

Evaluación de la mejora de las características geomecánicas de un suelo coluvial inyectado por gravedad mediante el ensayo presiométrico de Ménard

MARCELO JORGE DEVINCENZI FABETTI (*)

RESUMEN En el presente trabajo se describe y analiza la utilización del Ensayo Presiométrico de Ménard como método de control para el tratamiento de un suelo coluvial mediante inyección por gravedad de una lechada de cemento-bentonita. Se describe brevemente el principio del ensayo y se analizan la evolución de las curvas y parámetros presiométricos, realizados antes, durante y al finalizar la mejora del suelo. Se cuantifica la **eficiencia presiométrica** del tratamiento en términos de deformabilidad y de resistencia. Se describe el concepto de **Sondeo Presiométrico** y se realizan algunos comentarios sobre la influencia del método de perforación en la calidad del ensayo, presentando una tabla para la elección del método de perforación y tipo de sonda más idóneos, en función del tipo de suelo a investigar.

EVALUATION OF THE IMPROVEMENTS IN THE GEOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF A VALLEY FLOOR TREATED BY GRAVITY INJECTION, AS OUTLINED IN MENARD'S MEASURED-PRESSURE TRIAL

ABSTRACT In this present work Menard's Measured-Pressure Trial is described and its use is analyzed as a means of control in the treatment of a valley floor, using gravity injection of a cement bentonite mix. The beginning of the trial is described briefly and an analysis is carried out of the evolution of the measured-pressure curves and parameters, taken before, during and after the improvement of the land. The **measured-pressure efficiency** of the treatment is quantified in terms of deformability and resistance. The **Measured-Pressure Exploration** concept is described and some remarks are made about the influence of the drilling method on the quality of the trial, and a table is given showing the choice of the most appropriate drilling method and drill type, according to the type of land to be investigated.

Palabras clave: Suelo coluvial; Auscultación; Ensayo presiométrico; Propiedades; Tratamiento del terreno; Inyección por gravedad; Lechada de cemento.

1. INTRODUCCIÓN

La presente comunicación surge en el marco de una investigación realizada en el suelo del trasdós de un muro anclado de 100 m de desarrollo y 20 m de altura ubicado en el casco urbano de Andorra la Vella, Principado de Andorra.

Dicho suelo había presentado localmente síntomas de inestabilidad que se manifestaron en la ruptura de algunos anclajes del muro.

Entre las posibles causas de esta inestabilidad se apuntaba, en un principio, a la variación de los parámetros geotécnicos del suelo original, ubicado en el trasdós, por un intenso lavado de finos. Entre las posibles correcciones para dicha inestabilidad del suelo, se consideró la mejora del terreno mediante inyección por gravedad de una lechada cemento-bentonita.

El trabajo consistió en la caracterización geomecánica del suelo en un estado inicial y después del tratamiento mediante el Ensayo Presiométrico de Ménard, cuantificando la variación de los parámetros medidos con este ensayo, con el fin de valorar la eficacia de las inyecciones.

2. MARCO GEOLÓGICO Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El muro se desarrolla a un lado del camino del Currubell, paralelo a la Avenida Príncep Benlloch en la ciudad de Andorra la Vella. Se encuentra al pie de la serranía de la Massana y sostiene materiales de derrubio proveniente de ésta.

Las elevaciones de la Massana conforman un brusco desnivel al Oeste de Andorra la Vella y están constituidas en este sector por esquistos laminados grises de edad cambro-ordovícica (Folch y Guillén, 1979). A su pie se desarrolla un potente piedemonte formado por clastos angulares groseros en una matriz areno-limosa.

Brevemente, podemos decir que se trata de un suelo granular grueso formado por un esqueleto de cantos angulares imbricados tamaño grava gruesa a bloque (fragmentos de

(*) Licenciado en Ciencias Geológicas. Titulado en Ingeniería Geológica. Titulado en Hidrogeología.

roca) con una matriz arenosa fina con bastante limo que rellena los huecos. Se puede clasificar de *cru* como GP a GM. La permeabilidad general del conjunto es muy elevada y sus parámetros presiométricos, bajos.

3. TRABAJOS REALIZADOS

Al tratarse de un suelo granular muy grueso, los sondeos a rotación con recuperación continua de testigo resultan extremadamente difíciles, además de aportar una información limitada, ya que al ser imprescindible un fluido de perforación, se produce un completo lavado de la fracción más fina, obteniendo muestras de dudosa representatividad. Los ensayos de penetración (spt o dinámicos continuos) tampoco son viables ya que invariablemente verificarían rechazo. En cambio, mediante el método presiométrico sí se ha podido obtener una correcta caracterización geotécnica de este suelo como se verá a lo largo de este trabajo.

3.1. PLAN DE TRABAJOS

Los ensayos se realizaron en varias etapas sucesivas. En la primera de ellas, a mediados de mayo de 1992, se ensayó el suelo en el estado actual de empujes sobre el muro. Las etapas siguientes se ejecutaron al cabo de 2, 5, 20 y 50 días de finalizada la inyección de taladros vecinos al ya ensayado.

De esta forma se ha podido medir en cada etapa el incremento de los parámetros presiométricos, así como analizar la evolución de las curvas presiométricas y de fluencia, permitiendo valorar la efectividad global del tratamiento.

En la Figura 1 se presenta la ubicación, en alzado y planta, de los sondeos y ensayos, indicando a qué etapa pertenecen.

Las inyecciones se llevaron a cabo por gravedad, es decir sin aplicación adicional de presión al fluido inyector, y en retirada desde el fondo del taladro, en tramos de 1 metro. Se consideraba finalizada la inyección cuando al ser reperforado, el sondeo no admitía más fluido. Este se componía de una lechada de cemento con bentonita al 10% en peso.

3.2. EJECUCIÓN DE LOS SONDEOS Y ENSAYOS. METODOLOGÍA

Se realizaron sondeos verticales y sondeos horizontales. Los primeros se perforaron desde el camino del Currubell por el sistema de rotoperforación con un equipo KLEMM 701, provisto de doble martillo en cabeza, de manera que permite simultáneamente el entubado de la perforación a medida que se avanza, utilizando un varillaje interior provisto de un tallante de 62 mm de diámetro (ver fotografía 1).

