es la superficie en la que ejerce la presión el aceite hidráulico dentro de la cámara de tesado. Un gato MH-200 tiene un área de presión de 296,10 cm². (Características técnicas del gato MH-200 en el anejo 3).

Las figuras 6.4 y 6.5 muestran en detalle el montaje de las pruebas realizadas *in situ*.

El escalón de carga de los ensayos en las zanjas al aire libre fue de 5 bars desde el inicio hasta rotura. En este caso el terreno es claramente arcilloso. En la galería, en cambio, aflora el substrato de pizarra (figura 6.6) que presenta gran resistencia al proceso de carga. Se incrementa en 10 bars durante la primera fase de deformación elástica del terreno hasta el escalón 80 bars, a partir del cual se subió de 20 en 20 bars hasta rotura.

6.3 Interpretación de los resultados

A partir del registro en soporte digital de los datos de presión, fuerza y alargamiento medidos por el manómetro y el extensómetro se obtiene la relación tensión-desplazamiento (ver anejo 3).

Se determinan los parámetros resistentes del suelo, a partir de los registros mencionados, tras un análisis individual de la zona elástica y plástica.

6.3.1 Zona elástica

A partir del diagrama tensión-desplazamiento que representa cada ensayo y utilizando las fórmulas de la teoría de la elasticidad (6.1) se deduce el módulo de deformación o de Young (E).

$$\Delta\delta = \frac{\sigma}{E} \times B \times (1 - \nu^2) \times I \quad (6.1)$$

donde:

$\Delta\delta$ es el movimiento producido al aplicar una tensión

σ es la tensión aplicada

B es el ancho de la placa que aplica la tensión al terreno

ν es el coeficiente de Poisson al que se supone un valor de 0,2

I es el coeficiente de forma que para una placa cuadrada es 1,18

Se obtiene un módulo de deformación a partir de (6.1) para las pizarras que aparecen en la galería y para las arcillas que se ensayan en las zanjas. Los resultados obtenidos son los siguientes:

ELASTICIDAD - CÁLCULO DE E

GALERÍA	P	E	def total	inc δ	tensión	B	ν	$1-\nu^2$	I
C-1	bars	N/m ²	mm	mm	N/m ²	mm	adim	adim	adim
	20	4,53E+09	0,50	0,25	2,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
	40	4,53E+09	1,00	0,50	4,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
	60	3,78E+09	1,80	0,90	6,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
	80	3,78E+09	2,40	1,20	8,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
PIZARRA		4,15E+09	N/m²						

ZANJA 1	P	E	def total	inc δ	tensión	B	ν	$1-\nu^2$	I
C-3	bars	N/m ²	mm	mm	N/m ²	mm	adim	adim	adim
	10	2,27E+09	0,50	0,25	1,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
	20	2,67E+09	0,85	0,43	2,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
	30	2,27E+09	1,50	0,75	3,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
	40	2,21E+09	2,05	1,03	4,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
ARCILLA		2,35E+09							

ZANJA 2	P	E	def total	inc δ	tensión	B	ν	$1-\nu^2$	I
C-2	bars	N/m ²	mm	mm	N/m ²	mm	adim	adim	adim
	10	-	0,00	0,00	1,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
	20	1,13E+10	0,20	0,10	2,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
	30	4,25E+09	0,80	0,40	3,00E+06	500	0,20	0,96	1,18
	35	3,60E+09	1,10	0,55	3,50E+06	500	0,20	0,96	1,18
ARCILLA		4,79E+09							

ARCILLA **3,57E+09** N/m²

El valor de E obtenido para las pizarras a partir del ensayo de placa de carga es inferior al obtenido para las mismas a partir de los ensayos de prospección sísmica (capítulo IV).

Las diferentes características entre los métodos utilizados permiten prever esta diferencia de valor. Los ensayos sísmicos se caracterizan porque el suelo sufre muy pequeñas deformaciones y en un periodo muy corto de tiempo lo que favorece el aumento del valor del módulo de deformación.

