

FUNDACIONES PLATEA PILOTE EN SUELOS PLASTICOS

Ing. Civil Daniel Mafud ⁽¹⁾: Instituto de Estructuras, Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.

Ing. Civil Raúl Dámaso Benito ⁽²⁾: Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.

(1) Tesista de Magister en Ingeniería Estructural.

(2) Director de Tesis de Magíster, Profesor Titular.

RESÚMEN

En los problemas de ingeniería estructural, se hace día a día más evidente la necesidad de modelar más ajustadamente al fenómeno físico real a partir de nuestros modelos virtuales numéricos.

Es el caso de la modelación de interacciones suelo – estructura, donde se trata de predecir el comportamiento de fundaciones de tipo pilotes excavados en el lugar con diferentes tipos de mejoramientos en la interfaz suelo – hormigón (como es el caso de los pilotes suelo cementados), o cuando se combinan estructuras de fundación de tipo profundo y superficial, como es el caso de los nuevos desarrollos en Piled Raft Foundations (PRF), o como se las conoce en habla hispana, Losas de Fundación Combinadas con Pilotes (LFCP).

Los ensayos experimentales realizados en el Instituto de Estructuras de la UNT, confirmaron las ventajas que arroja el uso de micropilotes mejorados mediante el uso de técnicas como la de cementar la interfaz suelo -hormigón del pilote, o la del empleo de plateas pilotadas, permitiendo:

- Aumentar significativamente la carga máxima esperada para este tipo de fundación, y
- Reducir hasta valores cercanos a la décima parte los asentamientos esperados para un pilote común excavado y llenado posteriormente in situ.

Estos resultados, son muy alentadores para continuar investigando el comportamiento de estas técnicas de mejoramiento de desempeño, dado el relativo bajo costo que entraña su uso.

ABSTRACT – PILED RAFT FOUNDATIONS IN PLASTIC SOILS

Solving problems related with structural engineering increasingly demand the needs of a more reliable accordance of numerical with real physical modelling.

Specially in soil-structure interaction, when predicting behaviour of different improvements in concrete with soil interfase (as using fluid cement- water mixs) in drilling piles, or when using new developments as combined shallow with deep

foundations as Piled Raft Foundations (CPRF, mixed concrete plates and piles), or in spanish Losas de Fundación Combinadas con Pilotes (LFCP).

Experimental tests taken at UNT Instituto de Estructuras, confirmed the advantages of using improved micro-piles with soil-concrete cement interfase, or using CPRF technology, leading to:

- Increasing load bearing capacity of these improved foundations, and*
- Near one tenth reduction in settlement measurements compared with standard concrete drilling piles.*

These results encouragingly lead to further investigation in using improved piled foundations, specially based on relative low cost involved in performing these technologies.

1. Introducción: Modelación virtual vs. Modelación experimental

En los problemas de ingeniería estructural, se hace día a día más evidente la necesidad de modelar más ajustadamente al fenómeno físico real.

Los modelos virtuales desarrollados a partir de imaginar el fenómeno y tratar de representarlo con el auxilio de herramientas abstractas como la física y la matemática, sobre todo de esta última, conducen a pronósticos de comportamiento bastante poco ajustados a los resultados de modelos experimentales o aún de la misma estructura así construida.

Es sobre todo en ciertas sollicitaciones, o combinación de ellas, en las que se producen mayores desfases entre las predicciones de comportamiento y la respuesta real. Por ejemplo, para el caso del hormigón armado, sollicitaciones como la flexión pura, han sido convenientemente estudiadas y volcadas en las recomendaciones de códigos de práctica con éxito en estas predicciones, con diferencias entre modelos teóricos y experimentales que no superan el 10 o 15%.

Sin embargo, para casos como los estudios de corte, torsión, o en general en aquellos casos en que los campos tensionales desarrollados son variables, los resultados de estas predicciones son ineficientes, con diferencias que pueden llegar a tener distintos órdenes de magnitud inclusive.

1.1. Modelación de Interacciones Suelo Estructura

Peor es aún esta situación cuando se trata de modelar interacciones suelo – estructura, como es el propósito de la tesis de Magíster en Ingeniería Estructural¹, donde se trata de modelar y predecir el comportamiento de pilotes excavados en el lugar con diferentes tipos de mejoramientos en la interfaz suelo – hormigón (como es el caso de los pilotes suelo cementados, o PSC), o cuando se combinan estructuras de fundación de tipo profundo y superficial, como es el caso de los nuevos desarrollos en Piled Raft Foundations (PRF), o como se las conoce en habla hispana, Losas de Fundación Combinadas con Pilotes (LFCP).

No tan solo se introducen problemas de modelación cuando se trabaja con un material tan variable como el suelo, sino peor aún, cuando la interacción incluye fenómenos complicados para entender como los mencionados de mejoramiento de la interfaz suelo hormigón, o los de dos estructuras tan diferentes en comportamiento como un pilote y una platea que unifican su descenso frente a cargas superiores aplicadas.

2. Antecedentes en el mundo

Los trabajos de investigación que se llevaron a cabo en distintos centros de estudio del mundo en los últimos años^{2,3,4,5}, muestran como totalmente ineficaz el hecho de modelar teóricamente a partir de fórmulas desarrolladas por distintos investigadores teniendo en cuenta tradicionalmente una adición entre la colaboración del efecto de

punta de estos micropilotes con su capacidad para transferir cargas por cohesión-fricción con el suelo circundante.

Estos mismos trabajos, hacen hincapié en el hecho de que estas fórmulas basadas en las características mecánicas del suelo y las del pilote son totalmente ineficientes (por defecto) en la estimación de las cargas últimas, sugiriendo únicamente el uso de teorías de predicción basadas en el Método de Elementos Finitos.

En este último caso, se hace necesario, y así lo remarcaban distintos investigadores en el hecho de disponer ensayos experimentales de carga a rotura de micropilotes o pilotes elaborados en el tipo de suelo a modelar, ya que éstos ensayos deben ser utilizados como input o dato de entrada para esta modelación computacional, sobre todo teniendo en cuenta que estas predicciones hacen uso de una platea combinada con pilotes trabajando en estado último, lo que hace al sistema de alta eficiencia en términos mecánicos y económicos.

