

Micropilotes inyectados en suelos duros de la Fm. Papeana

Ing. Augusto José Leoni

leoni@ingenieroleoni.com.ar

Ing. Leoni & Asociados S.A.

RESUMEN: El presente trabajo se refiere a una investigación efectuada por la Empresa Ing. Leoni & Asociados S.A. sobre el comportamiento a rotura por las tensiones de fuste que se desarrollan en los micropilotes inyectados construídos con válvulas anti retorno o "manchete", de acuerdo al sistema (IRS) en los suelos Duros de la Formación Pampeano.

Para llevar a cabo esta investigación se dispuso de un campo de prueba en un terreno en el que previamente se habían ejecutado estudios de suelos convencionales con ensayos SPT cada metro de avance y ensayos de presiometría con el equipo de Menard. En este terreno se ejecutaron con la técnica precitada, micropilotes de longitudes variables entre 2,00 m y 6,00 m y con un diámetro de 16 cm.

Sobre una cantidad importante (17) de estos micropilotes, se realizaron inyecciones de lechada secundaria a través de válvulas "manchete" dispuestas cada 0,70 m unas de otras a partir de los -2,00 m de profundidad, mientras que en ocho de ellos, no se realizaron las inyecciones de lechada secundaria.

Finalmente estos micropilotes fueron ensayados a la tracción para verificar las tensiones de fuste que se desarrollan, y los beneficios logrados con la inyección secundaria, comparando los resultados a rotura de los micropilotes inyectados con los mismos valores de los micropilotes que no se inyectaron

Palabras Claves: micropilotes – ensayos de carga – tensiones de fuste – formación Pampeano

ABSTRACT: The present work refers to an investigation carried out by the Company Ing. Leoni and Partners S.A. on the behavior to break for tensions of shaft that develop in the injected micropiles constructed with valves anti return or "manchete", in agreement to the system (IRS) in the hard soils of the Pampeano formation. To go to I dig this investigation he arranged of a field of test in an area in which before there had executed studies of conventional soils with SPT tests every meter of advance and pressuremeter tests with the equipment of Menard. In this area they executed with the aforementioned technology, micropiles of changeable lengths between 2,00 m and 6,00 m and with a diameter of 16 cm, On an important quantity (17) of these micropiles, there were realized injections of secondary grout across valves "manchete" arranged every 0,70 m some of others from -2,00 m of depth, whereas in eight of them, there were not realized the injections of secondary grout. Finally these micropiles were tested to the traction to check the tensions of shaft that develop, and the benefits achieved by the secondary injection in the micropiles constructed with technical this one, comparing the results to break of the micropiles injected with the same values of the micropiles that were not injected.

Key words: micropiles – load tests - tensions of shaft – Pampeano formation.

1 INTRODUCCIÓN

La empresa Ing. Leoni & Asociados S.A. se dedica a la ejecución de estudios de suelos y al dimensionado y construcción de micropilotes inyectados, según la técnica IRS (Inyección Repetitiva y Selectiva).

Concientes de la responsabilidad que ello conlleva, los profesionales de la Empresa, recomiendan que para la ejecución de los mismos se cuente con investigaciones que avalen y que confirmen los valores adoptados para el cálculo de los mismos.

Ello nos ha llevado a adquirir las tecnologías de última generación a nivel mundial, tanto para la ejecución de los estudios de suelos (Presiómetro de Menard y Dilatómetro de Marchetti) como para la construcción de los micropilotes (Perforadoras, mezcladoras e inyectoras paquetizadas).

Sin embargo esto solo no garantiza un buen dimensionado de los micropilotes ya que las técnicas de cálculo se refieren o se deducen a partir de investigaciones efectuadas sobre suelos foráneos, básicamente europeos, que nada tienen que ver con los suelos locales, pertenecientes básicamente a la Fm. Pampeana (Provincia de Buenos Aires).

