

16. Ciencias e Ingeniería de Materiales

Prueba de Carga a Compresión sobre Pilotes de 40 centímetros de diámetro

Kallus, Mariana; kallusmariana@gmail.com ; García, Alfredo; alfre.garcia7@gmail.com

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de Itapúa

Resumen

En Paraguay los proyectos de cimentaciones profundas presentan un carácter empírico basados en métodos de previsiones de carga. Debido a esto, se realizaron pruebas de carga a compresión en el predio de la Universidad Nacional de Itapúa, a fin de conocer el comportamiento real de un pilote sometido a una carga estática a compresión, y compararlo con las capacidades obtenidas por los métodos de: Aoki & Velloso (1975) y Decourt & Quaresma (1978). El ensayo fue llevado a cabo considerando la Norma Brasileira NBR 6122-96, con cargamento rápido. Fueron cargados 6 pilotes de Hormigón Armado de 40 centímetros de diámetro con profundidades de 5 y 7 metros. Las previsiones de la capacidad de carga de cada pilote, se basaron en correlaciones del ensayo dinámico SPT. Con el ensayo de campo se registraron: “valores de cargas y asentamientos” de cada pilote, y con ellos, se obtuvieron las cargas máximas que pueden soportar los pilotes a través de métodos experimentales, para luego compararlos con los valores de diseño de los métodos semi-empíricos. Está comparación de resultados indica que Aoki & Velloso arroja cargas admisibles por debajo de las obtenidas por métodos experimentales; Decourt & Quaresma, es el más próximo a los valores obtenidos experimentalmente.

Palabras clave: capacidad de Carga, SPT, método semi-empírico, método experimental.

Introducción

En la literatura técnica encontramos estudios de campo sobre la estimación de la capacidad de carga última de los pilotes; diferentes autores proponen métodos para determinar la carga última, dependiendo de variables geotécnicas y geométricas, en cambio, en la práctica se han llevado a cabo pruebas de carga estática a compresión sobre pilotes, debido a que es el método más seguro y confiable para determinar el comportamiento de un pilote o un conjunto de ellos.

En Paraguay no es habitual la realización de pruebas de carga en pilotes para la verificación de los valores de diseño, por lo que se torna una necesidad el estudio y comparación de los valores obtenidos experimentalmente. Por ello, el principal objetivo de la investigación fue la de comparar los resultados de la carga de rotura obtenida en el ensayo de prueba de carga con los valores de diseño, obtenidos por los métodos de Aoki & Velloso (1975) y Decourt & Quaresma (1978).

Objetivo

Comparar los resultados de la carga de rotura obtenida por ensayo de prueba de carga con los valores de diseño de Aoki & Velloso, y Decourt & Quaresma.

Materiales y Métodos

Entre los materiales y/o dispositivos utilizados fueron:

- Un cilindro hidráulico de la marca EMIC, accionado por una bomba manual.
- Un manómetro convencional de la marca ASTA, conectado a la bomba y al cilindro.
- Una viga metálica IPN50 de 50 cm x 18,5 cm.
- Dos placas de acero galvanizado de ½" con 4 agujeros en sus extremos para sujetar a la viga metálica.
- Un equipo de soldadura de la marca Gladiator Electrónica con capacidad de 200A/80V.
- Dos deflectómetros con precisión de 10^{-3} mm..

En cuanto a la metodología se tuvieron los siguientes procesos:

1. Ensayo SPT.

Se tuvo en cuenta datos del ensayo SPT. (Standart Penetration Test) realizados ya con anterioridad en la zona de estudio; dicho ensayo se realizó siguiendo las directrices de la Norma Brasileira NBR 6484, y la Figura 1 representa un esquema de los resultados del SPT.

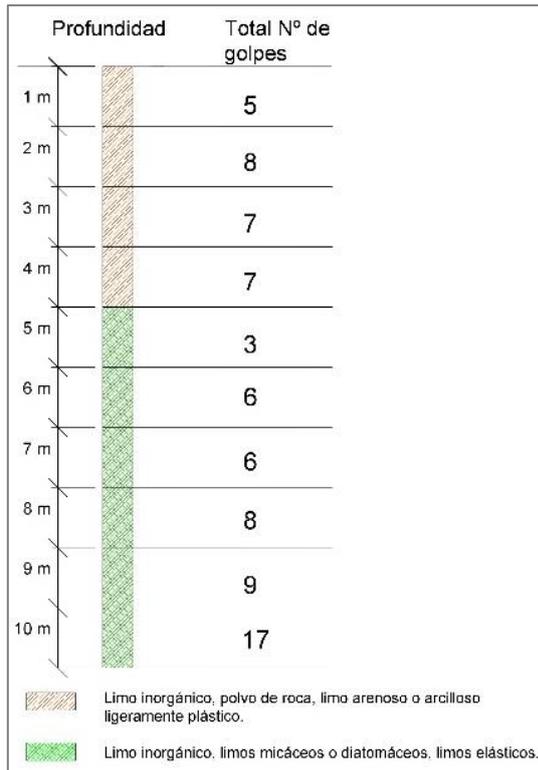


Figura 1. Esquema de ensayo SPT vs profundidad.