Como aporte en este sentido¹, se llevaron a cabo ensayos en terrenos anexos al Laboratorio de Estructuras de la UNT, mediante la utilización de bancos de carga de pilotes, lo que resulta en un aporte imprescindible para la modelación teórica posterior.

La homogeneidad que presentan los suelos de la ciudad de Tucumán en casi todo su casco céntrico, que incluye al tipo de suelo ensayado en las Localizaciones Universitarias, confiere gran valor a los resultados obtenidos.

3. Pilotes suelo-cementados

Los pilotes suelo-cementados son utilizados por los autores en suelos limo arcillosos o limo arenosos típicos de la Provincia de Tucumán desde hace ya unos 15 años, con resultados favorables frente a los excavados y llenados sin este tratamiento previo. En efecto, el hecho de disponer de un tratamiento de infiltración de lechada de cemento posterior a la excavación del micropilote, ofrece la posibilidad de bañar en toda su profundidad las paredes laterales de la perforación, generando una infiltración por gravedad con presiones hidrostáticas crecientes en profundidad, dando como resultado que el suelo en contacto con esta infiltración (cuanto más permeable mejor), produce una interfaz suelo-cemento entre el pilote posteriormente hormigonado y el suelo circundante.

Este efecto beneficioso, que transforma el pilote de hormigón armado en un pilote mixto con un aporte del suelo cementado perimetral en un pilote virtual de mayor diámetro, con capacidades mayores a las del pilote común.

Este hecho, que se usó en repetidas aplicaciones profesionales, no había sido sometido a ensayos experimentales como el encarado para esta tesis de Magíster, lo que aportó datos fundamentales sobre su buen comportamiento, como se indica en los gráficos carga-deformación vertical de los ensayos comparados de pilotes (Figura 6.1).

Estos resultados, similares a los obtenidos para pilotes combinados con losas de fundación, ofrecen un comportamiento muy superior al pilote convencional, no tan solo aportando mayores cargas de rotura, sino deformaciones muy inferiores a las del pilote testigo.

4. Losa de fundación LFCP

4.1 Losas de Fundación Combinadas con Pilotes

Como describen Guzmán y Achmus⁶ en su trabajo sobre LFCP, mediante el uso de losas de fundación combinadas con pilotes (LFCP) es posible obtener economía sobre la fundación total con pilotes y una importante limitación de asentamientos respecto de la fundación directa sobre plateas.

Las Losas de Fundación Combinadas con Pilotes (LFCP) («Kombinierte Pfahl-Platten Gründung», KPP en alemán - o «Piled Raft Foundations» en inglés) (ver Figura 4.1) se han utilizado desde los años setenta en Europa en general y en Alemania en particular principalmente en la ciudad de Frankfurt, con suelos plásticos limo arcillosos similares a los de la región NOA de Argentina. Reemplazaban a fundaciones mediante pilotes profundos, y permitían esta economía de fundación sumada a una gran limitación de los asentamientos(ver Figura 4.2).

Si se imagina a esta fundación como un conjunto que “mejora” el suelo debido al confinamiento que produce su morfología, permite aceptar que transmite las cargas del edificio a una profundidad mayor, donde como es natural, se tienen mejores condiciones portantes.

El verdadero problema de estas fundaciones es el diseño y cálculo, dado que se trata de una fundación muy compleja para modelar analíticamente, motivo por el cual por muchos años, a pesar de ser una solución conocida, no pudo aplicarse con certeza de resultados.

Una consideración fundamental, es conocer cuál es la relación óptima entre la capacidad portante de los micropilotes y la de la platea. Este cociente se representa por el coeficiente α_{KPP} , que representa la relación entre la carga que toman los pilotes y la carga total de la fundación, y toma valores entre 0 y 1.

$$\alpha_{kpp} = \frac{\sum R_{pil,i}}{R_{tot}} \quad (4.1)$$

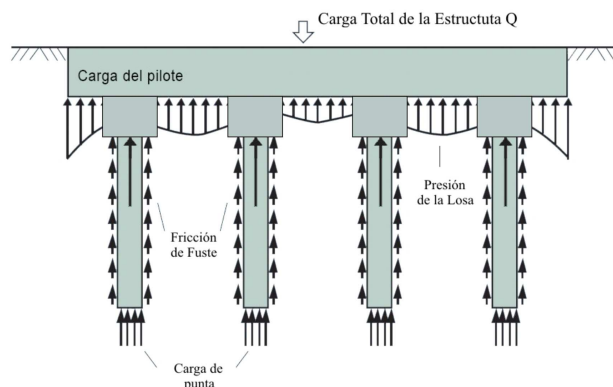


Figura 4.1 Losa de fundación combinada con pilotes (LFCP)

Para fundaciones puras sobre pilotes: $\alpha_{KPP} = 1$, para una platea tradicional, $\alpha_{KPP} = 0$. Si se observa la banda de valores de reducción de los asentamientos para combinaciones de ambas soluciones, se observa que los valores recomendable se sitúan alrededor de 0,6 (Ver Figura 4.3).

Tratando de modelar numéricamente este sistema complejo de fundación, resulta obvio que una variable fundamental es la respuesta de la platea sobre el suelo, pero también, la respuesta individual de cada micropilote, y sobre todo, la linealidad que envuelve al problema: los pilotes son “empujados” hacia abajo por la platea y sus grandes deformaciones asociadas, lo que lleva a que los micropilotes se vean sometidos a carga última. Esto es altamente beneficioso, ya que el sistema combinado no entra en colapso, sino que mutuamente se complementan, dando como resultado una gran economía y eficiencia por usar micropilotes en carga última “contenida”.

