

Estudio comparativo de la capacidad portante de pilotes excavados con lodo bentonítico en la ciudad de Rafaela vía método semi-empírico

H.F.Begliardo, V. Navarro & C. Salusso

hugo.begliardo@frra.utn.edu.ar

Dpto. Ingeniería Civil, Facultad Regional Rafaela, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

RESUMEN: El incremento del nivel freático en la ciudad de Rafaela, operado en las dos últimas décadas del siglo XX, provocó daños por asientos diferenciales en edificios pesados cimentados superficialmente, obligando a recalzarlos y generando un cambio de visión en el modo de fundar en la ciudad. A partir de ello, se tornó obligatoria por ordenanza municipal la realización de estudios de suelos en nuevos edificios de mediano a gran porte derivando, generalmente, en la necesidad de ejecutar fundaciones profundas. Para el respectivo diseño se recurrió a métodos analíticos para la determinación de la capacidad portante de pilotes; en otros, a semi-empíricos basados en la experiencia brasilera sobre el tema. Desde la perspectiva del tiempo transcurrido, se pudo corroborar que la evaluación del desempeño de fundaciones efectuadas, tanto con estos últimos como con los primeros, fue satisfactoria, infiriéndose que debían presentarse coincidencias entre ambos, factores de seguridad conservadores u otras razones frente al dispar enfoque con que eran abordados. El objetivo del trabajo fue comparar los resultados de catorce estudios de suelos, desarrollados en un período de veinte años, de siete autores diferentes, basados en métodos analíticos y semi-empíricos, cotejándolos con la aplicación a ellos del método semi-empírico de "Decourt-Quaresma extendido" de 1996 y extraer conclusiones sobre sus aptitudes. Como base de comparación del estudio se tomaron los resultados de un pilote de 40 cm de diámetro, excavado con el empleo de lodo bentonítico.

Palabras clave: fundaciones profundas – pilotes – capacidad de carga – métodos semi-empíricos

ABSTRACT: The elevation of the phreatic level in Rafaela City, operated in the last two decades of XX century has caused damaged on heavy loaded buildings due to the differential settlements of the shallow foundations. This led to underpinning works and some mentality change on the way that local foundations must be constructed. From this, it became mandatory bylaw a previous investigation of local soils for new building designs, which shall be since then designed with the use of deep foundations. In order to assess the bearing capacity of them it is normal to use analytical methods or, in some cases, the brazilian semi empirical experience on this subject. From hindsight, it can be concluding that the foundation performance assessment carried out with both procedures was satisfactory, which infer coincidences, conservative safety factors or other reasons, given their methodological divergences. The objective was to compare the results of fourteen soils investigated throughout twenty years by seven distinct authors, based on both procedures, comparing them with the application of the semi-empirical "extended Decourt-Quaresma " 1996 method, and conclude on their skills. The results of a 40 cm diameter bored with bentonite mud pile were adopted as comparison basis for the study.

Key Words: deep foundations-piles-bearing capacity-semi empirical methods-numerical too

1. INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Rafaela se encuentra ubicada en la Llanura Chaco-Pampeana. La pendiente general del suelo es muy suave, de orientación Oeste-Este, incluyendo áreas de difícil desagüe. El subsuelo, perteneciente a la Formación Pampeana, está conformado por limos y arcillas de color castaño, transportados por el viento, suelos loésicos bastante homogéneos y de estructura abierta [1,2].

T.Perini [3] señala que el subsuelo del área de influencia de la zona central de la Provincia de Santa Fe, a la cual pertenece Rafaela, presenta una estratigrafía superficial que puede resumirse en un primer Estrato "A" (0,00 a -1,00/1,50 m) con arcillas de media a alta plasticidad y medianamente compactas. Le sigue un Estrato "B" (-1,50 a -3,00/4,50 m) compuesto de arcillas limosas y limos arcillosos de baja plasticidad y capacidad portante, y un Estrato "C" (-3,00/4,50 a -15,00 m) de arcillas plásticas compactas, de variable plasticidad y capacidad portante creciente.

El Estrato "B" es el más crítico, por cuanto sobre él descansan los cimientos, o hasta él interesan los bulbos de presiones de las construcciones más antiguas.

El incremento del nivel freático operado en las dos últimas décadas del siglo XX provocó daños en edificios pesados fundados superficialmente, debido a los grandes asientos diferenciales ocurridos, lo que obligó a practicarles recalces con micropilotes o recrecido de cimientos, y dio lugar a un cambio de visión en el modo de fundar en la ciudad.

A partir de ello cobró importancia, y se tornó obligatoria por ordenanza municipal, la realización de estudios de suelos en nuevos edificios. Para aquellos de mediano o gran porte, los estudios normalmente recomiendan la fundación mediante pilotes de Φ 30 cm ó más. No obstante, en un principio se presentaron criterios dispares entre quienes los elaboraban, en cuanto al grado de participación asignado a las resistencias por fuste y de punta. En algunos casos se desconoció el aporte de una o de la otra. Todo ello contribuyó a incrementar aún más la incertidumbre reinante en el medio profesional local ante los hechos que se presentaban.