2. Cálculo de la carga de rotura por métodos semi-empíricos.

Entre los métodos semi-empíricos utilizados para determinar la carga de rotura fueron consultados: el método de Aoki & Velloso (1975) y el de Decourt & Quaresma (1978).

Según Aoki & Velloso la capacidad de carga es obtenida por la siguiente ecuación:

$$Q_{rot} = A_p \frac{K.N_p}{F_1} + P \sum \frac{\alpha.K.N_m}{F_2} \Delta L$$

Dónde:

Q_{rot} : Capacidad de carga en toneladas.

A_p : área de punta del pilote.

N_p : valor del N_{SPT} en la punta del pilote.

P : perímetro del pilote.

N_m : valor medio del N_{SPT} para cada ΔL .

ΔL : espesor de cada camada de suelo.

Decourt & Quaresma establece la siguiente ecuación para determinar la capacidad de carga:

$$Q_{rot} = \alpha.K.N_p.A_p + P.\beta.\sum 10\left(\frac{N_m}{3} + 1\right).\Delta L$$

Dónde:

Q_{rot} = Capacidad de carga en toneladas.

N_p : valor del N_{SPT} en la punta del pilote.

A_p : área de la punta del pilote.

P : perímetro del pilote.

N_m : valor medio del N_{SPT} para cada ΔL .

ΔL : espesor de cada camada de suelo.

Para la aplicación de ambos métodos se consideraron los datos del ensayo SPT mencionado ya anteriormente.

3. Prueba de carga de pilotes

El grupo de pilotes estaba dispuesto por un par de pilotes de reacción ubicados uno a cada lado del pilote central a ensayar, por lo tanto, se contó con ocho pilotes de reacción y seis pilotes a ensayar. Dos de los pilotes a ensayar estaban cimentados a 5 m de profundidad con 40 cm de diámetro (P1 y P2) y los cuatro restantes se encontraban a 7 m de profundidad con diámetros de 40 cm cada

uno (P3 al P6), los pilotes de reacción tenían 7 m de profundidad. Los pilotes fueron excavados con pilotera tipo Strauss, y para los mismos no fue necesario el uso de lodo de contención o camisa de revestimiento, pues las paredes presentaron buena estabilidad. Todos los pilotes fueron armados con 6 barras de 12 mm de diámetro en toda su longitud y estribos de 6 mm espaciados cada 20 cm. La elaboración del hormigón para los pilotes se realizó in situ por medio de una hormigonera de 500 litros. En la parte superior de los pilotes de reacción se encontraban ejecutados pilares de hormigón armado con dimensiones de 0,30 x 0,30 m, nivelados, los cuales sirvieron de apoyo para la viga de reacción. Los pilares fueron armados con la prolongación de las 6 barras de 12 mm de los pilares de 7 m.

Sobre los pilotes centrales a ensayar fueron construidos unos cabezales de Hormigón Armado de dimensiones 0,60 x 0,60 x 0,40 m, con armadura tipo jaula de 10 y 8 mm de diámetro y espaciamiento de 10 cm, en dichos cabezales fue apoyado el dispositivo de aplicación de carga sobre cada pilote.

La Figura 2 presenta la disposición en planta de los pilotes ensayados y de reacción, y la Figura 3 el perfil de los pilotes de 5 m.

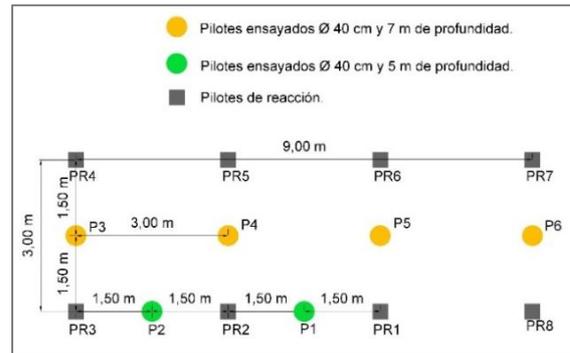


Figura 2. Disposición de pilotes vista en planta.