Los sondeos horizontales (H1 y H2) se realizaron desde el intradós del muro aplicando la técnica de rotación con extracción de testigo, utilizando corona de widia de 65 mm.

Se realizó también un sondeo inclinado con la primera técnica desde el camino del Currubell hasta intersectar el sondeo horizontal H2.

Los ensayos se realizaban a medida que avanzaba la perforación, deteniendo el revestimiento del taladro y avanzando sólo con la sarta interior (con la aplicación de lodo bentonítico) en la zona a realizar el presiómetro, aproximadamente 1,75 metros. En este punto se retiraba el varillaje interior + tallante y se procedía a la introducción de la sonda presiométrica protegida. Cuando la sonda no alcanzaba la cota de ensayo por derrumbes parciales de la zona desnuda del taladro, se procedía su hincado.

3.3. CARACTERÍSTICAS DEL PRESIÓMETRO

Para la ejecución del trabajo se utilizó un presiómetro GEOMATECH CPV-200. Teniendo en cuenta el tipo de terreno a

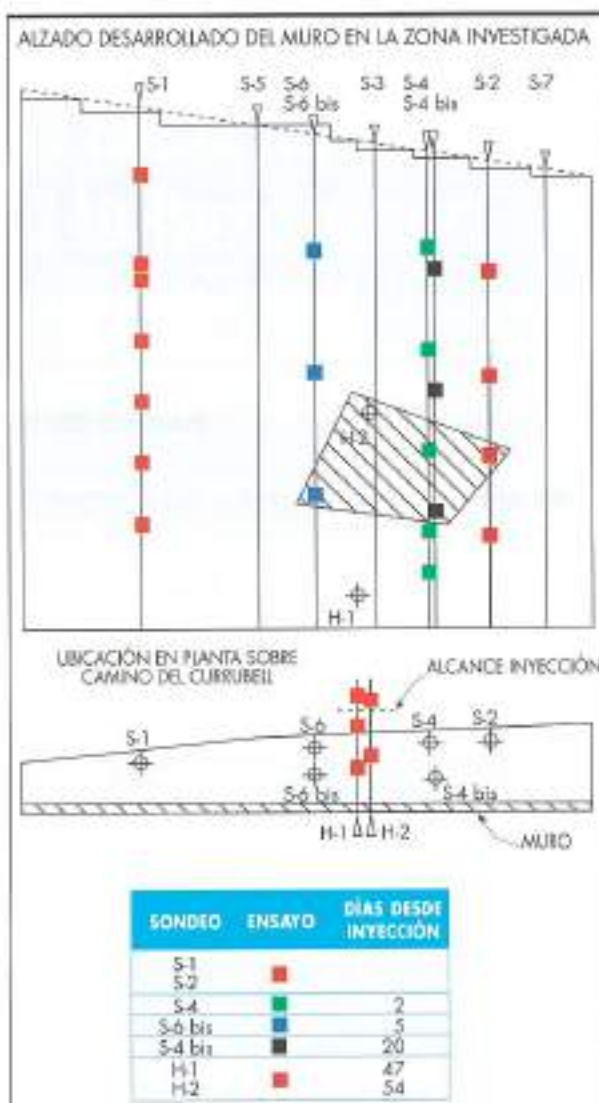


FIGURA 1. Ubicación de los sondeos y ensayos de las distintas fases del trabajo.

ensayar, se utilizó una sonda con funda de caucho telado de 44 mm de diámetro exterior, protegida con un tubo ranurado longitudinalmente ('tube fendu' en la literatura francesa, 'slotted tube' en la anglosajona) de 60 mm de diámetro exterior (fotografía 2).

Los tubulares utilizados fueron del tipo coaxial de alta presión (tecalán HP), con deformaciones prácticamente nulas hasta presiones aplicadas de 25 bares.

Para la central de lectura, tubular y sonda utilizados se determinó:

$$P_{el} = 2,6 \text{ bar}$$

$$a = 0,167 \text{ cm}^3/\text{bar}$$

siendo 'P el' la presión de 'inercia' de la sonda y 'a' la constante de compresibilidad del equipo.

4. PARÁMETROS PRESIOMÉTRICOS

De forma resumida, el ensayo presiométrico de Ménard consiste en efectuar una carga lateral creciente del terreno por medio de una sonda cilíndrica triacelular dilatante radial-



FOTO 1. Equipo de sondeos KLEMM MR-70, doble cabezal de rotoperforación en cabeza.



FOTO 2. Central Presiométrica GEOMATECH CPV-200. Tuba ranurada de 60 mm durante medida de la inercia de la sonda.

mente que se introduce en un taladro previo o bien es hincada, dependiendo de las características del terreno y de la sonda.

El ensayo se analiza a partir de la teoría elastoplástica de la expansión de una cavidad cilíndrica en un medio indefinido, permitiendo definir los tres parámetros siguientes:

- Módulo Presiométrico de Ménard E_M .
- Presión de Fluencia P_f .
- Presión Límite P_l .

E_M es un módulo de distorsión medido en un campo de esfuerzos desviatorios que caracteriza la fase pseudelástica del ensayo.

P_l es por definición la abscisa de la asíntota de la curva presiométrica (deformación indefinida). Convencionalmente se define la P_l como aquella que introduce una deformación igual al doble del volumen inicial de la cavidad (incremento de radio de 41,4%), denominado volumen límite.

P_l es independiente hasta cierto punto de la alteración de las paredes del taladro (no así E_M).

La presión de fluencia P_f marca el fin de la fase pseudelástica del ensayo; se utiliza como un parámetro indirecto para verificar la calidad del ensayo y para estimar la P_l .