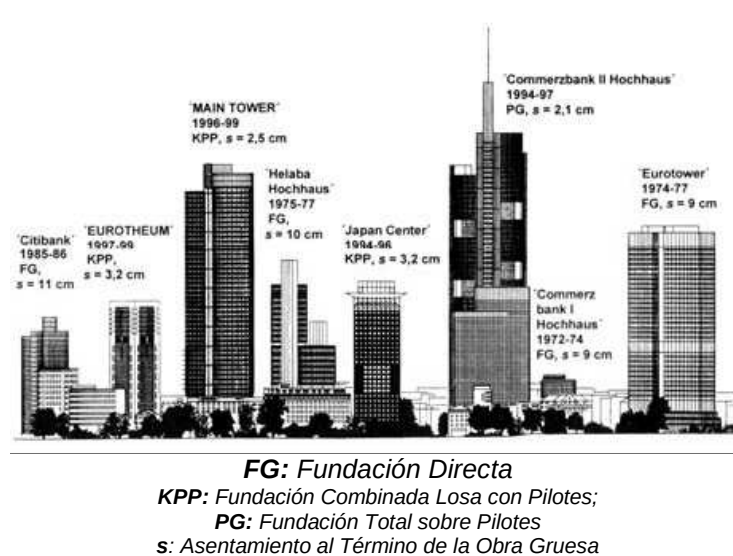


Figura 4.2 Tipo de fundación y asentamiento promedio de edificios en altura en Frankfurt

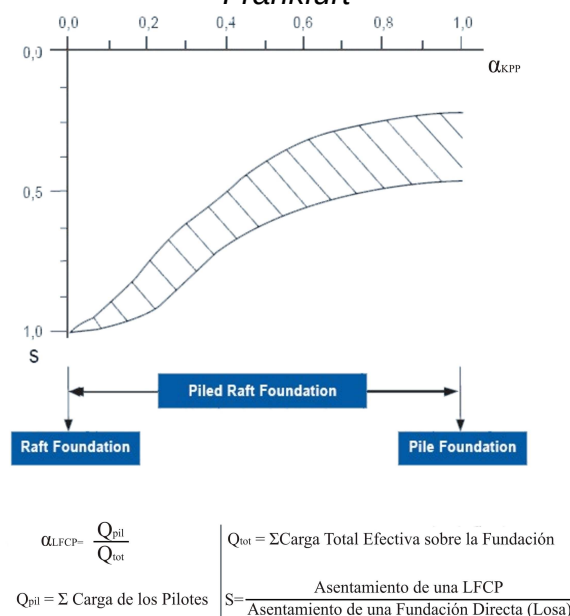


Figura 4.3 Asentamiento promedio proporcional en función del coeficiente α_{KPP}

4.2 Procedimiento de Cálculo

Se dejará para un segundo trabajo sobre el particular las consideraciones sobre los procedimientos de cálculo recomendables para estas fundaciones. Sin embargo, a modo de comentario, se describen algunos modelos que fueron mejorando con el tiempo:

a) Se calcula la carga que toman los micropilotes en carga última, y se descuenta de la carga total a transmitir. Con este valor resultante se calcula la platea. Este método es altamente riesgoso, porque como se verá más adelante, las fórmulas aditivas clásicas de la mecánica de suelos no predicen adecuadamente las capacidades de pilotes, lo que puede afectar seriamente el resultado.

b) Con el coeficiente de balasto, tanto para los micro resortes bajo platea, como para los grandes resortes que simulan los pilotes, se calcula mediante algún método numérico las solicitaciones en los elementos componentes.

Para la variante b), Katzenbach^{2,5} propone la rigidez del resorte de micropilotes (Tabla 4.3). En estas Tablas 4.3, se tiene:

C: rigidez equivalente del resorte; D y L: diámetro y largo de micropilotes.

ζ : factor de reducción para pilotes ubicados en el centro, lateral centro o esquina de platea.

$$C_{KPP,i} = \zeta_i C_{\text{pilote individual}} \quad (4.2)$$

El Mossallamy⁴ modela la no linealidad del comportamiento del suelo mediante la utilización del Método de los Elementos de Borde: Platea apoyada sobre resortes, cuya rigidez se modifica en forma iterativa hasta que las deformaciones y las tensiones del modelo de la platea se corresponden con las obtenidas con el modelo numérico alternativo del suelo, obtenido con el método de los elementos de borde (BEM: boundary element method). Los resultados convergen a valores certeros cuando se dispone de ensayos de campo de la rigidez de los micropilotes individuales y buena caracterización de las propiedades mecánicas del suelo.

Separación entre pilotes	Largo de pilotes	Factor de reducción ζ_i		
		Pilote central ζ_Z	Pilote lateral ζ_R	Pilote de esquina ζ_E
e/D = 3	L/D = 10	0,13	0,19	0,25
	L/D = 20	0,11	0,18	0,25
	L/D = 30	0,11	0,18	0,25
e/D = 6	L/D = 20	0,33	0,36	0,39
e/D = 8,5	L/D = 20	0,42	-	0,70

Tabla 4.3: Factores de reducción ζ_i para rigideces de pilotes de una LFCP en comparación con el caso de un pilote individual (calculadas para $s = 0,03 D$ según Katzenbach et al.)

4.3 Conceptos de Diseño

Por tratarse de fundaciones especiales, se crearon en Alemania las «Reglas para el cálculo de fundaciones combinadas platea-pilotes» para normalizar su uso. Se indican para su empleo:

En la etapa de diseño:

- Una muy buena exploración del subsuelo.
- Ensayos previos de micropilotes individuales.

Para la etapa de ejecución:

- Control de ejecución de los pilotes.
- Mediciones de control del conjunto platea-pilotes tanto en la etapa de construcción como de puesta en servicio.

La comprobación de la capacidad de carga global de una LFCP se realiza con un factor de seguridad $FS = 2$.

5. Estudio Teórico-Experimental

5.1 Objetivo

Para la correcta evaluación teórica de las LFCP, es imprescindible conocer el comportamiento individual de cada micropilote, por lo que se estudiarán experimentalmente las alternativas de micropilotes normales, suelo-cementados y combinados con platea.

Además, se compararán los resultados obtenidos con las ecuaciones teóricas para cargas últimas de Brinch, Hansen y Meyerhoff para pilotes perforados y colados in situ en suelos cohesivos.

Teniendo en cuenta este objetivo, se proyectó un banco de cargas triangular (ver figura 5.1), que permite el ensayo a compresión de 3 (tres) pilotes en forma alternada.