Han transcurrido veinte años desde el comienzo de las manifestaciones señaladas. Desde entonces a la fecha se han realizado muchos estudios de suelos

para edificios de la ciudad, generando una amplia base de datos, rica para su análisis. En la mayoría de los mismos se recurrió al método clásico analítico para la determinación de la capacidad portante de pilotes. En otros, a métodos semi-empíricos. Desde la perspectiva del tiempo transcurrido, se pudo corroborar que la evaluación del desempeño de fundaciones efectuadas tanto con estos últimos como con los primeros ha sido satisfactoria, infiriéndose que debían presentarse coincidencias entre ambos, factores de seguridad conservadores u otras razones frente al dispar enfoque con que fueron abordados.

El objetivo del presente trabajo ha sido comparar los resultados de catorce estudios de suelos, desarrollados en un período de veinte años, pertenecientes a siete autores diferentes, basados en métodos clásicos analíticos y semi-empíricos, cotejándolos con la aplicación a los mismos del método semi-empírico de "Décourt-Quaresma extendido" del año 1996 [4], y extraer conclusiones que permitan aportar elementos de juicio para evaluar el desempeño y aptitud de los métodos de determinación de capacidad de carga en pilotes excavados, tanto indirectos como semi-empíricos, en el marco de una investigación de mayor envergadura sobre el subsuelo rafaélino. A tal efecto, se tomó como base de comparación la capacidad portante de un pilote de 40 cm de diámetro, excavado con el empleo de lodo bentonítico.

2. MÉTODOS PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES

Los métodos para la determinación de la capacidad de carga de pilotes son básicamente de dos tipos: a) aquellos basados en pruebas directa de carga en el lugar, y b) aquellos fundados en la aplicación de fórmulas basadas en diferentes modelos teórico o teórico-prácticos.

Los primeros son habitualmente empleados para verificaciones in situ o, en ocasiones especiales, como instrumento complementario de investigaciones para correlacionarlos con modelos de determinación de capacidad de carga (semi-empíricos o teórico-prácticos). Según Milititsky (1991) [5], las pruebas de carga constituyen el único medio efectivamente confiable e insustituible para la determinación del comportamiento de fundaciones profundas.

Lo segundos determinan la capacidad a partir de ensayos de laboratorio o in situ. Dentro de este grupo Velloso y Lopes (2002) [6] distinguen tres clases:

a) Racionales o teóricos:

Incorporan a sus modelos teóricos los parámetros del suelo obtenidos mediante ensayos de laboratorio. Son también llamados métodos “analíticos” o “indirectos”, y constituyen los de mayor difusión en Argentina. Este modo de estimar la capacidad de carga es observada como normalmente deficiente por algunos autores. Entre las razones que se argumentan se citan la imposibilidad práctica de conocer con certeza el estado de carga del terreno en las condiciones componentes del perfil geotécnico atravesado por el pilote y donde éste apoya; la dificultad para determinar con exactitud la resistencia al cizallamiento de los suelos; el proceso ejecutivo, que incide de manera importante en la resistencia de fuste, del mismo modo que el grado de limpieza del fondo de excavación condiciona la resistencia de punta [7].

b) Semi-empíricos:

Obtienen correlaciones a partir de ensayos de campo SPT (Ensayo de Penetración Estándar) o CPT (Cone Penetration Test-cono holandés-) con pruebas de carga sobre pilotes ejecutados con diferentes técnicas y sobre diferentes tipos de suelo. Es el tipo de método actualmente más aceptado en Brasil, con aplicaciones ya realizadas en la ciudad de Rafaela.

Son numerosos los investigadores brasileiros que formularon y desarrollaron teorías para la evaluación de la resistencia de pilotes. Generalmente sus modelos se identifican con los suelos de la región geográfica donde se practicaron las pruebas de campo.

Dentro de los métodos más aceptados y difundidos en Brasil se encuentra el Método de Aoki y Velloso [8] del año 1975, ampliado por Velloso en 1991, y el Método de Décourt y Quaresma [9] dado a conocer en 1978 y también ampliado en los años 1982, 1987, 1991, 1993, 1994 y 1996 [4,10]. Ambos métodos presentan modelos conceptuales semejantes, divergiendo básicamente en la definición y estimación de las resistencias por unidad de área, tanto de rozamiento como de punta.

c) Empíricos:

Estiman la capacidad de carga a partir de correlaciones empíricas obtenidas de ensayos in situ. También se los llama métodos “directos” [7].

2.1. Capacidad de carga

La capacidad de carga de pilotes puede ser descompuesta en dos fracciones, una conformada por la resistencia de punta y la otra por la resistencia lateral [Ec. (1)].

$$Q_u = Q_p + Q_L \quad (1)$$

siendo:

Q_u : capacidad de carga de rotura a compresión

Q_p : capacidad de carga de punta

Q_L : capacidad de carga lateral o de fricción

El comportamiento de la interacción suelo-estructura en fundaciones profundas es más complejo y menos conocido que para fundaciones superficiales. La literatura propone diferentes mecanismos o modelos de rotura.