Una relación utilizada para la interpretación del ensayo es el cociente E_M/P_l^* , donde P_l^* es la presión límite neta. Si

bien no existe una relación funcional entre E_M y P_l (ambos parámetros cuantifican fenómenos de distinta naturaleza), Ménard ha notado que E_M/P_l^* guarda una estrecha relación con el grado de consolidación del suelo y se mantiene aproximadamente constante dentro de una misma formación geológica.

Por otro lado, esta relación permite además apreciar la calidad del ensayo, pues un sondeo donde el terreno ha sido fuertemente alterado E_M/P_l^* suele ser inferior a 5 (Cassan, 1982).

5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

En la tabla 1 se presentan los valores paramétricos medios obtenidos en las distintas fases del trabajo, graficados en la figura 3. A continuación se comenta lo observado en cada fase.

5.1. FASE 1: ENSAYOS EN SUELO NATURAL (ESTADO INICIAL)

La primera fase consistió en una serie de 11 ensayos en los sondeos S1 y S2.

Las curvas presiométricas obtenidas, salvo alguna excepción, presentan el aspecto de las curvas teóricas en las que se distinguen las tres fases del ensayo (fase de acomodación de la sonda al terreno, tramo aproximadamente lineal y fase de grandes deformaciones). La curva de fluencia presenta también la morfología "clásica" de una línea poligonal, cuyos

FASE	DÍAS DESDE INYECCIÓN	EM	PL	E/PL*
1	0	34,4	6,7	6,3
2	2	18,1	3,7	8,2
3	5	30,6	8,0	4,4
4	20	68,9	15,7	4,9
5	50	113,2	18,3	6,6

TABLA 1. Evolución parámetros presiométricos.

vértices corresponden a las distintas fases de la curva presiométrica.

En 3 ensayos no se distingue un tramo lineal en la curva presiométrica, sino que el medio responde a la aplicación de los escalones de presión deformándose plásticamente desde el inicio del ensayo.

Esta morfología de curvas responde más a la de un relleno no consolidado que a la de un suelo natural y evidencian la alteración local de la estructura original del terreno, hecho también corroborado durante la ejecución del taladro ya que en este tramo el fluido del circuito de perforación llevó a la superficie trozos de madera.

Se descarta la alteración del taladro como única causa de estas curvas atípicas ya que ésta resulta al menos homogénea en toda la profundidad del mismo, si bien es cierto que en estos ensayos las relaciones E_p/PI^* son las menores; evidentemente en estos tramos el suelo es más susceptible de ser alterado con la perforación.

Por último, se han detectado huecos en 2 ensayos, obteniendo en estos ensayos las curvas de inercia de las sondas.

El ángulo de rozamiento para calcular los empujes sobre muros de sostenimiento puede estimarse a partir las correlaciones propuestas por Amar et al. (1991), obteniendo para estos ensayos una media de 28° .

5.2. FASE 2: ENSAYOS A 2 DÍAS DE INYECCIÓN

En la segunda fase del estudio se realizaron 5 ensayos en el sondeo S4, ubicado entre los sondeos de inyección S2 y S3.

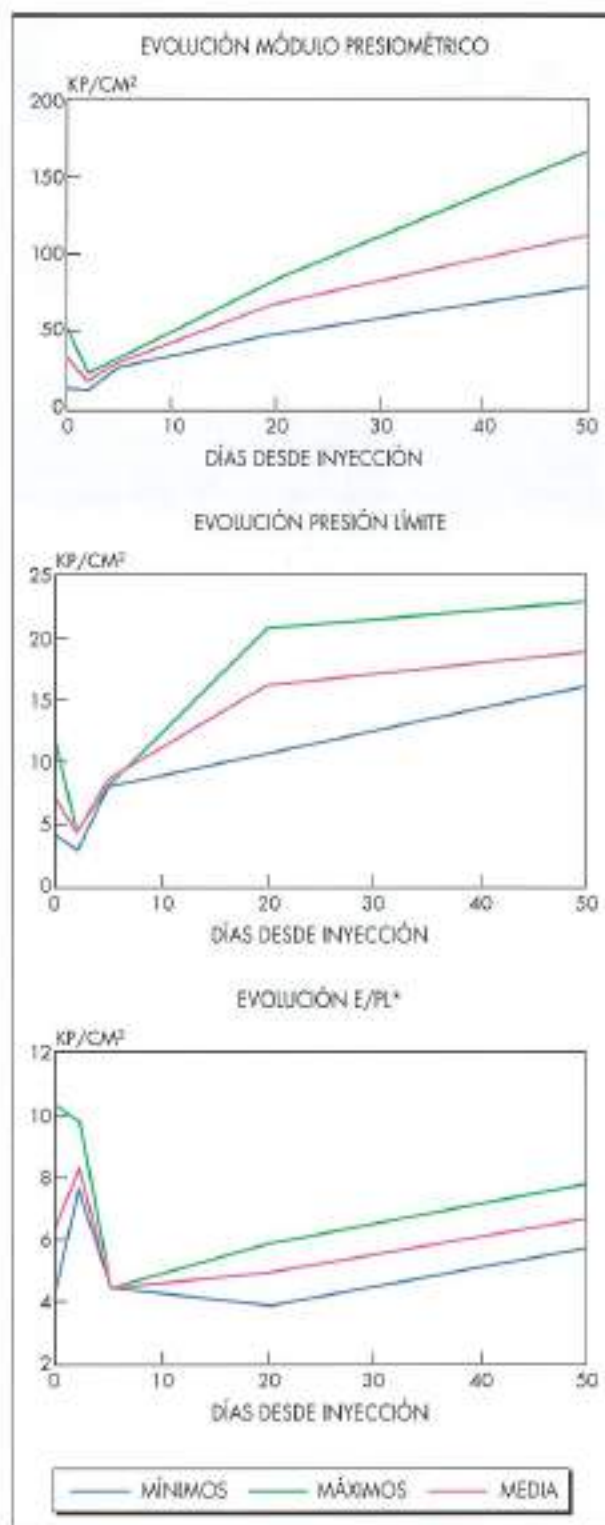
Las curvas presiométricas obtenidas no presentan en absoluto el perfil normal, sino que la relación esfuerzo-deformación es aproximadamente lineal desde el inicio del ensayo hasta alcanzar la PI convencional. En las curvas de fluencia se observa que las deformaciones diferidas se manifiestan e incrementan desde el inicio del ensayo.