- **Pilote N°1:** perforación $\phi 0,25$ m. con barreno de mano a 4 metros de profundidad, hormigonado normal (Figura 5.1).
- **Pilote N°2:** Idem anterior, con tratamiento previo de lechada de cemento infiltrada por gravedad, generando así en las paredes de la perforación una interfase suelo-cemento entre el suelo y el hormigón del pilote.
- **Pilote N°3:** perforación $\phi 0,25$ m. con barreno de mano a 4 metros de profundidad, con cabezal simulando una porción de platea cuadrada de dimensiones en planta 3 diámetros del pilote (0,75m.), hormigonado normal.
c) Colado de hormigón en pilotes a ensayar a compresión

En este trabajo, se presentan los resultados experimentales de este estudio, dejando para un trabajo posterior la modelación numérica basada en la utilización de modelos mixtos (experimentales-numéricos), que demostraron ajustar mejor el comportamiento real de estas interacciones suelo-estructura.

5.2 Ensayo de los pilotes

Los pilotes fueron ensayados mediante un conjunto auxiliar de pilotes de tracción, ubicados en los extremos del triángulo equilátero del banco de carga, lo que permitía girar el dintel y el conjunto de gatos y celdas de carga para cada uno de los tipos de pilotes elegidos para el ensayo (Figuras Fotos 5.1, 5.2 y 5.3).

El proceso elegido de aplicación de cargas fue incremental hasta la capacidad máxima del banco, estimado en 300 KN. Se registraron deformaciones instantáneas y permanentes mediante extensómetros eléctricos tipo potenciométricos y mecánicos tipo flexímetros. Se registró paralelamente la posición de la cabeza del pilote en función del tiempo en todo momento del ensayo.

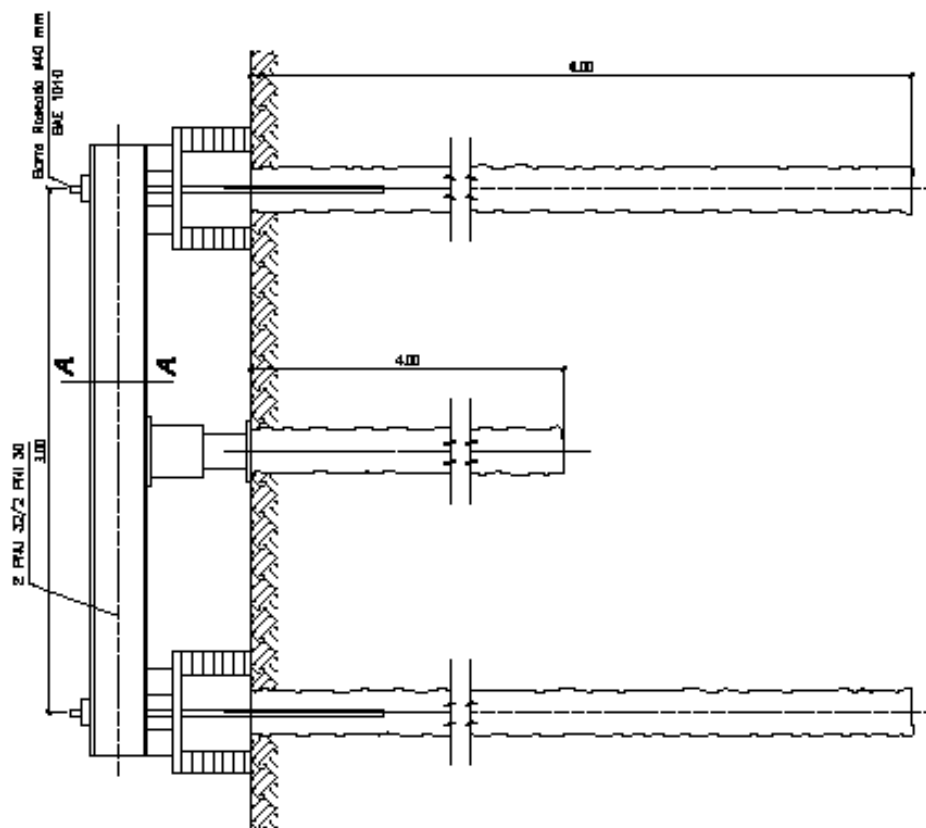
Las cargas fueron medidas mediante una celda de carga y un equipo de adquisición de cargas electrónicos.



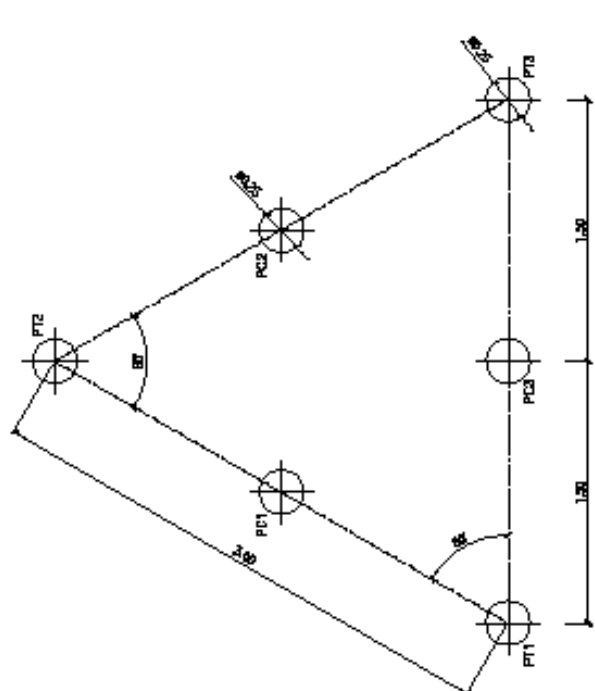
Figura Foto 5.1: Banco de carga de 6 micropilotes (tracción, 3; compresión 3)



Figura Foto 5.2: Ensayo de carga de micropilote 1, testigo.

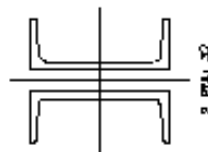


DISPOSICIÓN DE PILOTES PARA ENSAYO
Esc. 1:25



DISPOSICIÓN EN PLANTA DE PILOTES PARA ENSAYO
Esc. 1:25

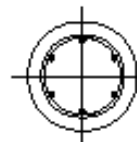
CORTE A-A



2 PUA 32

PT1

Cap. Nom (+) = 15.0 Ton.