A partir de estas premisas, hemos desarrollado la investigación que se transcribe en el presente trabajo.

2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

Para realizar la investigación se buscó un terreno para poder realizar un campo de pruebas, en el que se pudieran construir micropilotes de distintas longitudes y con distintas características para ser ensayados a la rotura luego de los 30 días de ejecutados.

En el sitio seleccionado para la ejecución de los micropilotes, se ejecutaron perforaciones para estudios de suelos convencionales con la ejecución de ensayos SPT cada metro de avance de la misma. Los ensayos se ejecutaron con la metodología tradicional utilizada en Argentina con disparador y caída libre del pisón de ensayo y con el sacamuestras enterizo de Terzaghi, lo que equivale a decir con una energía de impacto del 90 % de la teórica. Leoni Ref. [1]. El perfil detectado, se muestran en la figura 1.

Teniendo en cuenta que en el sitio se proyectaba la construcción de micropilotes inyectados y que los mayores antecedentes en el dimensionado de los mismos provienen desde Francia, debido a las

experiencias de Michel Bustamante 1985. Ref. [2], consideramos que sería de utilidad ejecutar en los suelos del campo de pruebas, ensayos de presiometría con el Presiómetro de Menard.

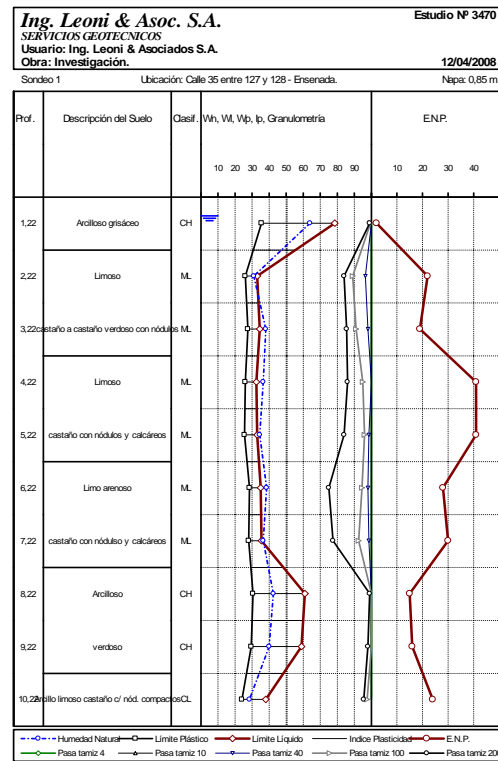


Figura 1. Perfil del suelo en el campo de pruebas

Estos ensayos se realizaron con la sonda de tres celdas original de Menard. Los resultados de estos ensayos, en los que se determinó el valor de la presión límite (P_L) y del módulo de Menard, (E_m) se muestran en la figura 2.

Se aprecia de acuerdo a estos resultados, que los suelos detectados conforman una estratigrafía en la que en términos generales se aprecia en la parte superior de la misma, un manto de suelos arcillosos "muy blandos" pertenecientes a la Fm. Post Pampeano que se extiende hasta los -1,50 m, de profundidad, posteriormente se ubican suelos limosos, del tipo "ML", "muy compactos" a "duros" que se extienden hasta los -7,50 m de profundidad.

Finalmente se detectan suelos arcillosos del tipo "CH" "muy compactos".