Los parámetros medidos son francamente inferiores a los de la primera fase (tabla 1). Se debe destacar que la determinación de E_{51} resulta aproximada, dada la geometría de las curvas. Por otro lado, no se puede afirmar que los valores de la PI representen estrictamente la realidad, al ser del mismo orden que la presión de inercia de la sonda; no obstante, se confirma una clara disminución de este parámetro.

Este hecho puede atribuirse a la saturación del medio como consecuencia tanto del fluido de perforación como de la propia inyección, lo que a su vez origina una mayor susceptibilidad a la alteración de la pared del taladro durante la perforación.

5.3. FASE 3: ENSAYOS A 5 DÍAS DE INYECCIÓN

Se realizaron 3 ensayos en el sondeo S6 bis (ubicado entre el S6 y el muro), al cabo de 5 días de finalizada la inyección de los sondeos S5 y S6.

FIGURA 2. Evolución de los parámetros presiométricos E_p , PI y E/PI^* .

La morfología de las curvas es similar a la de la fase anterior: las curvas presiométricas mantienen una tendencia lineal y las deformaciones diferidas (fluencia) se manifiestan e incrementan a partir de la aplicación de presiones muy bajas.

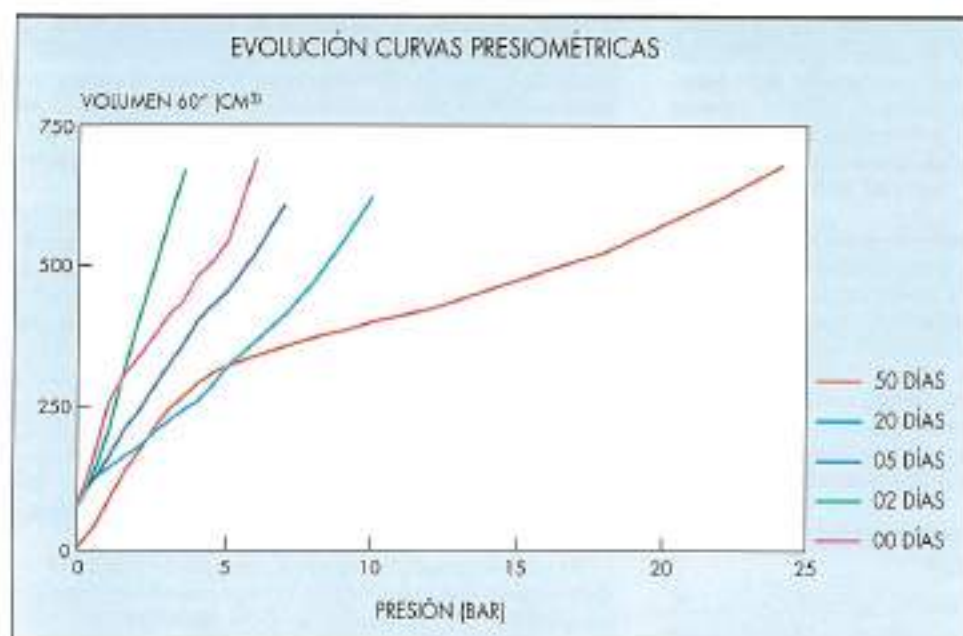


FIGURA 3. Curvas presiométricas de las distintas fases del trabajo correspondientes a la zona sombreada de la figura 1.

El E_M y la PI también evidencian un discreto aumento. Las relaciones E_M/PI^* son muy bajas, indicando la inevitable alteración del taladro.

5.4. FASE 4: ENSAYOS A 20 DÍAS DE INYECCIÓN

Se realizaron 3 ensayos en el sondeo S4 bis, ubicado entre el S4 y el muro, habiendo transcurrido 20 días desde la inyección del segundo.

Las curvas presiométricas tienden a tener una morfología normal; las curvas de deformaciones diferidas presentan tramos de fluencia nula (o muy baja y constante), pudiendo determinar de una forma clara la entrada en la fase de grandes deformaciones, es decir, el valor de P_f .

Se observa un claro aumento tanto de E_M como de PI . La relación E_M/PI^* resulta levemente inferior a 5.

5.5. FASE 6: ENSAYOS A 50 DÍAS DE INYECCIÓN

En la última fase del trabajo se realizaron 5 ensayos presiométricos en dos sondeos horizontales (H1 y H2) desde el intradós del muro, y en un sondeo inclinado perforado desde el camino del Carrubel hasta intersectar el eje del sondeo H2.

El tiempo transcurrido desde la inyección del sondeo S3, en cuya vertical se ubican el H1 y H2, era de 50 días.

Las curvas presiométricas y de fluencia presentan ahora un perfil clásico, pudiendo determinar perfectamente las tres fases del ensayo.

Los valores paramétricos de esta última fase son superiores a los de la anterior, con medias de $E_M = 113 \text{ kp/cm}^2$ y $PI = 18 \text{ kp/cm}^2$. La relación E_M/PI^* resulta algo más elevada que la del terreno natural.

Se debe destacar que la orientación del taladro parece no influir en los valores paramétricos medidos con el ensayo (Jézéquel, 1968; Cassan, 1982).

Si bien con dificultades operativas, la ejecución de los sondeos horizontales permitió además determinar el alcance en horizontal de la inyección, que resulta del orden de 5 metros en ambos.

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1. EFICACIA DE LAS INYECCIONES

Como era de esperar, se confirma la efectividad de la inyección, que se tradujo en el aumento de los parámetros presiométricos en función de los días transcurridos desde la inyección, tras una disminución inicial de los mismos, hecho atribuido a la saturación del medio y a una mayor susceptibilidad de éste a ser alterado por la perforación. En la figura 3 se trazan las curvas presiométricas brutas de los ensayos realizados en la zona sombreada de la figura 1, pudiendo analizar comparativamente su evolución en un sector específico del muro.