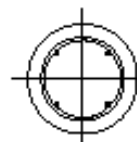


Ø12
Escriba 60x/20cm.

Esc. 1:10

PC1

Cap. Nom (+) = 12.5 Ton.



Ø10
Escriba 60x/20cm.

Fecha	12/05/07	Director: Ing. Raul D. Benito	Esc.:
Emisión		Tesista: Ing. Daniel E. Mafud	1:10
Dibujó	G.C.D.		
Revisó			
ENSAYO CARGA DE PILOTES INSTITUTO DE ESTRUCTURAS			Figura: 5.1

5.3 Determinación de la capacidad de carga de un pilote perforado y colado in situ en suelo cohesivo, en base a fórmulas teóricas

Para modelar, diseñar y calcular nuestra platea combinada con pilotes, es necesario cuantificar la capacidad de cada micropilote, así como su rigidez (carga vs. deformación). Como se verá a continuación, puede ser un gran error considerar las fórmulas clásicas de la capacidad de pilotes, como las deducidas a partir de ecuaciones aditivas entre la capacidad friccional lateral y la de punta, como la sugerida a partir de la deducción de Brinch, Hansen y Meyerhof, que veremos a continuación.

Para permitir una mejor evaluación, se realizaron estudios de suelo en el lugar, a cargo de la Cátedra de Mecánica de los Suelos de la UNT (no incluida por razones de espacio). Se destaca la profundidad de la napa freática a la fecha de ejecución de los ensayos, que se localizó a aproximadamente 2 metros de profundidad.

Se determinaron propiedades físicas del suelo, LL, LP, etc., y se realizó un ensayo SPT. El perfil edafológico se adjunta a continuación.

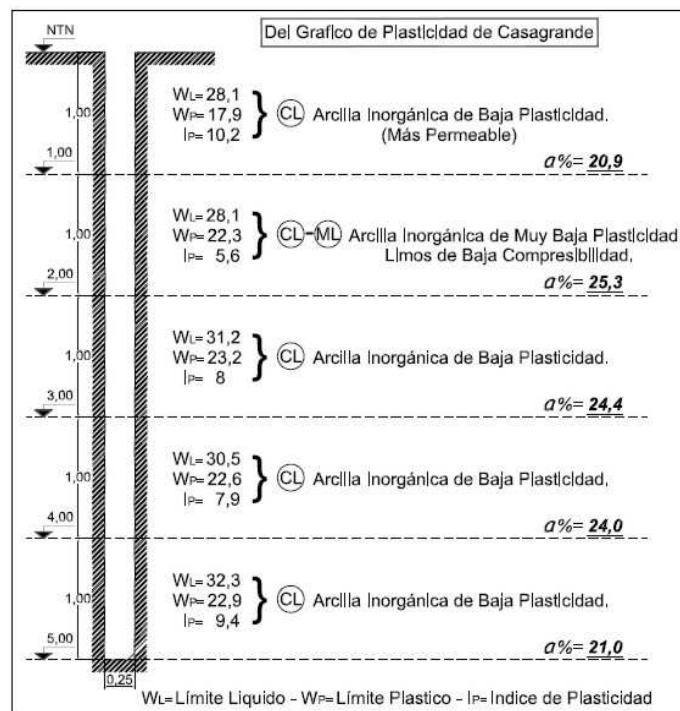


Tabla 5.1: Perfil edafológico del suelo bajo ensayo.

- Dimensiones geométricas del pilote a ensayar
L = 400 cm (profundidad)
 ϕ = 25cm (diámetro)
- Tipo de suelo: se trata de arcilla suave de baja plasticidad, de origen aluvial, normalmente consolidada (arcilla de río)
- Determinación del área de la base

$$A_b = \frac{\pi\phi^2}{4} = \frac{\pi(0.25m)^2}{4} = 0.0491m^2 \quad (5.1)$$

d) Determinación de la superficie de fricción

$$A_s = 2\pi \frac{\phi}{2} L = 2\pi \frac{0.25m}{2} 4m = 3.1416m^2 \quad (5.2)$$

e) Resistencia al corte: para este tipo de arcillas se debe considerar un valor de cohesión dentro del siguiente rango:

$$20 \frac{KN}{m^2} \leq c \leq 40 \frac{KN}{m^2} \quad (5.3)$$

Adoptamos para el cálculo una cohesión igual a $30KN/m^2$. Dado que se trata de una moderada profundidad de penetración en el estrato de cargas (4m), se considerará que la cohesión promedio es igual a la cohesión en la base.

f) Cálculo de la capacidad de carga última

$$Q_u = Q_b + Q_s = N_c c_b A_b + \alpha \bar{c} A_s \quad (5.4)$$

$$Q_u = 9 \times 30 \frac{KN}{m^2} \times 0.0491m^2 + 0.45 \times 30 \frac{KN}{m^2} \times 3.1416m^2 = 13.257KN + 42.412KN \quad (5.5)$$

$$Q_u = 55.669KN(5.57Ton) \quad (5.6)$$

g) Determinación de carga admisible (factor de seguridad $F = 2^{1/2}$)