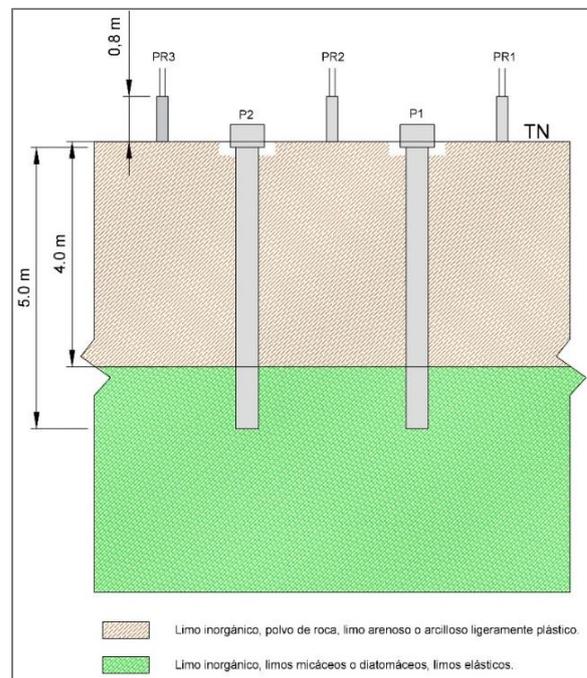


Figura 3. Disposición de pilotes vista en corte.

Aplicación de carga

Las pruebas de carga estática fueron realizadas en conformidad con la Norma Brasileña (NBR 12131-Estacas-Provas de carga estática, 1991), ejecutadas con cargamento rápido. La misma norma provee elementos para evaluar el comportamiento carga-asentamiento y

estimar las características de capacidad de carga. En la prueba de carga, los pilotes se cargaron hasta la eficiencia máxima del conjunto bomba-manómetro-cilindro, o bien, hasta la capacidad de soporte de los pilotes de reacción, teniendo en cuenta que se ensayó tanto los pilotes centrales como los pilotes de reacción a su última capacidad de carga.

Se realizó una limpieza alrededor del cabezal del pilote, con el fin de evitar contacto con el suelo, previamente al ensayo. Para reducir los efectos de dilatación térmica se montó una estructura con lona plástica protegiendo el equipamiento del sol y eventual lluvia.

En las fases iniciales de cada cargamento las variaciones de los asentamientos generalmente se produjeron lentamente y en pequeñas proporciones, estos asentamientos aumentaron rápidamente en las fases finales donde las cargas aplicadas son mayores. Se verificó que en cada una de las fases de cargamento ocurrió una estabilización rápida de los asentamientos, siendo suficiente el intervalo de 5 minutos entre la aplicación de incrementos sucesivos.

Luego de la aplicación de la carga, transcurrido los 5 minutos contados a partir del inicio de la fase, fueron tomadas las lecturas de los dos deflectómetros independientemente a la estabilización de los asentamientos.

El intervalo de carga que fue aplicado a cada fase fue de 2,97 ton, teniendo en cuenta que nuestra carga máxima de trabajo según valores de diseño fue de 30,69 ton para pilotes de 5 m y de 37,26 ton para pilotes de 7 m de profundidad, según el método de Decourt & Quaresma no superando así el 10% de dichas cargas. Considerando los valores de capacidad de carga obtenidos por el método de Aoki & Velloso que fueron de 16,90 ton y 19,83 ton para los pilotes de 5 m y 7 m de profundidad respectivamente, igualmente fue aplicado un intervalo de 2,97 ton a cada fase, debido a una mayor practicidad.

La figura 4 es un esquema de la prueba de carga a compresión sobre pilotes.

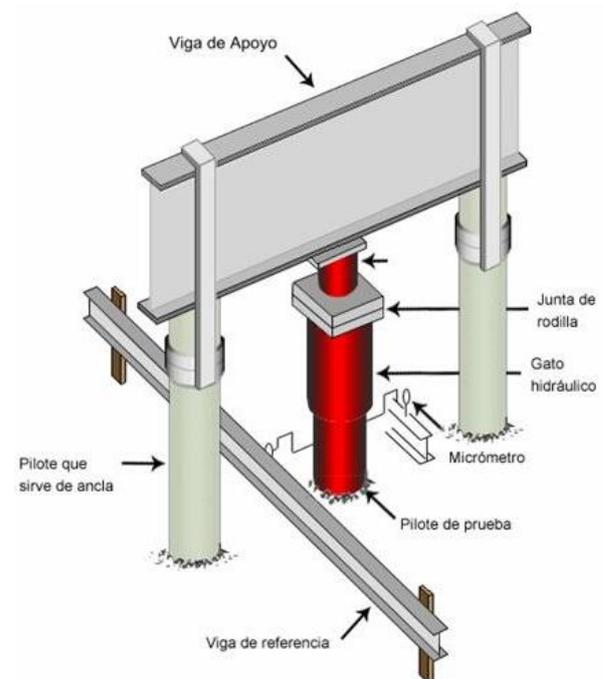


Figura 4. Esquema prueba de carga a compresión.