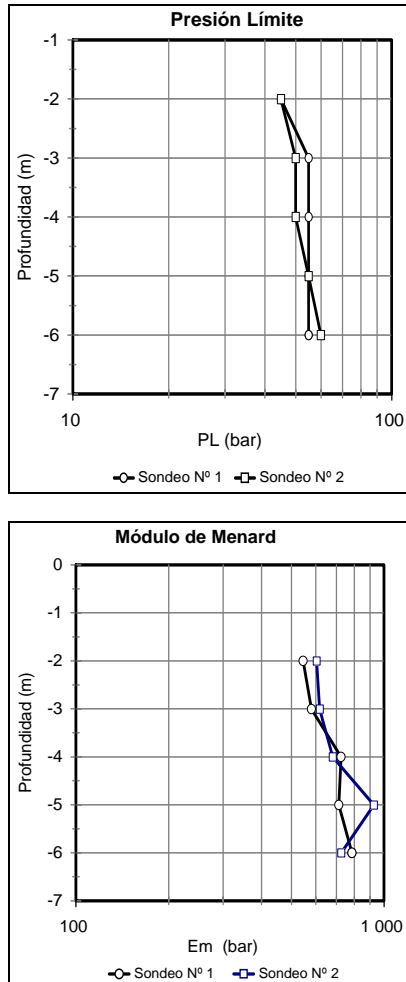


Figura 2. Resultados de los ensayos de presiometría con la sonda de Menard

3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MICROPILOTES

Teniendo en cuenta los resultados deducidos de los Estudios de Suelos ejecutados, consideramos posible la construcción en el sitio seleccionado de micropilotes de distintas longitudes de tal forma que los mismos llegarían hasta las siguientes

profundidades: -2,00 m, -3,00 m, -4,00 m, -5,00 m y -6,00 m.

Como la intención de la presente investigación era además determinar los valores de las tensiones de fuste en rotura que se desarrollan en los micropilotes inyectados, verificar los efectos de la inyección en la capacidad de carga final de los elementos se construyeron además, micropilotes similares pero en los que no se efectuó ninguna inyección secundaria para comparar los resultados finales.

En la figura 3, se puede apreciar la distribución de los micropilotes en el campo de pruebas, según una cuadrícula de 2,50 m x 2,50 m.

En la misma se aprecia que se intercalaron dos filas de micropilotes con inyección secundaria y dos filas sin inyección.

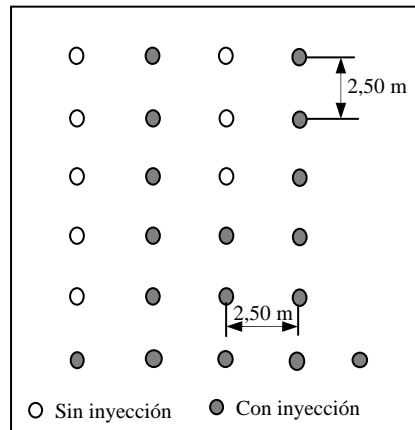


Figura 3. Plano de ubicación de los micropilotes en el campo de pruebas

A los efectos de poder comparar los resultados, todos los micropilotes se construyeron con la misma máquina y la misma herramienta de perforación, que tenía un diámetro de 0,15 m.

3.1 Técnica constructiva IRS de los micropilotes

Si bien es conocida la metodología constructiva de los micropilotes, en el presente caso se utilizó el sistema IRS que recordamos básicamente a continuación:

- Se ejecutó una perforación con una máquina rotativa hasta la profundidad establecida en cada caso con un diámetro nominal $D = 0,15$ m.
- Se llenó la perforación con la inyección primaria, conformada por cemento y agua en

- una proporción de $a/c = 0,60$ que se inyecta con una cañería desde el fondo de la perforación.
- Una vez que la lechada cementicia ha desplazado totalmente los lodos de inyección utilizada para efectuar la perforación, se introdujo en la misma la armadura longitudinal con sus correspondientes estribos, que en su interior lleva el caño de pvc con las válvulas “manchete” espaciadas cada 0,70 m de longitud.
 - Pasadas 24 horas de su ejecución, se procedió a realizar la inyección secundaria, inyectando 30 litros de lechadas cementicias en cada válvula “manchete”, con la misma relación de agua cemento de 0,60 mediante un obturador doble que se introduce en el caño de PVC.
 - Las presiones registradas durante la inyección de la lechada secundaria en los mantos “duros” de la Fm. Pampeano oscilaron entre 35 y 45 bar

Esta metodología se detalla en las gráficas de las figuras 4, 5 y 6.