Para analizar el desempeño de una fundación, deben observarse las condiciones de drenaje del suelo. Tratándose de suelos cohesivos, como los que se tienen en la ciudad de Rafaela, las condiciones no drenadas pueden resultar en valores bajos de la capacidad de carga, por lo que para determinar dicha capacidad en la punta de un pilote en suelo arcilloso se deben asumir las mismas. En relación a la determinación de capacidad de carga por fuste, debe considerarse también el proceso ejecutivo, además del tipo de suelo [11].

3. EL MÉTODO SEMIEMPÍRICO DE DECOURT-QUARESMA

En el año 1978 Décourt y Quaresma [9] propusieron un método expeditivo para la determinación de resistencia por fuste y de punta, en pilotes premoldeados de hormigón, hincados a percusión, a partir de los valores obtenidos en el ensayo SPT confrontados con pruebas de carga. La limitación se restringía a suelos con $N_{spt} \leq 15$ por cuanto, por aquel entonces, los pilotes tradicionales usualmente no eran aplicados en suelos de alta consistencia o densidad. Como consecuencia del mejoramiento de las técnicas de excavación mecánica y el empleo de bentonita en suspensión, que posibilitaron la ejecución de pilotes en suelos altamente resistentes, con elevados valores N_{spt} , en el año 1982 L. Décourt propuso una modificación al modo de evaluar la resistencia friccional [10].

En el referido trabajo el autor afirma que la resistencia por rozamiento de pilotes excavados mediante el empleo de bentonita es totalmente

movilizada con deformaciones de aproximadamente 10 mm, o a lo sumo 15 mm, independientemente del diámetro de pilote. Observó que una vez que la curva resistencia-deformación alcanza un pico, la resistencia no parece experimentar nuevos cambios, llegando a un valor constante igual al valor pico, o ligeramente inferior. Asimismo, destaca que la evolución de la resistencia de punta requiere de deformaciones de considerable magnitud. Sus experiencias coinciden con las de Proding y Veder [12], en las cuales la resistencia friccional alcanzaba sus valores máximos para descensos del orden de los 12 mm, en tanto que la resistencia de punta del pilote, para dicha deformación, era prácticamente nula. Sólo para deformaciones de varios centímetros la resistencia de punta alcanzó valores tan elevados como la de rozamiento.

En el año 1986 introdujo ajustes al coeficiente de resistencia de punta para ser aplicado al caso de pilotes excavados, y en 1996, junto a Quaresma, extendió el método original a otros tipos de pilotes muy utilizados y de difusión más reciente, introduciendo dos coeficientes (α y β), conforme al tipo de pilote y a la naturaleza del suelo atravesado, además de modificar el modo de ponderar el N_{spt} a lo largo del fuste. La ecuación finalmente propuesta y aplicada en este trabajo como medio de comparación es:

$$Q_u = \alpha \cdot C \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot U \cdot 10 \cdot \sum (N_L / 3 + 1) \cdot \Delta_L \quad (2)$$

Siendo:

Q_u = capacidad de carga de rotura a compresión (kN).

N_p = valor medio del N_{SPT} en la punta, el inmediatamente anterior y el inmediatamente posterior.

C = coeficiente para resistencia de punta en función del tipo de suelo (tabulados).

A_p = Área de la punta.

U = perímetro del pilote (en metros).

N_L = valor medio de N_{SPT} para cada Δ_L .

Δ_L = longitud del espaciamiento de cada determinación de N (en metros).

α y β = coeficientes dependientes del tipo de pilote y del suelo (tabulados).

3.1. Factor de seguridad

En su propuesta del año 1982, Décourt introdujo lo que dio en llamar “un nuevo concepto sobre el factor de seguridad para pilotes”, asignando el

factor 1,3 para la resistencia a fricción y 4,0 para la de punta, conforme a ecuación (3):

$$Q_{adm} = Q_p / 4 + Q_L / 1,3 \quad (3)$$

La Norma Brasileira NBR 6122/1996 [13] establece un coeficiente de seguridad global $\eta=2.0$, por lo que la capacidad de carga admisible queda:

$$Q_{adm} = Q_u / 2 = (Q_p + Q_L) / 2 \quad (4)$$

Sobre la base de las consideraciones precedentes, en este trabajo sólo se tuvo en cuenta la resistencia a fricción al aplicar el Método de Décourt-Quaresma “extendido” (en adelante DQ1996) -ecuación (2)-, para el cotejo con los resultados de los trabajos seleccionados, adoptándose el coeficiente de seguridad $\eta=2$.