Se puede definir la **eficiencia presiométrica** de las inyecciones como la relación entre los parámetros presiométricos medios después y antes del tratamiento. En el presente caso se obtiene:

$$\begin{aligned} e_M &= 3,3 \\ e_P &= 2,7 \end{aligned}$$

siendo e_M y e_P la efectividad en términos de deformación (módulo presiométrico) y en términos de resistencia (presión límite), respectivamente.

Debe tenerse presente que el módulo presiométrico es un parámetro muy influenciado por la calidad de la perforación mientras que la presión límite es independiente, hasta cierto punto, de la alteración de las paredes del taladro.

6.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA LECHADA

Si bien no se dispuso de una población de datos suficiente como para realizar un análisis estadístico, se ha observado que, a partir de los 20 días de inyección, la resistencia a la compresión simple de las probetas de cemento-bentonita resultaba aproximadamente igual a la PI alcanzada con el ensayo presiométrico.

6.3. ENSAYO PRESIOMÉTRICO: COMPARACIÓN CON OTROS MÉTODOS DE CONTROL

Otros métodos de control se utilizan aceptablemente para evaluar la mejora de un suelo inyectado. Por ejemplo, ensa-

tos de penetración dinámica, testificación gamma-gamma en sondeos o ensayos geofísicos de ondas superficiales tipo Rayleigh. Dichos métodos han sido mencionados como técnicas de control para verificar la mejora de rellenos urbanos flujos mediante jet-grouting y la consolidación de rellenos y vertederos mediante columnas de grava, compactación dinámica y sustitución (Oteo y Sepéña, 1992; Oteo et al., 1993).

El ensayo presiométrico, aparte de poder ser aplicado a cualquier tipo de suelo, aporta la posibilidad de cumplir un objetivo múltiple ya que permite medir, en término de parámetros resistentes y de deformabilidad, la evolución de un tratamiento de inyección (o de otro tipo) hasta alcanzar el estado final del proceso.

Su relativa economía permite además realizarlos en suficiente número como para alcanzar una certeza estadística del conjunto. Por otro lado, no queda descartada la ejecución simultánea de otros ensayos en el mismo taladro.

7. INFLUENCIA DEL SISTEMA DE PERFORACIÓN EN EL RESULTADO DE LOS ENSAYOS

En la figura 4 se presentan curvas presiométricas y de fluencia de 3 ensayos ejecutados en taladros perforados con distintas técnicas y orientaciones.

La figura 3A corresponde al suelo natural, perforado verticalmente a rotoperforación con autotubado. Ambas curvas presentan su morfología típica.

La figura 3B (50 días) representa un ensayo realizado en un taladro inclinado, perforado con la misma técnica que el anterior. Si bien con un volumen inicial elevado (~300 cm³), la curva presiométrica presenta un perfil normal.

La figura 3C (también 50 días) corresponde a un ensayo realizado en un sondeo horizontal, perforado con recuperación de testigo con corona de widia de 66 milímetros. La curva presiométrica tiene una forma atípica, cóncava hacia

el eje de las abscisas, y las curvas de fluencia presentan un aspecto irregular (aunque puede definirse una presión a partir de la cual las deformaciones diferidas devienen importantes). Esta curvas anómalas son consecuencia de la superposición de dos causas: la orientación y el sistema de perforación, lo que se traduce en una fuerte alteración de las paredes del taladro.

La influencia del método de perforación en la calidad del ensayo es un hecho claramente establecido desde el inicio de la aplicación de esta técnica. Ménard (1975, 1976), hace específicas referencias al tipo de sondeo y forma de colocación de la sonda en función del tipo de suelo a investigar y la presencia o no del nivel freático.

Ventura Escario (1992) ha demostrado claramente la importancia del sistema de perforación para la obtención de parámetros representativos en el toso y arena de miga de Madrid. Precisamente en este trabajo, el autor realiza una transcripción de la "Notice Générale D 60" de la casa Ménard (Sols Soils n° 26) del epígrafe referente a la colocación de la sonda presiométrica en el terreno.

Resulta de interés introducir el concepto de **Sondeo Presiométrico**, muy extendido en Francia, que es en definitiva un sondeo de reconocimiento con dos condiciones:

1. El equipo y sistema de perforación utilizados deben producir la menor alteración posible a las paredes del taladro.
2. El diámetro del taladro debe cumplir con una tolerancia específica, compatible con el diámetro de la sonda.

Respecto al primer punto, la elección del sistema de perforación (y del tipo de sonda) se hará en función del tipo de terreno a investigar. La figura 5 fue confeccionada en base a las recomendaciones de Finn et al., 1986; Clarke, 1989; Cestari, 1990; Amar et al., 1991 y de las normas ASTM D-4719-