Es necesario destacar que existen en nuestro país, empresas que se dedican a la construcción de micropilotes que siguen una metodología totalmente diferente a la destacada en los párrafos precedentes y que sin embargo especifican que los construyen con la técnica IRS.

La diferencia fundamental de ésta técnica radica en el sistema implementado para aplicar la inyección secundaria, que consiste básicamente en reemplazar el caño de pvc con válvulas manchete, por mangueras rígidas con varias válvulas manchete cada una de ellas y en las que se obtura la parte inferior de las mismas y el extremo superior llega hasta la superficie, de tal forma que con varias mangueras se cubre la totalidad de la longitud inyectable del micropilote. Ver figura 7.

Posteriormente desde superficie, se conecta cada una de estas mangueras, una por vez, a la bomba inyectora de lechada de cemento para proceder a la inyección de las válvulas manchete que se ubican en cada una de ellas.

Tenemos que destacar que esta metodología no solamente difiere en sus formas sino que consideramos que afecta seriamente a la resistencia al fuste del elemento que se proyecta, ya que no se puede aseverar que todas las válvulas manchete ubicadas a lo largo de cada manguera que se inyecta, se abrirán al mismo tiempo. Es lógico pensar que es muy probable que el total de la lechada que se

inyecta, atraviese la primera válvula manchete que se abra, quedando todas las demás cerradas y por ende no inyectadas.

Algunas veces esta incertidumbre se intenta corregir reinyectando un volumen igual luego de algún tiempo, tratando de que el nuevo volumen se escurra por otra válvula, lo que tampoco garantiza que se inyecten todas las válvulas instaladas.

Esto evidentemente no ocurre cuando se coloca el caño de pvc y la inyección se hace con obturador doble, ya que en este caso el total del volumen inyectado tiene que atravesar la válvula manchete seleccionada.

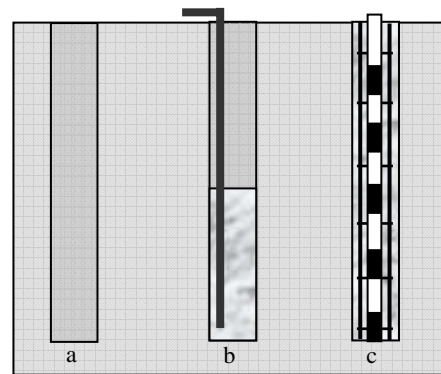


Figura 4. Construcción de los micropilotes. a) perforación con lodos de recirculación. b) Inyección de la lechada primaria y barrido de los lodos. c) Instalación de la armadura con el correspondiente caño de pvc con las válvulas manchete.

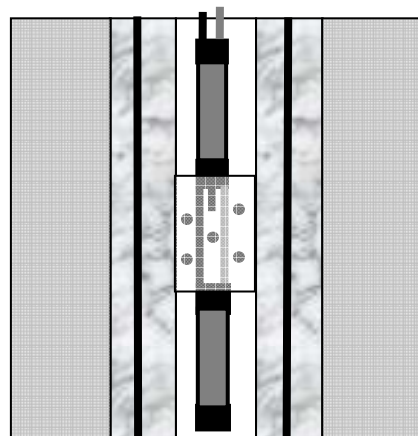


Figura 5. Sonda con obturador doble dentro del pvc.

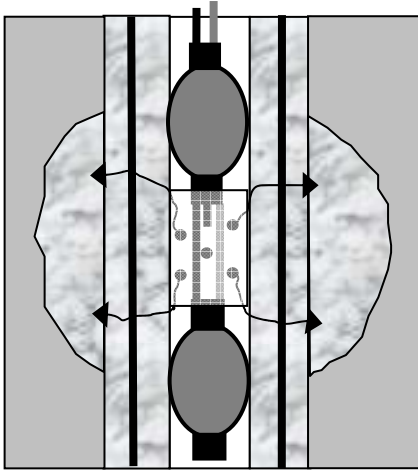


Figura 6. Se inflan con agua a presión las gomas del obturador doble, por encima y por debajo de la correspondiente válvula manchete y se procede a inyectar la lechada secundaria para formar el bulbo correspondiente.