4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTUDIOS

Se han comparado las capacidades portantes admisibles para fundaciones profundas con pilotes excavados con lodo bentonítico, determinadas en catorce estudios de suelos realizados por distintos autores en la ciudad de Rafaela a lo largo de veinte años. El 80% de ellos se inscribe en un círculo de 300 m de radio, ubicado dentro del casco céntrico (Ver Fig. 1). Tales trabajos fueron escogidos de una base de datos más amplia, la cual da sustento a una investigación sobre las propiedades geotécnicas del subsuelo rafaélino, que se está llevando a cabo en el ámbito de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela.

Ocho de los estudios analizados fueron elaborados siguiendo la técnica clásica indirecta, basada en la realización de ensayos SPT en campo, con toma de muestras a cada metro, y complementados con ensayos de laboratorio de identificación de suelos y determinación de parámetros de corte c (cohesión) y ϕ° (ángulo de fricción interna). Los seis restantes han incurrido en métodos semi empíricos. Uno de ellos menciona haber aplicado Décourt-Quaresma del año 1978. En todos los casos, este trabajo compara los resultados de los mismos con los que se obtienen de la aplicación del método semi-empírico DQ 1996. Como base de comparación del estudio se tomaron los resultados

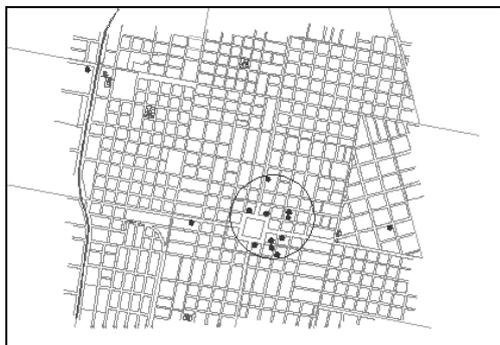


Figura 1. Ubicación de los estudios de suelos seleccionados

de un pilote de 40 cm de diámetro, excavado con el empleo de lodo bentonítico.

En Tabla 1 se disponen los estudios en orden cronológico, identificándolos con una clave alfanumérica, y a sus autores con letras.

Tabla 1. Estudios de suelos analizados

Identificación estudio de suelos	Autor	Año de realización	Profundidad nivel freático (m)
E1	A	1988	s/información
E2	B	1988	3,6
E3	C	1989	3,7
E4	D	1991	2,4
E5	E	1992	2,75
E6	F	1992	2,5
E7	B	1992	2,8
E8	F	1994	3,6
E9	F	1994	3,5
E10	F	1996	2,4
E11	F	2000	8,0
E12	G	2001	2,0
E13	B	2007	2,4
E14	B	2007	2,0

4.1. Estudio E1. Autor A

- Año de realización: 1988 (inicio de las manifestaciones de asentamientos de fundaciones en las construcciones de la ciudad).
- Método aplicado: Decourt-Quaresma (1978).
- Aspectos destacados: considera el aporte de la resistencia de punta a la capacidad total admisible, contrariamente a lo que sugiere Décourt (1982), en el sentido de dejar a la misma como un factor

adicional de seguridad. No se cuentan con datos de identificación de los suelos atravesados.

▪ **Análisis Comparativo:** se observa claramente un paralelismo entre las curvas de resistencia al rozamiento propuesta por el autor del estudio entre las profundidades 5,00 a 7,00 m, y la evaluada en este trabajo con el Método DQ 1996, la cual es menor. La diferencia entre las trazas paralelas, sin embargo, es del orden de las 8 toneladas, considerándose excesiva sobre la base de estudios fundados en el mismo método, aunque la última versión haya incorporado algunos ajustes. Ella se incrementa a más de 20 toneladas, de tener en cuenta la resistencia por punta. La razón de tal desfase se debe puramente a la metodología de evaluación adoptada por el autor "A", el cual se apartó de la aplicación ortodoxa de la propuesta de Décourt y Quaresma, aplicando su criterio ingenieril, según surge de la memoria del trabajo (Ver Fig. 2).

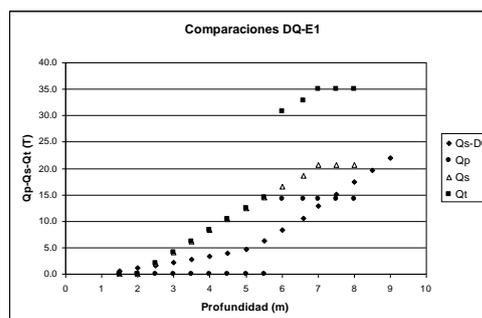


Figura 2. Autor "A", Estudio E1, año 1988

Siendo:

Qs-DQ: capacidad de carga admisible a fricción (toneladas) según el Método de Decourt-Quaresma "ampliado" (1996).

Qp: capacidad de carga admisible de punta (toneladas) según el estudio de suelos.

Qs: capacidad de carga admisible a fricción (toneladas) según el estudio de suelos.

Qt: capacidad de carga admisible total (toneladas) según el estudio de suelos ($Qt = Qp + Qs$).

4.2. Estudios E2-E7-E13-E14. Autor B.

Año de realización: 1988, 1992, 2007 y 2007 respectivamente.