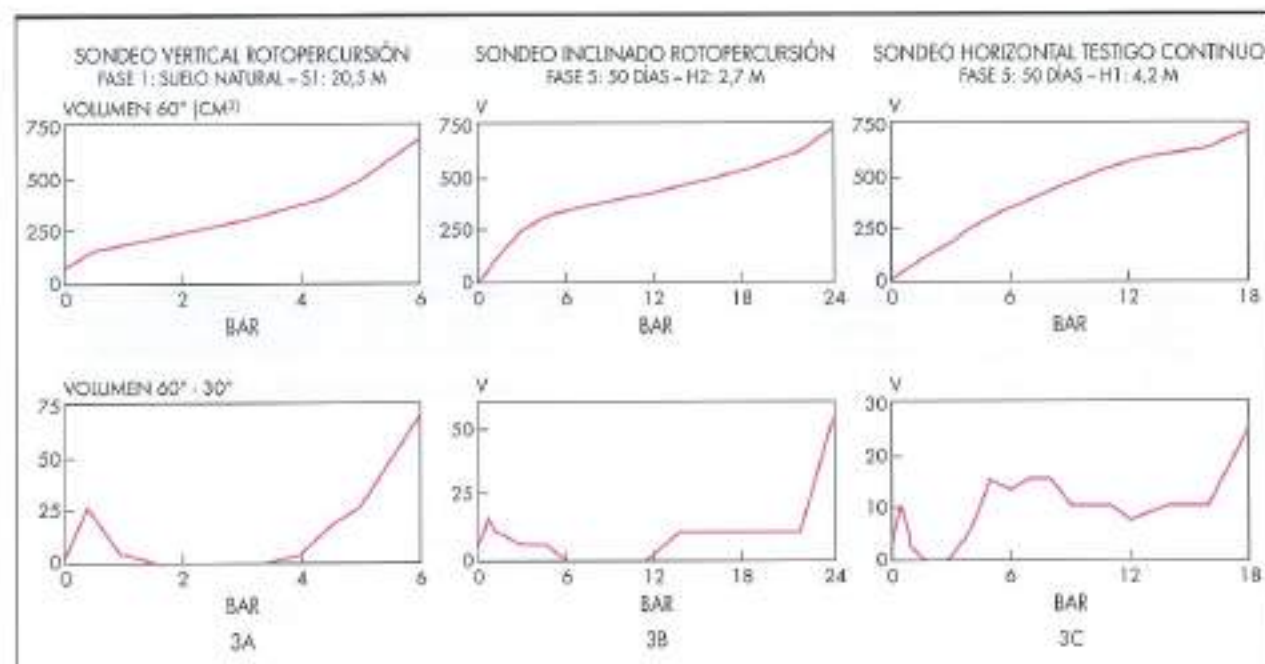


FIGURA 4. Curvas presiométricas y de fluencia obtenidas con distintas técnicas de perforación y orientaciones del taladro.

SISTEMA TIPO TERRENO		PERCUSIÓN		ROTACIÓN						ROTOPERCUSIÓN		OTROS	
		TOMAMUESTRAS		TESTIGO CONTINUO			DESTRUCTIVA			MARTILLO		TUBO	
		HINCA ESTÁTICA	HINCA DINÁMICA	CON LIDOS	CON AGUA	EN SECO	BARRERA HELICOIDAL		TRICONOS CON LIDOS	EN CASCA CON LIDOS	EN FONDO CON ABE	SANJADO HINCAO	
							CON LIDOS	EN SECO					
ARCILLAS	BLANDAS	T	N	N	N	N	R	T	T	N	N	N	
	FIRMES	R	N	N	N	T?	R	R	R	T	N	N	
	DURAS	Na	N	R	N	N	R	R	R	T	N	N	
LIMOS	SOBRE N.F.	Tb	Tb	N	N	T?	R	R	T	T	N	N	
	BAJO N.F.	N	N	T	N	N	T	N	T	T	N	N	
ARENAS	SUELTAS Y SOBRE N.F.	Tb	Tb	N	N	N	R	Tb	T	T	N	N	
	SUELTAS Y BAJO N.F.	N	N	N	N	N	Tb	N	T	T	N	T	
	MEDIAS A DENSAS	Na	T	N	N	N	R	Tb	R	R	N	T+	
GRAVAS	SUELTAS	Na	T	N	N	N	T	Tb	T	R	N	T+	
	DENSAS	Na	Na	N	N	N	N	N	Tb	R	N	T+	
ROCAS	METECORIZADAS	Na	R	T	N	N	R	R	R	R	N	T+	
	SANAS	Na	Na	R	T	Na	Na	Na	R	R	T	Na	

R RECOMENDADO **T** TOLERADO **N** NO TOLERADO **Na** NO APLICABLE **b** CONDICIONAL **+** EVENTUALMENTE TALADRO PREVIO DE PEQUEÑO DIÁMETRO (DT-DS)

FIGURA 5. Sistemas de perforación para la realización de Sondeos Presiométricos.

87 y NF P 94-110. En ella se especifican las técnicas apropiadas para cada tipo de suelo.

Nótese que los sondeos con recuperación continua de testigo, técnica más extendida en España, resultan sólo apropiados en arcillas duras, margas o en rocas sanas. Mediante esta técnica lo que se pretende es mantener lo menos alterado posible la muestra que se encuentra en el interior del tubo-testigo, sin considerar lo que ocurre en el exterior del mismo. Esta técnica produce una fuerte alteración de las paredes del taladro debido a 3 causas: la baja velocidad de avance, la presión del agua de perforación a lo largo de la pared exterior del tubo-testigo y las vibraciones del varillaje (Ménard, D-60).

Respecto al diámetro del taladro, la Norma Francesa P 94-110 indica que debe cumplirse la relación:

$$dt < 1,15 ds$$

siendo 'dt' el diámetro del taladro y 'ds' el diámetro de la sonda.

En el caso que nos ocupa, los sondeos a rotoperusión con autotubado (verticales e inclinado) se adaptan perfectamente a las indicaciones de la figura 5 y los mismos resultaron suficientemente satisfactorios. Los sondeos con testigo continuo (y horizontales) denotan una fuerte alteración de las paredes del taladro, si bien existe una posible superposición de efectos entre el sistema de perforación y la orientación del sondeo.

8. CONCLUSIONES

- El ensayo presiométrico de Ménard se ha mostrado como un ensayo geotécnico *in situ* muy útil (y económico) para

valorar la mejora de un suelo coluvial tratado mediante inyección por gravedad de cemento-bentonita al 10% en peso.