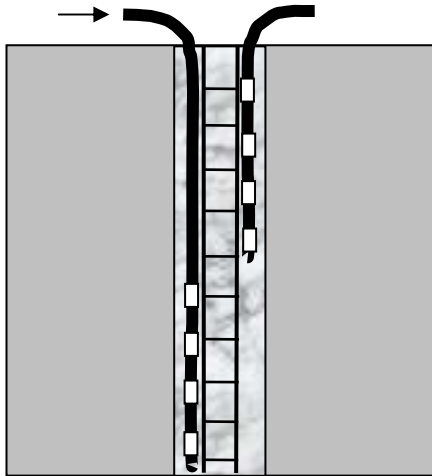


Figura 7. Esquema constructivo de un micropilote que se inyecta sin el uso de obturadores, a través de una manguera rígida que se conecta directamente a la bomba inyectora.

3.2 Dimensionado de los micropilotes

Para el dimensionado de los micropilotes se debe tener en cuenta que las tensiones de corte que se generan en el fuste, son las que generan el 90 % de la carga a rotura de los mismos, y que por la escasa

dimensiones de estos elementos, las fuerzas derivadas de la aplicación de las tensiones de punta, generan un valor de carga muy bajo que generalmente se deja como reserva de seguridad para las sollicitaciones de compresión.

A partir de esta realidad, en la presente investigación hemos hecho hincapié en obtener los valores de las tensiones de fuste que se desarrollan a lo largo del micropilote.

Para el presente cálculo hemos tomado como referencia los ábacos recomendados por las experiencias recopiladas por Michel Bustamante Ref. [2], de las que hemos extractado las siguientes ecuaciones que nos dan las tensiones últimas de fuste “ q_s ” para micropilotes dimensionados en suelos finos (arcillas y limos) en función del valor del SPT (N_{60})

$$q_s = \frac{1}{\left[\frac{56}{N_{60}} + 2,04 \right]} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Para la aplicación de la presente ecuación, debemos tener en cuenta que los valores promedios de los ensayos SPT que se obtienen a partir de los dos sondeos, que están ejecutados con una energía de impacto del orden del 90 % de la teórica, por lo tanto los valores obtenidos deben ser corregidos para obtener el valor de N_{60} , teniendo en cuenta que las fórmulas a utilizar se refieren a una energía del 60 %.

$$N_{60} = \frac{SPT \cdot 90}{60} = 1,50 \cdot SPT \quad (2)$$

Para el cálculo de las tensiones de fuste que se generan para cada metro del micropilote, se ha considerado que por el sistema constructivo y el tipo de suelos que se trata el diámetro del mismo se incrementa en un 15 % por las inyecciones ($\alpha = 1,15$).

En la Tabla 1 se resumen los valores de carga que va tomando el micropilote por la resistencia del fuste deducidos de la siguiente fórmula en la se toma un valor de $L = 1$ m para cada renglón de la misma:

$$Q = \pi \cdot D \cdot \alpha \cdot L \cdot q_s \quad (3)$$

El primer metro se desprecia y el segundo metro se toma al 50% ya que los mantos “duros” comienzan a los 1,50 m de profundidad.