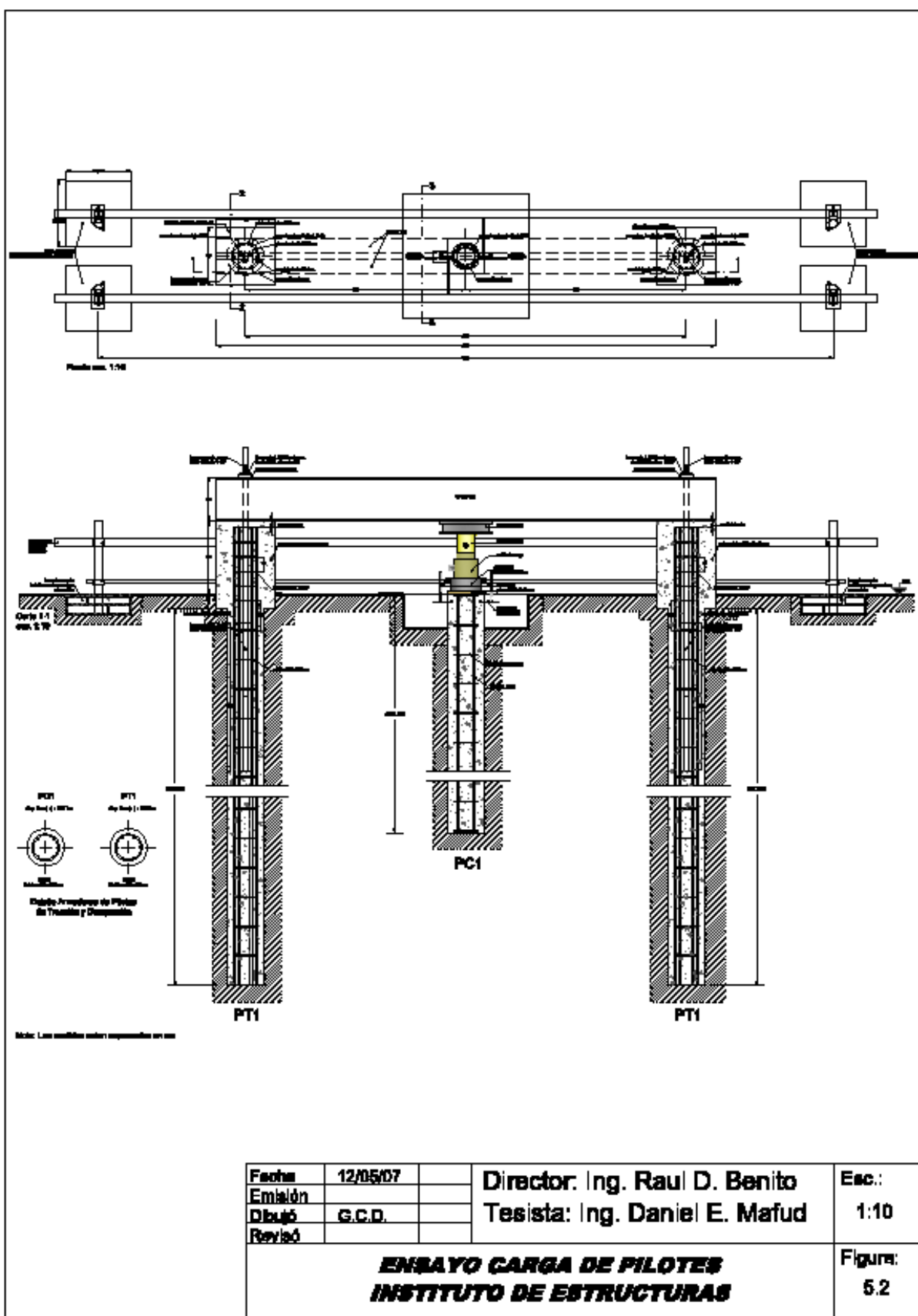
$$Q_{adm} = \frac{Q_u}{F} = \frac{Q_u}{2.5} = \frac{55.669KN}{2.5} = 22.2676KN \quad (5.7)$$

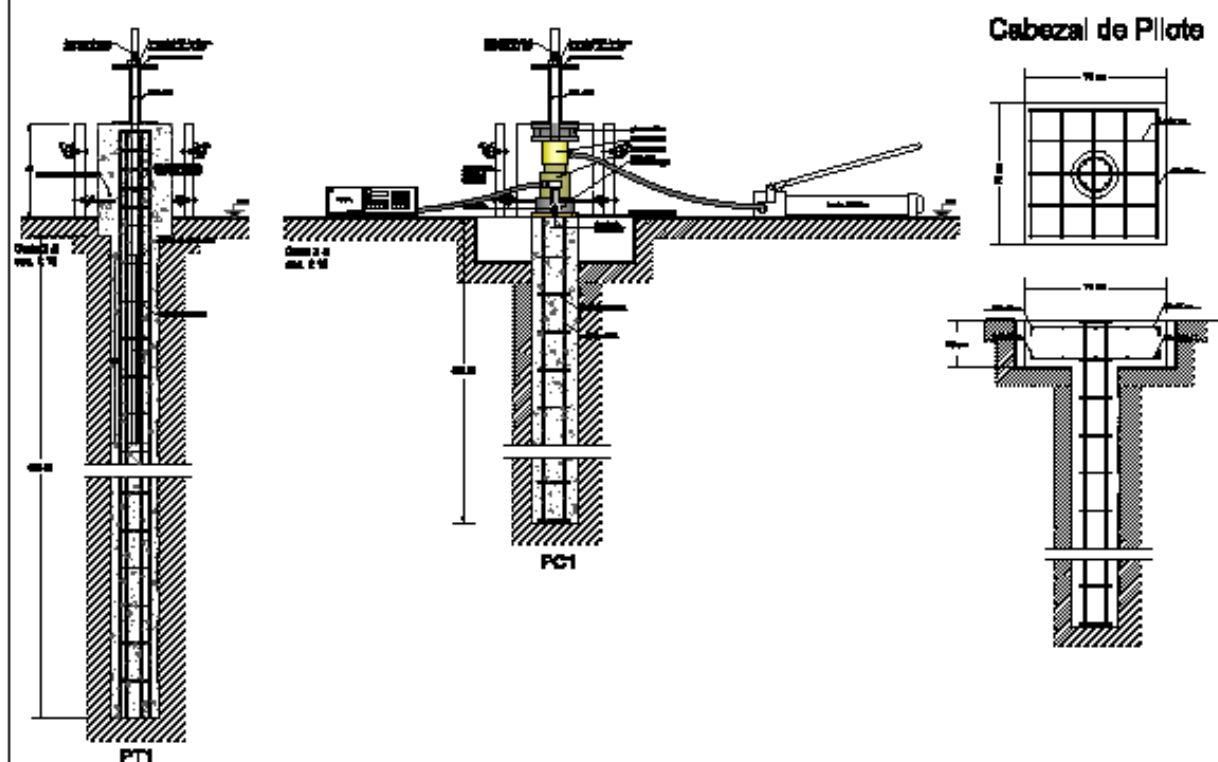
$$Q_{adm} = 22.3KN(2.23Ton) \quad (5.8)$$

Se volverá sobre este valor de cargas última y admisible luego de conocer los resultados experimentales.