- La aplicación del ensayo ha permitido cuantificar en términos de E_{st} y P_l las características del suelo original, estimando el ángulo de rozamiento actual. Se han detectado a su vez zonas en que la estructura original del suelo había sido alterada y localmente se constató la presencia de huecos.
- Desde un punto de vista teórico se ha visto la variación del perfil de las curvas presiométricas y de fluencia en función del tiempo transcurrido desde la inyección. A los pocos días de comenzada, las curvas resultan lineales y la fluencia se manifiesta e incrementa desde el inicio del ensayo para pasar luego a una curva similar pero en la que existen tramos de fluencia nula o prácticamente nulas. Finalmente las curvas presentan un perfil clásico en las que se determinan claramente las tres fases del ensayo.
- La utilización del ensayo en fases sucesivas permite cuantificar la evolución de los parámetros resistentes y de deformabilidad del suelo tratado, hasta alcanzar la fase de estabilización del proceso, pudiendo asegurar un tratamiento estadístico del conjunto.
- Se ha observado una relación funcional lineal simple entre los valores de la P_l y de la resistencia a compresión de las probetas de cemento-bentonita al cabo de 20 y 50 días, si bien no se ha dispuesto de una cantidad de datos suficientes para establecer una recta de regresión ajustada.

- Se comenta la influencia del sistema de perforación en la representatividad del ensayo, se introduce el concepto "sondeo presiométrico" (extendido en Francia y otros países) y se presenta una tabla para la elección del mismo en función del tipo de suelo a investigar y la presencia o no del nivel freático.

9. AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer muy especialmente a la empresa RODIO, Cimentaciones Especiales, S.A. por permitir la publicación de los resultados. A los Sres. Alberto Masariego y Ramón Trasmonte por sus indicaciones y sugerencias. También desea expresar su agradecimiento al Sr. François Barnoud por la lectura del manuscrito y al Sr. Norberto Frank, encargado de la ejecución de los ensayos.

10. BIBLIOGRAFÍA

AMAR, S.; CLARKE, B.G.F.; GAMBIN, M.P. y ORR, T.L.L. (1991). "The application of pressurometer test results to foundation design in Europe". International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, European Regional Technical Committee n° 4, Pressurimeters. Ed. A.A. Balkema, Rotterdam.

ASTM D4719-87. "Standard Method for Pressurometer Testing in Soils".

CASSAN, M. (1982). "Los ensayos 'in situ' en la Mecánica del Suelo". Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona.

CESTARI, F. (1990). "Prove Geotechnique in situ". Ed. Geograph, Segrate, Italia.

CLARKE, B.G. (1989). "The analysis and interpretation of pressurometer test". International Seminar on Recent Advances on Foundation Analysis and Design. Rio de Janeiro, Brasil.

ESCARIO, V. (1992). "El módulo de deformación del tosco de Madrid según ensayos a escala natural y presiométricos". Ingeniería Civil, n° 83.

FINN, P.S.; NIBSET, R.M.; HAWKINGS, P.G. (1986). "Guidance on pressurometer, flat dilatometer and cone penetration testing". Geological Society, Engineering Geology Special Publication, n° 2.

JEZEQUEL, J.; LEMASSON, H. y TOUZE, J. (1968). "Le pressiomètre Ménard". Bulletin de liaison de Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 32.

MÉNARD, L. (1975). "Règles d'utilisation des essais pressiométriques pour le calcul des fondations". Ref. D-60, révision, Sols Soils Magazine, n° 26.

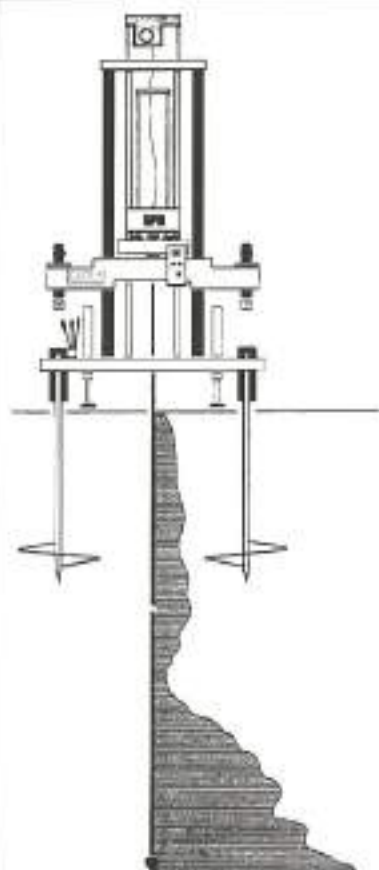
MÉNARD, L. (1976). "Règles relatives à l'exécution des essais pressiométriques". Ref. D-10, révision, Sols Soils Magazine, n° 27.

NF-P-94-110 (1991). "Norme Française. Sols: Reconnaissance et Essais. Essai Pressiométrique Ménard".

OTEO, C. y SOPENA, L. (1992). "Utilización de Jet-Grounding para mejorar rellenos urbanos flojos". Ingeniería Civil, n° 87.

OTEO, C.; MIRANDA, E. y SOLA, P. (1993). "Consolidación de rellenos y vertederos en el enlace Juan Carlos I, de Sevilla (España)". Ingeniería Civil, n° 89.

SANGLERAT, G.; BARNOUD, F.; MOUCHET, J.P. (1993). "Soutènements en Milieu Urbain". CEJ Vol. 5, n° 2, 4^{ta} ed.

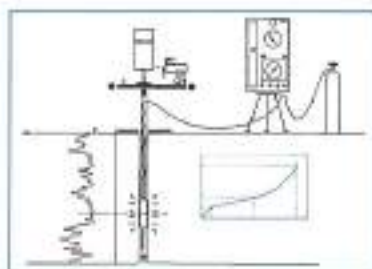
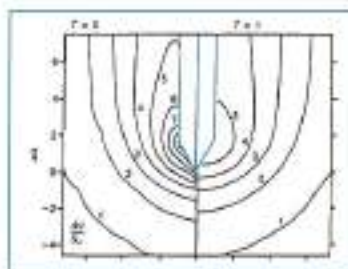