Clas.	Prof. m	N ₆₀	q _s MPa	Carga por tramo kN	Carga de rotura kN
CH	-1	3	0,048	26	-
ML	-2	33	0,27	73	73
ML	-3	52	0,32	173	246
ML	-4	69	0,35	190	436
ML	-5	50	0,32	173	609
ML	-6	41	0,29	157	766

Tabla 1. Cuadro de resultados para las distintas profundidades calculadas

Si tomamos ahora los gráficos de Michel Bustamante para obtener los valores de la tensión de fuste a rotura “q_s” en los suelos finos (limos y arcillas) a partir de considerar como dato de ingreso los valores de la Presión Límite “P_L” que se obtiene a través de los ensayos presiométricos con el Presiómetro de Menard, vemos que los valores de la presión límite obtenida para los suelos “duros” de la Fm. Pampeano superan los valores consignados en el ábaco propuesto por el autor para las arcillas y los limos.

Sin embargo si consideramos que los suelos que estamos tratando, pueden ser considerados en otras partes del mundo dentro de la categoría de “rocas blandas” observamos que el ábaco propuesto por Bustamante [ref. 2] para las Cretas, Margas y Margas Calcáreas, se observa que para los valores medidos de la presión límite detallados en los gráficos de la Figura 2, le corresponden valores muy cercanos a los valores medidos de las tensiones de fuste a rotura en el presente trabajo.

4 EQUIPO DE ENSAYO DE CARGA

A efectos de facilitar la ejecución de los ensayos de carga y para que los valores recavados no fueran distorsionados por las tensiones de la punta, se ejecutaron ensayos de tracción sobre los micropilotes.

Para ello, hemos diseñado un marco de carga a tracción con las siguientes cualidades:

- Su estructura está hecha con caños acoplado con pasadores.
- Su montaje no requiere de grúas ya que se monta y se desmonta manualmente
- Es fácil de transportar.
- Es capaz de resistir cargas verticales de tracción de 980 kN.
- El borde más cercano de las patas al centro del micropilote es de 150 cm.

En la foto que se muestra en la figura 8 se aprecia el marco de carga, del que se suspende el tensor hidráulico, que mediante bielas, se acopla a la estructura del micropilote para ejecutar el ensayo. Para la medición de las deformaciones se colocan dos comparadores centecimales que miden el desplazamiento de la barra de acero que conecta la armadura del micropilote con el tensor hidráulico, según se muestran en la foto de la figura 9.

Es necesario destacar las bondades del marco de carga que hemos diseñado ya que nos permite ejecutar ensayos de carga rápidos y baratos hasta la carga de servicio, en todas las obras que ejecutamos para verificar directamente que se cumplen con seguridad las estimaciones teóricas que sirvieron para el diseño de los micropilotes.

5 RESULTADOS

Los ensayos que se ejecutaron, en todos los casos llevaron a los micropilotes a la carga de rotura con un ciclo de carga y descarga cuando se alcanzaba la mitad de la carga de rotura teórica estimada, tal como se puede apreciar en el ejemplo que se muestra en la figura 10.



Figura 8. Marco de carga para la ejecución de ensayos de tracción de micropilotes.



Figura 9. Esquema de medición de las deformaciones.

Con los resultados de los ensayos de carga que se aprecian en la Tabla 2, hemos confeccionado una gráfica que en la que volcamos los valores de rotura versus la longitud del micropilote, tal como se observa en la figura 11.

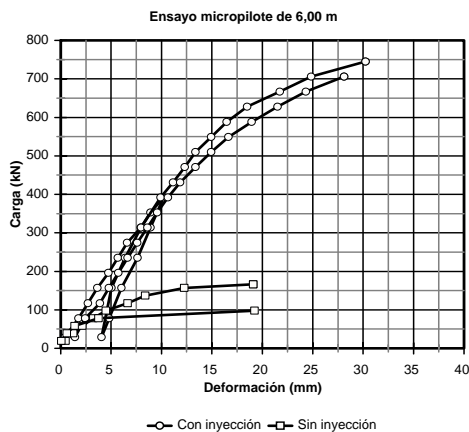


Foto 10. Ensayo de carga a rotura de cuatro micropilotes construidos de 6,00 m de longitud, dos con inyección secundaria y dos sin inyección.