6.3.2 Zona plástica

A partir de la fórmula de Brinch-Hansen (6.2) que permite calcular, en rotura, la carga de hundimiento en cimentaciones superficiales, se deduce la resistencia al corte sin drenaje (C_u) para el caso no drenado.

$$q_r = 5,14 \times C_u \times (1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q \quad (6.2)$$

donde:

q_r es la carga de hundimiento de la cimentación superficial

C_u es la resistencia al corte sin drenaje

s'_c es el factor de corrección de la forma de la cimentación (6.3)

d'_c es el factor de corrección de la profundidad de la cimentación (6.4)

i'_c es el factor de corrección de la inclinación de la carga

b'_c es el factor de corrección de la inclinación de la base

g'_c es el factor de corrección de la inclinación del terreno

q es una sobrecarga equivalente del terreno situado sobre el plano de cimentación

En el caso que nos ocupa sólo se tienen en cuenta dos factores de corrección, el de la forma (s'_c) y el de la profundidad (d'_c) de la cimentación. Tampoco se considera, al no existir, el terreno situado por encima del plano de cimentación (q).

Los factores de corrección propuestos por Brinch-Hansen son los siguientes:

$$s'_c = 0,2 \times \frac{B}{L} \quad (6.3)$$

donde:

B es el ancho de la cimentación, en metros

L es la longitud de la cimentación, en metros

$$d'_c = 0,4 \times \tan^{-1} \frac{D}{B} \quad (6.4)$$

donde:

D es la profundidad de la cimentación respecto la superficie, en metros

Se obtiene un valor de C_u a partir de (6.2) para las pizarras y para las arcillas. Los resultados obtenidos son los siguientes:

PLASTICIDAD - CÁLCULO DE C_u

GALERÍA	C_u	q_r	2+p	l	s'_c	B	L	d'_c	D	$\tan^{-1}(D/B)$
C-1	N/m ²	N/m ²	adim	adim	adim	M	m	adim	m	adim
	1,67E+06	2,80E+07	5,14	1,00	0,2	0,50	0,50	2,06	5,50	5,14

PIZARRAS 1,67E+06 N/m²

ZANJA 1	C_u	q_r	2+p	l	s'_c	B	L	d'_c	D	$\tan^{-1}(D/B)$
C-3	N/m ²	N/m ²	adim	adim	adim	M	m	adim	m	adim
	4,98E+05	1,50E+07	5,14	1,00	0,2	0,50	0,50	4,67	2,45	11,66

ARCILLA 4,98E+05 N/m²

ZANJA 2	C_u	q_r	2+p	1	s'_c	B	L	d'_c	D	$\tan^{-1}(D/B)$
C-2	N/m ²	N/m ²	adim	adim	adim	m	m	adim	m	adim
	3,78E+05	1,14E+07	5,14	1,00	0,2	0,50	0,50	4,67	2,45	11,66

ARCILLA 3,78E+05 N/m²

ARCILLA 4,38E+05 N/m²

Se obtiene un valor de C_u para las arcillas a partir del ensayo de placa de carga superior al obtenido para las mismas a partir del ensayo triaxial convencional (capítulo VII). Resulta contradictorio este valor obtenido, debido a que las arcillas ensayadas en las zanjas se suponían a una profundidad inferior que las obtenidas para la realización de los ensayos triaxiales, presuponiendo así un resultado para estas últimas superior.

A partir de la representación gráfica de las trayectorias de tensiones en el espacio de Lambe se puede analizar este fenómeno. A mayor profundidad mayores tensiones iniciales y mayor recorrido de las trayectorias de tensiones hasta producirse la rotura. Por consiguiente mayor C_u .

Se puede suponer tras este razonamiento que los parámetros de laboratorio corresponden al terreno saturado, y la no saturación del terreno natural produce un incremento en su resistencia sin drenaje.

También cabe la posibilidad que la posible alteración en la toma de muestras, tal como se indica al inicio del capítulo, disminuya el valor de C_u respecto a los resultados de laboratorio.

6.4 Parámetros geotécnicos obtenidos de los ensayos *in situ*

VI- ENSAYOS <i>IN SITU</i>		
Descripción	E-módulo Young (N/m ²)	Cu-módulo de corte (kp/cm ²)
PIZARRAS	4,15E+09	16,72
ARCILLAS	4,37E+09	4,38

Tabla 6.1: Parámetros obtenidos de los ensayos *in situ*