▪ Método aplicado: clásico analítico, basado en fórmulas provistas por la Mecánica de Suelos.

▪ **Análisis Comparativo:** en el estudio E2 (1988), Fig. 3, se puede apreciar que el autor no asigna

resistencia friccional alguna a los pilotes, confiriendo toda capacidad a la punta de los mismos. La discordancia con los resultados del método de cotejo DQ 1996, es total. La obra motivo del estudio nunca se ejecutó.

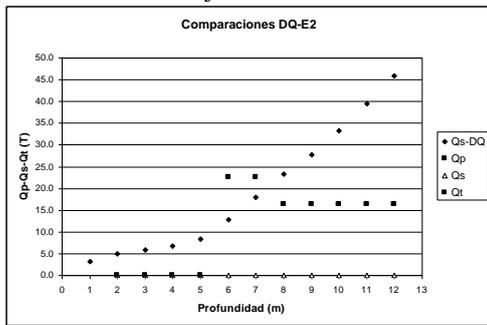


Figura 3- Autor "B", Estudio E2, año 1988

En el estudio E7 (1992), Fig.4, se destaca la asignación de una importante capacidad a la resistencia por fuste a partir de los 13 metros de profundidad. Asimismo, es llamativa la coincidencia de la capacidad de carga total (Q_t) asignada por el autor (punta más rozamiento), con la de fricción del método de comparación DQ 1996. Entre los 6 y 13 metros las trazas son paralelas con un desfase del orden de las 7 toneladas, al considerar nula la resistencia de punta, alcanzando mayores valores el método semi-empírico.

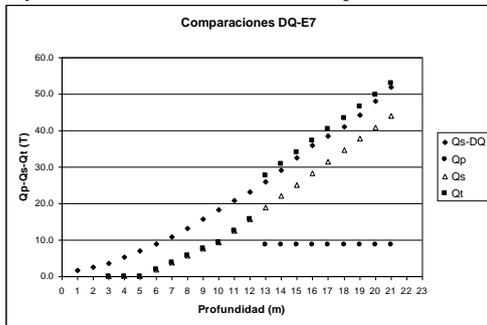


Figura 4- Autor "B", Estudio E7, año 1992

En el estudio E13 (2007), Fig. 5, se encuentra nuevamente una sorprendente coincidencia en las curvas de resistencia total (Q_t y la del método DQ 1996). Como en el análisis de las figuras precedentes, debajo de los 13 m considera nula la resistencia de punta por lo que las curvas se apartan. En cuanto al estudio E14 (2008), Fig. 6, el apartamiento entre las curvas es notable. Como en el anterior, tampoco considera resistencia de punta

por debajo de los 13 m y, a partir de dicha profundidad, se presenta un desfase del orden de 4 toneladas entre las resistencias Q_t y DQ 1996 (ésta es mayor), que en los siguientes 3 m se incrementa a valores cercanos a las 10 toneladas.

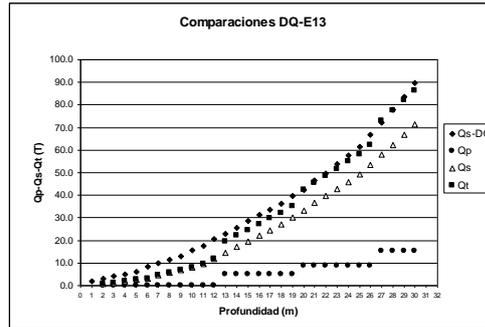


Figura 5- Autor "B", Estudio E13, año 2007

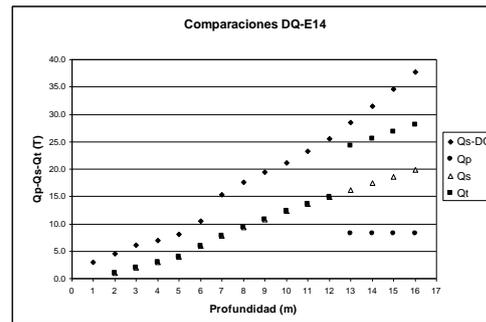


Figura 6- Autor "B", Estudio E14, año 2007

4.3. Estudio E3. Autor C.

- Año de realización: 1988.
- Método aplicado: presuntamente semiempírico (Décourt-Quaresma 1978), por la carencia de datos sobre parámetros de corte e informes de Laboratorio.
- Aspectos destacados: el estudio tuvo por finalidad practicar recalces en la fundación de una construcción dañada por asientos diferenciales.
- Análisis comparativo: con trazas paralelas, los valores DQ 1996 son más conservativos (Fig. 7).