En éste gráfico se observan tanto los resultados de los micropilotes con inyección secundaria como los que no fueron inyectados y los que fueron inyectados en forma incompleta.

En todos los casos y a los efectos de comparar los resultados, todos los micropilotes tienen las mismas características geométricas y fueron construidos de idéntica forma.

Micropilotes sin inyección secundaria		Micropilotes con inyección secundaria	
Prof. (m)	Carga de rotura (kN)	Prof. (m)	Carga de rotura (kN)
2	39	2	59
3	49	3	137
3	49	3	147
4	69	4	343
4	78	4	294
5	88	4	314
5	98	4	353
6	78	5	667
6	137	5	598
		5	687
		5	637
		6	637
		6	598
		6	431
		6	441
		6	834
		6	745

Tabla 2. Cuadro de resultados de los micropilotes ensayados

Atendiendo a los resultados obtenidos en los cálculos teóricos, que se resumen en la Tabla 1, podemos deducir como valor medio mínimo de la tensión de fuste unitaria en los micropilotes inyectados un valor de $q_s = 245 \text{ kN/m}^2$ y un valor máximo de $q_s = 343 \text{ kN/m}^2$ lo que nos permite adoptar un valor promedio de $q_s = 294 \text{ kN/m}^2$.

En la evaluación de estos resultados se debe tener en cuenta la poca eficiencia de las inyecciones secundarias de los micropilotes cuando las mismas se realizan por encima de los -3,00 m de profundidad.

Es sabido que por la fisuración que presentan los mantos cercanos a la superficie, debido a la desecación de los mismos, disminuye la eficiencia de las inyecciones ya que no provocan la compresión de los suelos sino que su energía se pierde en llenar las fisuras y muy a menudo llegan al nivel del terreno natural. Estas consecuencias se aprecian en los resultados que se presentan.

Esta circunstancia hace que sea recomendable en la práctica, desechar los valores de tensiones de fuste que se pudieran desarrollar en los dos primeros metros del micropilote cuando se realiza el proyecto de los mismos.

De la observación de los resultados, se puede apreciar que hay dos micropilotes de 6,00 m de longitud que presentan una resistencia substancialmente menor a la del promedio, ello se debe a que en estos elementos se tuvieron problemas

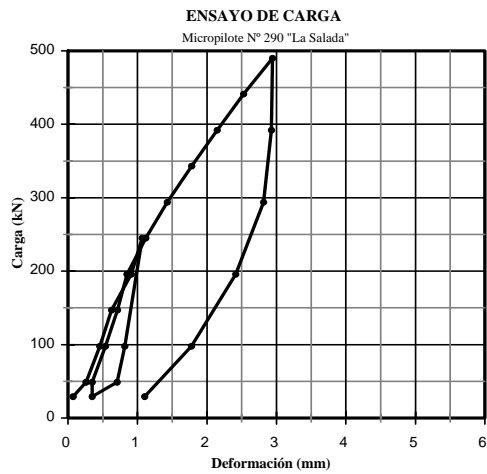


Figura 14. Resultado de un ensayo de carga a compresión

6 CONCLUSIONES

De las mediciones efectuadas, se concluye que en los suelos "duros" de la Fm. Pampeano se puede adoptar para el cálculo de la resistencia a rotura de la tensión de fuste de micropilotes inyectados, un valor medio de 295 kN/m² con un valor mínimo de 246 kN/m².

7 REFERENCIAS

- 1 Leoni A. J. et al 2008. Medición de la energía entregada por el impacto del pisón, en la ejecución de los ensayos de SPT que se ejecutan en la República Argentina. XIX Camsig 2008 La Plata.
- 2 Bustamante M. 1985. Un método para el cálculo de los anclajes y de los micropilotes inyectados.
- 3 Leoni A. J. 2009. Apuntes sobre micropilotes inyectados. Cátedra de Geotecnia III. Facultad de Ingeniería UNLP.