5.4 Diseño del banco de cargas

El diseño del banco se muestra en las Figuras 5.1, 5.2, 5.3.





Fecha	12/05/07	Director: Ing. Raul D. Benito Tesisista: Ing. Daniel E. Mafud	Esc.:
Emisión			1:10
Dibujó	G.C.D.		
Revisó			
ENSAJO CARGA DE PILOTES INSTITUTO DE ESTRUCTURAS			Figura: 5.3

6. Resultados experimentales

Procesados los datos experimentales y volcados en un gráfico común a todos los pilotes ensayados, se obtuvo:

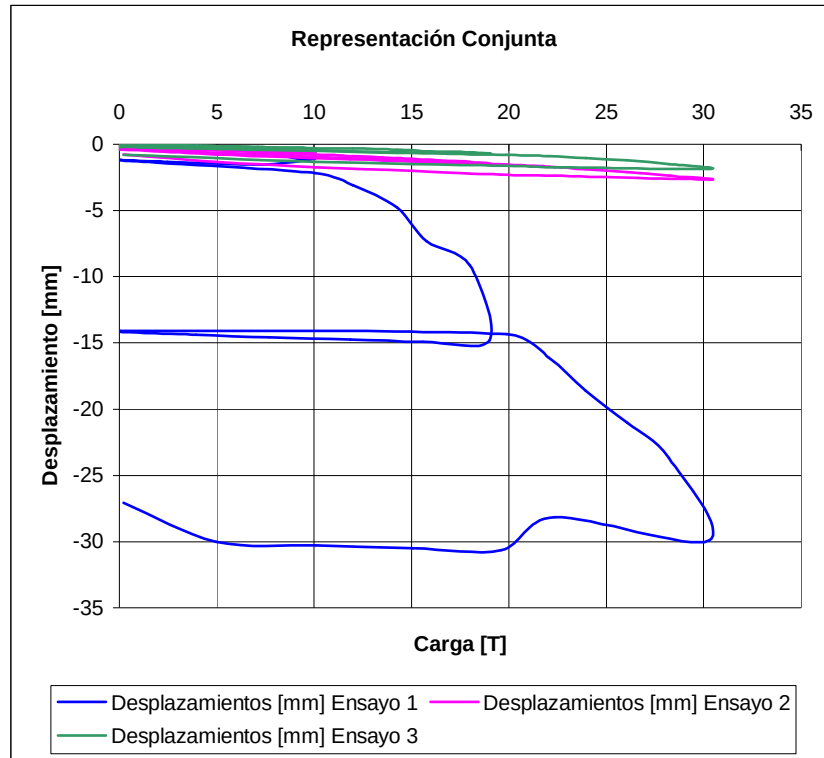


Figura 6.1: Cargas vs. Desplazamientos verticales

Ensayo 1: Pilote normal (curva inferior); **Ensayo 2:** Pilote suelo-cementado (curva intermedia);

Ensayo 3: Pilote Platea (curva superior)

A primera vista se observa una gran mejora en capacidad y comportamiento cuasi – lineal de la respuesta de los pilotes suelo-cementados y los pilotes-platea.

Si se tiene en cuenta que en todos los pilotes ensayados no se alcanzó la verdadera carga última por haber llegado en todos los casos a la capacidad del banco de carga (300 KN), se aceptará en principio que al menos esta carga es “última” para evaluar su correspondencia con las estimaciones teóricas del punto 5.

Relación Carga máxima experimental / Carga última teórica:

$$C_{me} / C_{ut} = 30 / 5.57 = 5,4 \quad (6.1)$$

Relación Carga máxima experimental / Carga admisible teórica:

$$C_{me} / C_{at} = 30 / 2.23 = 13,5 \quad (6.2)$$

Estos valores ilustran sobre la falta de ajuste de nuestros modelos teóricos a los experimentales. Es por esto que distintos autores insisten sobre la necesidad de ejecutar ensayos individuales de los micropilotes que se vayan a usar combinados

con las plateas para obtener la rigidez a partir de valores reales, para luego modelar numéricamente con estos resultados.

7. Comentarios

La atenuación de los asentamientos medidos en el banco de carga de pilotes ejecutado en el Laboratorio de Estructuras de la UNT, confirmaron que las ventajas que arroja el uso de micropilotes mejorados mediante el uso de técnicas como la de cementar la interfaz suelo -hormigón del pilote, o la del empleo de plateas pilotadas, permiten:

- Aumentar significativamente la carga máxima esperada para este tipo de fundación., y
- Reducir hasta valores cercanos a la décima parte los asentamientos esperados para un pilote común excavado y llenado posteriormente in situ.

Como prueba del buen funcionamiento de estas fundaciones, en Figura 7.1 se observan las deformaciones medidas en un edificio de 11 niveles construido en la ciudad de S.M. de Tucumán. Para la alternativa de fundación con platea, los asentamientos previstos se situaban dentro de los 100 mm.. De los valores medidos en el edificio, se registraron deformaciones máximas de 3,7 mm..

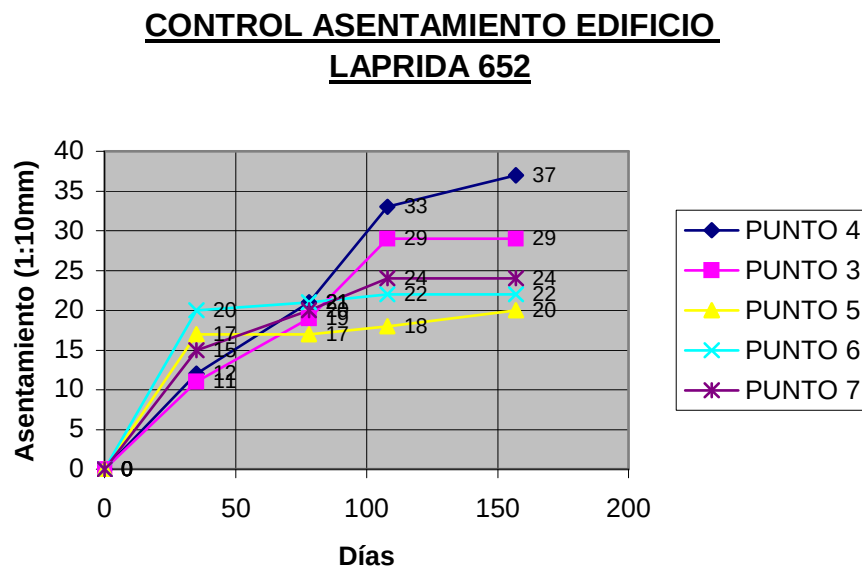


Figura 7.1: Asentamientos en función del tiempo.