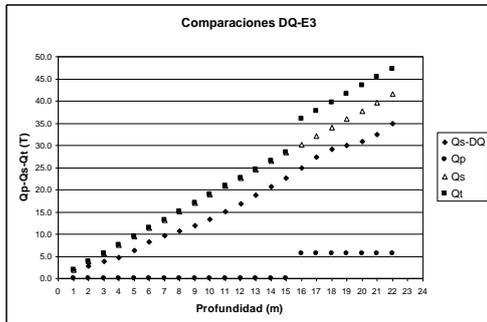


Figura 7. Autor "C", Estudio E3, año 1988

4.4. Estudio E4. Autor D.

- Año de realización: 1991.
- Método aplicado: clásico analítico.
- Aspectos destacados: el autor sugiere fundar con pilotes trabajando exclusivamente a fricción y prueba de carga previa, dadas las condiciones del terreno "evidentemente malas" y "no confiables". La obra nunca se ejecutó.
- Análisis comparativo: en la Fig. 8 se observa que la curva del autor ($Q_t = Q_s$; $Q_p = 0$) tiende a converger con la de comparación de manera más marcada a partir de los 11 m de profundidad. Entre los 6 m y dicha profundidad, el desfase es del orden de las 4,5 toneladas, siendo más conservadores que los del método semi-empírico.

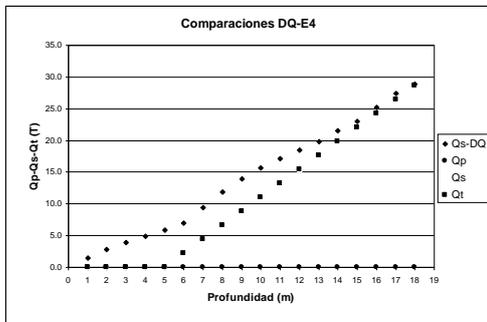


Figura 8. Autor "D", Estudio E4, año 1991

4.5. Estudio E5. Autor E.

- Año de realización: 1992.
- Método aplicado: clásico analítico.
- Aspectos destacados: estudio profundo con abundante provisión de datos. Obra de recalce con micropilotes.

- Análisis comparativo: notoria coincidencia con el método DQ 1996 a partir de los 9 m de profundidad, cota en la que el autor comienza a asignar resistencia de punta (Fig. 9).

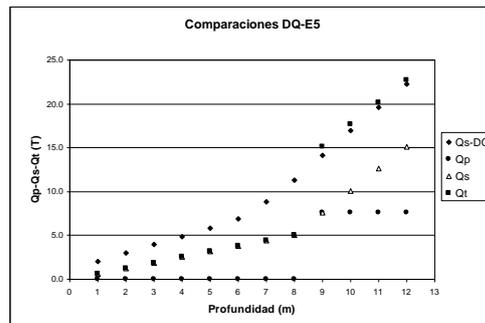


Figura 9. Autor "E", Estudio E5, año 1992

4.6. Estudios E6, E8, E9, E10, E11. Autor F.

- Años de realización: 1992, 1994, 1994, 1996, 2000.
 - Métodos aplicados: semi-empíricos, por la carencia de datos sobre parámetros de corte e informes de Laboratorio (presuntamente Décourt-Quaresma 1978, con coeficientes de seguridad propios).
 - Análisis comparativo: en todos los estudios (Fig. 10 a 14) el autor asigna a la capacidad de carga por fuste la mayor importancia. No obstante hasta los 4-5 m, coincidiendo con otros autores, la considera nula por tratarse de suelos extremadamente blandos cuando son alcanzados por el nivel freático. En cuanto a la capacidad por punta, es interesante observar cómo los valores asignados son nulos (E6) o bien pequeños (no mayores a 2 tn) relacionados con los de fricción.
- En general se observa que las trazas son paralelas, a excepción del E6, en los que el desfase Q_t vs. DQ 1996 tiende a incrementarse en profundidad, y en el E 11, con tendencia a converger. A partir de los 6 m en el E9, y 9 m en el E11, hay bastante coincidencia entre los valores que se cotejan. La obra correspondiente al estudio E8 no se ejecutó.

4.7. Estudio E12. Autor G

- Año de realización: 2001.
- Métodos aplicados: clásico analítico
- Aspectos destacados: estudio destinado a recalce de obra antigua con ampliación.

▪ Análisis comparativo: hay coincidencia prácticamente plena con DQ1996 hasta los 4,5 m.