IGEOTest

LABORATORIO ACREDITADO

ENSAYOS GEOTÉCNICOS IN SITU - CONTROL DE TRATAMIENTOS DEL TERRENO

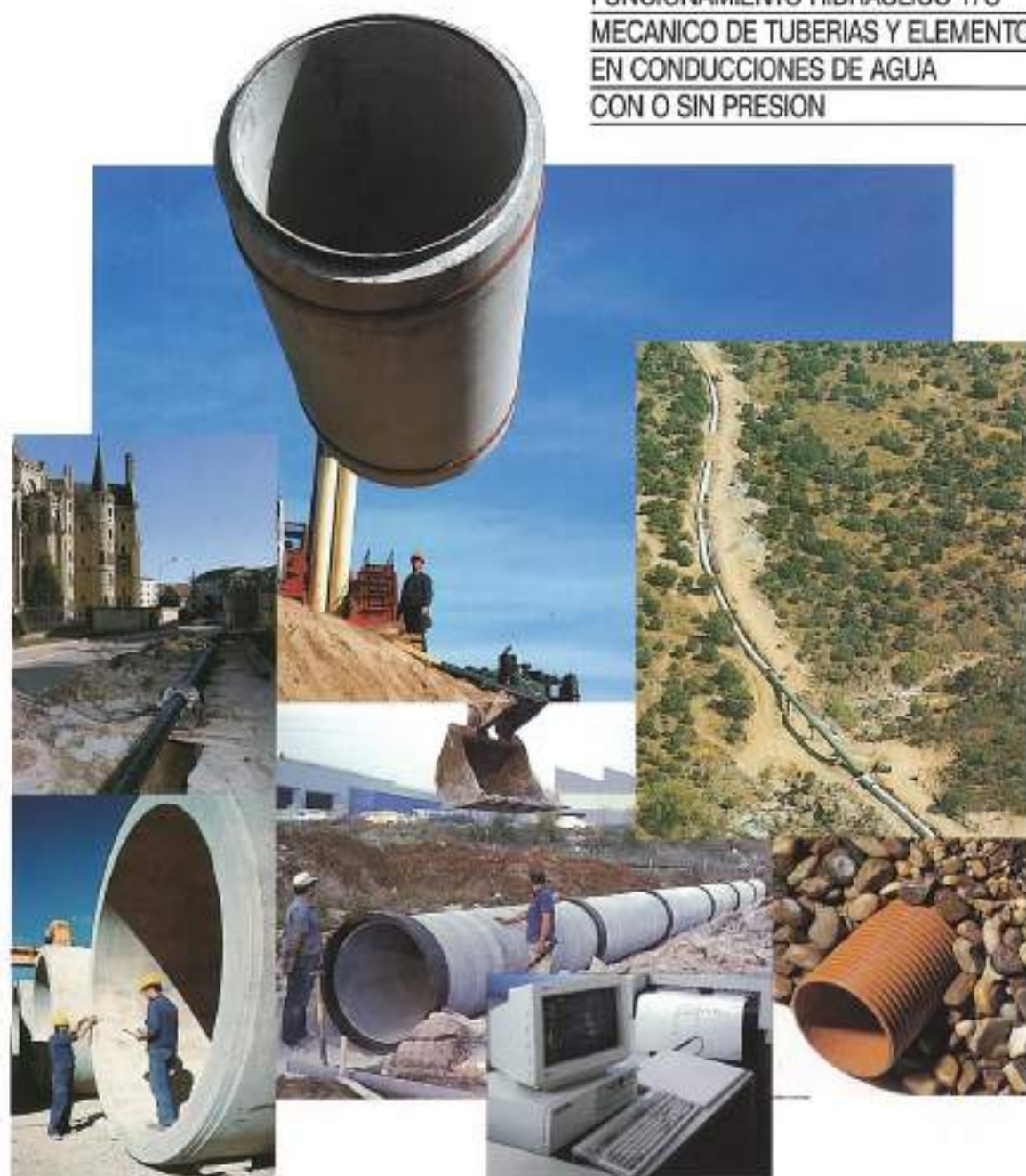
- Penetrómetro Dinámico DPSH, DPL, Borros
- Penetrómetro Estático CPT
- Piezómetro CPTU
- Presiómetros MPM, PDP
- Presiómetro auto-perforante SBP
- Dilatómetro Marchetti DMT
- Vane Test y Vane Borer PV
- Geofísica: Sísmica y Eléctrica



PARA LOS ALUMNOS DE INGENIERIA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.

Tema general del Concurso:

**FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO Y/O
MECANICO DE TUBERIAS Y ELEMENTOS
EN CONDUCCIONES DE AGUA
CON O SIN PRESION**



URALITA
OBRA CIVIL

Si desea más información, llame al
teléfono de Urgencia Obra Civil (91) 448 10 00.

URALITA



POLYFELT TS®

EL GEOTEXTIL DE LA CARRETERA

POLYFELT TS, se ha convertido en el geotextil líder de la carretera.

Es la alternativa mejor y más sencilla. Sus excepcionales características como geotextil "no tejido" de filamentos continuos de polipropileno agujeteado por ambas caras, le confieren unas muy elevadas prestaciones como geotextil anticontaminante y de drenaje.

■ ALTAS PRESTACIONES

- Elevada resistencia a la tracción
- Óptima resistencia a perforación
- Alta elongación
- Gran permeabilidad vertical y horizontal (ausencia de colmatación)



■ FUNCIONES

El efecto filtrante de POLYFELT TS impide la penetración de los finos del subsuelo y estabiliza el sistema, subsuelo, geotextil y material de relleno, al dar salida al agua sobrante. POLYFELT TS aumenta la resistencia de corte y disminuye la posibilidad de deslizamiento. Actúa contrarrestando la tracción y aumenta la estabilidad del terraplén debido a sus características ideales de tracción-dilatación.

■ GARANTÍA

3.500.000 m² de POLYFELT TS instalados en carreteras durante 1994 y la pertenencia al Grupo URALITA.

POLYFELT TS®
La Tecnología en vanguardia.

Solicite información
llamando al teléfono
91-448 10 00

URALITA
PRODUCTOS Y SERVICIOS S.A.

OBRA CIVIL





Distribuidor 512 N-40, Asadriá. Acceso Puerto de Valencia.

Ahorramos
tiempo, ganamos
en seguridad.



CUBIERTAS

Y MZOV, S.A. CIA. GRAL. DE CONSTRUCCIONES