Referencias: De arriba hacia abajo en el gráfico: Punto 4, centro de platea. Puntos 3, 5, 6 y 7, esquinas de platea.

No se vuelcan los resultados de las mediciones efectuadas durante el resto de un año, ya que la inactividad de asentamientos lo hace innecesario.

Estos resultados son alentadores para continuar investigando el comportamiento de técnicas de mejoramiento de fundaciones, dado el relativo bajo costo que entraña su uso.

8. Conclusiones

Como resultado directo de la aplicación de esta tecnología a las fundaciones de edificios en altura, se obtienen resultados ampliamente satisfactorios, sobre todo en suelos arcillosos o limo arcillosos como los que se disponen en gran parte de la región NOA. Ciudades como Santiago del Estero, Salta o Tucumán, poseen el problema de una gran cantidad de edificios en altura que se construyeron sobre la base de considerar como fundación para edificios de alturas variables entre 7 a 12 pisos, plateas de hormigón armado más o menos rígidas.

Aún en el caso de estas últimas, que presentan menos problemas que las primeras, los asentamientos esperados, volcados por los especialistas de suelos en sus informes, consideran como admisible asentamientos totales del orden de los 10 o 12 cm.. Esto da como resultado grandes daños a las edificaciones vecinas, por lo general colindantes medianera de por medio.

La gran cantidad de controversias, discusiones técnicas, y hasta batallas legales que se suscitan en nuestros Tribunales de Justicia, surgen de que estos edificios han pasado a constituirse en verdaderos problemas para no tan solo sus moradores, sino para los vecinos más afectados.

Para no tan solo transferir las cargas a horizontes más profundos, sino moderar y hasta reducir a apenas unos milímetros estos asentamientos, edificios con alturas variables entre 10 a 15 o 20 pisos pueden ser construidos en este tipo de suelos arcillosos mediante una técnica combinada de uso de plateas rígidas con micropilotes dispuestos bajo vigas (nunca bajo losas por problemas lógicos de posibles efectos no deseados de punzonado).

Esta platea pilotada mejora enormemente su desempeño mediante la innovación de incluir una cantidad tal de estos micropilotes que absorban un porcentaje de entre el 50 al 60% de la carga vertical total del edificio. Para ello, la teoría desarrollada sobre el particular impone la necesidad de asignar a estos micropilotes una carga equivalente a la última, lo que hace muy económico al sistema.

Esto se confirmó con mediciones realizadas sobre edificios construidos en la ciudad de Tucumán, donde para plateas pilotadas se registraron asentamientos de éste orden (finales, edificio con carga completa y en uso por períodos de 2 o 3 años desde su construcción). Cabe mencionar que alguno de estos edificios fueron construidos mediante micropilotes simples, sin el recurso extra de su mejoramiento mediante el uso de técnicas suelo cementantes.

Como efecto beneficioso adicional, este sistema de fundaciones provee a los edificios ubicados en zonas sísmicas un mejor desempeño general, modificando las condiciones locales del suelo bajo su estructura, al confinar el suelo hasta una profundidad superior a la de la misma profundidad de los micropilotes, produciendo una mejora localizada de las características mecánicas del mismo y dando como resultado una menor excitación sobre la estructura que la que producen estos suelos

arcillosos o arcillo-limosos, que normalmente amplifican las aceleraciones provenientes de ondas sísmicas.

Asimismo, introducen una mejora significativa en el desempeño de las plateas solicitadas por cargas de vuelco en edificios en altura, ya que provee también capacidad para absorber tracciones a partir del hecho que estos micropilotes actúan como verdaderos anclajes que soportan esta solicitación.

De esta manera, reducen también el giro de la fundación, atenuando los efectos de desplazamientos de pisos y confiriendo mayor confort a los ocupantes ante cargas como viento o sismo.

Bibliografía

1. **Mafud, Daniel:** *Capacidad Portante de Micropilotes en Suelo Cementado*, Tesis de Magister en Ingeniería Estructural, Universidad Nacional de Tucumán, 2008.
2. **Katzenbach, R. et al:** *Análisis del Comportamiento Estructural de LFCP*, Pfahlsymposium; Brawnschweig, 1999.
3. **Butterfield, R., Banerjee, P.K.:** *The problem of pile group pile-cap interaction*; Geotechnique 21, 1971.
4. **El Mossalarny, Y.:** *Un Modelo de Cálculo para el Comportamiento Portante de LFCP*, Darmstadt, 1996.
5. **Katzenbach, R. et al:** *Posibilidades y Límites de Aplicación para las LFCP*, Darmstadter Geotechnik Kolloquium, Darmstadt 1997.
6. **Guzmán G. Aldo, Achmus Martín:** *Concepción y Diseño: Losas de Fundación Combinadas con Pilotes*, Revista BIT, 2003.
7. **Ahner, C., Sukhov, D.:** *Combined Piled-Raft Foundation (CBRF), Safety Concept*, Leipzig, 1997.

(títulos en alemán traducidos al español)

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Nacional de Tucumán, a través del subsidio otorgado al Proyecto de Investigación “Reparación y Rehabilitación de Estructuras” del Consejo de Investigaciones de la UNT, para llevar a cabo los estudios realizados. También al Instituto de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, por el equipamiento, personal técnico y de investigación. A la Cátedra de Mecánica de Suelos, por los estudios de campo y laboratorio efectuados.