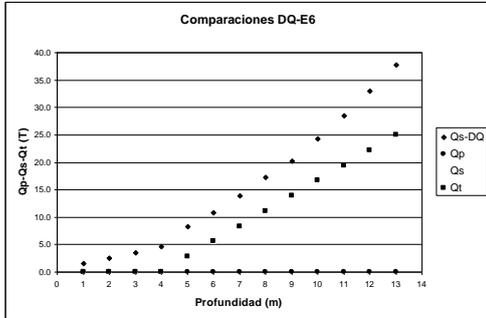


Figura 10. Autor "F", Estudio E6, año 1992

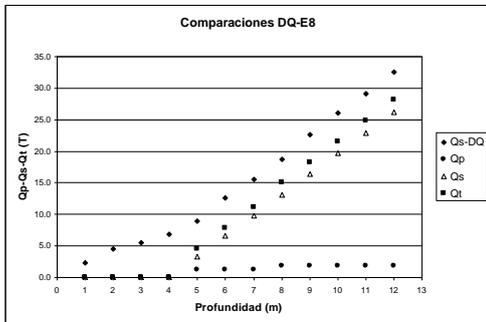


Figura 11. Autor "F", Estudio E8 año 1994

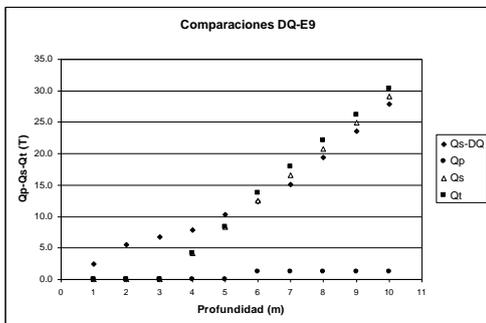


Figura 12. Autor "F", Estudio E9, año 1994

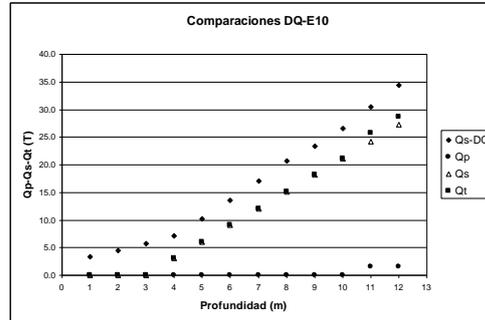


Figura 13. Autor "F", Estudio E10, año 1996

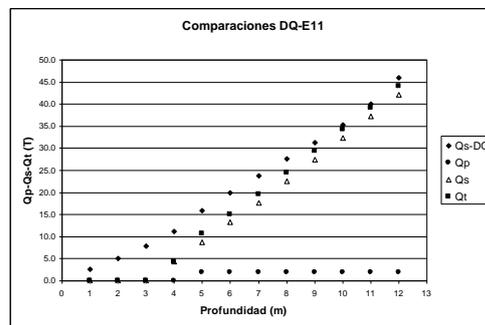


Figura 14. Autor "F", Estudio E11, año 2000

Los valores asignados, todos de resistencia por fuste, son más conservadores que los de DQ1996. Las curvas se apartan desde dicha profundidad hasta los 13 m, a partir de la cual comienza a asignar resistencia por punta y tienden a acercarse y ser paralelas (Fig. 15).

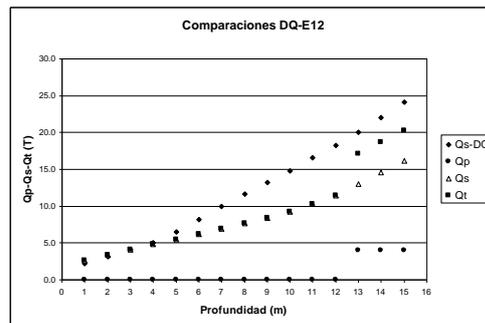


Figura 15. Autor "G", Estudio E12, año 2001

4.8. Comparación E6-E7. Dos estudios de autores diferentes en un mismo lote.

▪ Año de realización: 1992.

- Métodos aplicados: clásico analítico (E6) y semiempírico (E7)
- Aspectos destacados: estudios destinados a edificio de altura, contemporáneos. Nspt de ambos, significativamente diferentes.
- Análisis comparativo: Se evidencia que, partiendo de modelos diferentes los autores llegan, a partir de cotas profundas, a alcanzar valores bastante coincidentes de capacidad de carga total. Las diferencias se deben, básicamente, a los diferentes criterios sostenidos en cuanto a la existencia o no de la colaboración de la punta o fuste. A partir de los 13 m el autor del estudio E7 comienza a asignar capacidad de carga por fuste y el primero interrumpe su prospección. Extrapolando hacia adelante la línea de tendencia, tienden a alcanzar valores cercanos (Fig. 16).

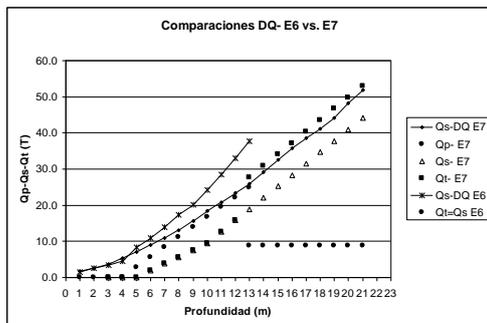


Figura 16. Comparación Estudios E6 (autor F) vs. E7 (Autor B), sobre el mismo predio.

Donde:

Qs-DQ E7: capacidad de carga admisible *a fricción* (toneladas) según el Método de Decourt-Quaresma “ampliado” (1996), para el estudio E7.

Qs-DQ E6: ídem, para el estudio E6.

Qp-E7: capacidad de carga admisible *de punta* (toneladas) según el estudio de suelos E7.

Qs-E7: capacidad de carga admisible *a fricción* (toneladas) según el estudio de suelos E7.

Qt-E7: capacidad de carga admisible *total* (toneladas) según el estudio de suelos (Qt = Qp+Qs), para el estudio E7.

Qt = Qs-E6: capacidad de carga admisible *a fricción* (toneladas), igual a la *total*, según el estudio de suelos E6.

5. CONCLUSIONES

Se compararon los resultados de catorce estudios de suelos, desarrollados en un período de veinte años,

pertenecientes a siete autores diferentes, basados en métodos clásicos analíticos y semi-empíricos, cotejándolos con la aplicación a los mismos del método semi-empírico de “Decourt-Quaresma extendido” del año 1996. Sobre la base de ello se concluye en que:

a) Se ha observado el cambio de criterio operado en algunos autores a lo largo de los años, en cuanto al grado de participación asignado a las resistencias por fuste y punta.

b) Se ha comprobado que, pese a la divergencia de métodos aplicados, se constataron llamativas coincidencias o valores cercanos en los resultados de los mismos, fundamentalmente en profundidad, considerando la capacidad de carga total en relación a la capacidad de carga por fuste del método de comparación DQ 1996. Las mayores coincidencias se dieron con las de los estudios racionales-teóricos al sumárseles a su resistencia friccional, la de punta.

c) A excepción de los estudios E1 y E3, realizados a fines de la década de 1980, prácticamente los valores de capacidad de carga por fuste obtenido con el método de DQ 1996, han sido mayores que las capacidades de carga totales Qt obtenidas en los estudios cotejados.

d) Luego de transcurridos más de veinte años de haberse practicado recalces mediante micropilotes en fundaciones dañadas, diseñados con modelos semiempíricos (Decourt-Quaresma 1978 o similares), el comportamiento estructural ha sido satisfactorio sin haberse manifestado nuevos daños. Del mismo modo, aquellos nuevos edificios construidos o recalzados en base a estudios de suelos elaborados con métodos clásicos analíticos observaron un buen comportamiento, sin apreciarse asentamientos que hayan excedido los valores límites para suelos finos.

e) Las conclusiones precedentes permiten inferir o sospechar que los coeficientes de seguridad adoptados en la práctica son conservadores, quizá en exceso, máxime si se contempla la disparidad de criterios empleados, la diversidad de estudios y autores, y la heterogeneidad de los resultados. Ello puede justificar una revisión de los mismos.

f) El empleo de la técnica brasilera basada en métodos semi-empíricos, como el de Decourt-Quaresma ampliado de 1996, empleado para el cotejo, parece ser un buen camino a profundizar y estudiar atento a los resultados de las experiencias locales. La prueba de carga realizada en nuestros Laboratorios (Ref. [1]), abona aún más la conjetura precedente.

6. REFERENCIAS

- [1] Boidi M., Paravano H., Cunha R., 2006. Evaluación de capacidad de carga de un pilote de pequeño diámetro en loess pampeano vía prueba de carga. XVIII CAMSIG, San Juan.
- [2] Navarro V., Begliardo H., Salusso C., 2008. Geología en la ciudad de Rafaela. PID CCCPRRA90-T01, U.T.N. F.R.Rafaela, Dpto.Ing.Civil, (sin publicar).
- [3] Perini T., 1998. Consideraciones s/Selección y Proyecto de Fundaciones-1ª Parte. Rev. CPIC DI N° 11, Santa Fe.
- [4] Décourt L., Quaresma A.,R., 1996. Análise e Projeto de fundações profundas: Estacas. In: Fundações: Teoria e prática. São Paulo: Pini/ABMS/ABEF, p. 265-301.
- [5] Milititsky J., 1991. Provas de cargas estáticas. relatos de conhecimento. In: SEFE, 2., 1991, São Paulo. Anais... São Paulo: ABEF/ABMS, v. 2, p. 203-228.
- [6] Velloso D.A., Lopes F.R., 2002. Fundações: Fundações Profundas. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, v. 2, 472p.
- [7] Giuliani E., 2006. Fundações Profundas. Estimativa de Capacidade de Carga Admissível. Dpto.Engenharia Civil, PUCRS, Brasil.
- [8] Aoki N., Velloso D.A., 1975. Um método aproximado para estimativa da capacidade de carga de estacas. Panamerican Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 1, pp. 367-376, Buenos Aires.
- [9] Décourt L., Quaresma A.R., 1978. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. ABMS VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos em Engenharia de Fudacoes, Rio de Janeiro.
- [10] Décourt L., 1982. Prediction of the bearing capacity of piles based exclusively on N values of SPT, Proceedings 2nd.European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam.
- [11] Nienov F.R., 2006. Comportamento á compressão de estacas escavadas de pequeno diámetro em solo sedimentar na Região de Santa Maria- Tesis de Maestría, U.F.Santa María, RS, Brasil.
- [12] Prodinger V., Veder C.H., 1981. Bearing capacity of floating groups of diaphragm walls X ICSMEF. Stockholm-A.A. Balkema.
- [13] NBR 6122: 1996. Projeto e Execução de Fundações. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.