Los datos se registraron y transcribieron a planillas debidamente elaboradas para el ensayo, seguidamente, se procedió a la realización de las respectivas curvas carga-asentamiento correspondiente a cada ensayo y posteriormente se analizaron los resultados para obtener las conclusiones.

4. Elaboración de las curvas carga-asentamiento y determinación de cargas de rotura

Con los valores de carga y asentamiento medidos en cada fase de la prueba de carga de cada uno de los pilotes, se procedió a la elaboración de las curvas carga-asentamiento de los pilotes ensayados, los valores de los asentamientos se colocaron en el eje de ordenadas y las cargas en el de abscisas. La unidad de medida adoptada para el asentamiento es el milímetro y se colocó en intervalos de 0,50 mm, 1,00 mm ó 2,00 mm de acuerdo a los asentamientos presentados por cada pilote; la carga se expresó en toneladas y se colocó en intervalos de 2 ton.

Para determinar las cargas de rotura se utilizaron los métodos: Norma Brasileira NBR 6122-96 (NBR 6122 Projeto e execução de fundações, 1996), Método de Intersección de Tangentes - Manzur y Kaufman 1956 y el Método de Inclinación de Tangentes - Kulhawy et al 1983 (Novas, 2002).

Por la **Norma Brasileira** utilizamos la siguiente ecuación:

$$r_U = \frac{P_U \cdot L}{A \cdot E} + \frac{D}{30}$$

Dónde:

r_U : Asentamiento de rotura en cm.

P_U : Carga de rotura convencional en kg.

L : Longitud del pilote en cm.

A : Área de sección transversal del pilote.

E : Módulo de elasticidad del pilote.

D : Diámetro círculo circunscripto al pilote.

El valor del asentamiento, del pilote en cuestión, obtenido de la ecuación, debe ingresarse en la curva carga-asentamiento, trazando una línea recta paralela al eje de abscisas hasta interceptar la curva y desde allí una línea paralela al eje de ordenadas hasta el eje de abscisas donde se determina la carga de rotura correspondiente a cada pilote.

La carga de rotura obtenida por el método de **intersección de tangentes**, consiste en trazar una recta tangente al primer segmento lineal de la curva carga-asentamiento y otra recta tangente al segundo segmento lineal de dicha curva, en la intersección de estas dos rectas tangentes debe trazarse una línea paralela al eje de ordenadas y donde dicha línea intercepta al eje de abscisas se toma como la carga de rotura del pilote. El último método de **inclinación de tangentes** consiste en trazar una recta

tangente al primer segmento lineal de la curva y luego una paralela a esta recta a 4 mm del eje de ordenadas y en la intersección de esta recta con la curva carga-asentamiento debe trazarse una línea paralela al eje de ordenadas y el valor donde intercepta al eje de abscisas se toma como la carga de rotura del pilote. En la figura 5 se puede observar los tres métodos experimentales que se utilizaron para determinar la capacidad de carga última.

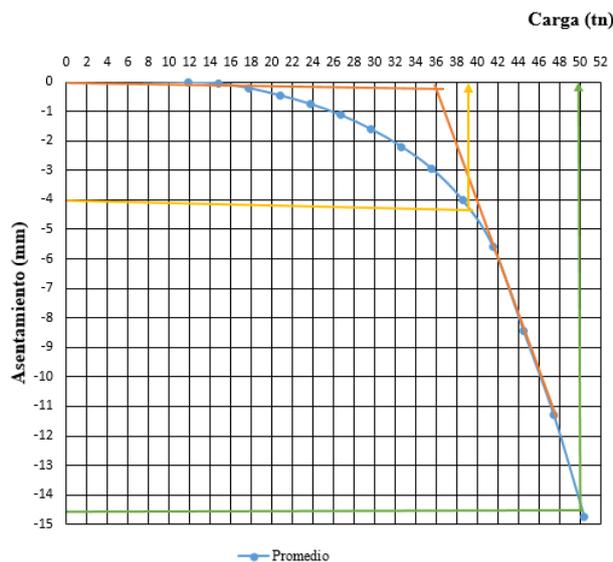


Figura 5. Métodos Experimentales utilizados en la curva carga-asentamiento.

Resultados y Discusión

La siguiente tabla muestra un resumen de los valores que se obtuvieron al utilizar los métodos semi-empíricos y los métodos experimentales.

Tabla 1. Resumen de valores obtenidos por métodos semi-empíricos y experimentales.

Pilote Nº	Métodos Semi-Empíricos		Métodos Experimentales		
	Aoki & Velloso (ton)	Decourt & Quaresma (ton)	NBR (ton)	Intersección de tangentes (ton)	Inclinación de tangentes (ton)
1	16,9	30,7	-	15,0	-
2	16,9	30,7	25,5	20,0	17,8
3	19,8	37,3	52,9	28,0	33,4
4	19,8	37,3	50,0	36,0	39,8
6	19,8	37,3	23,2	15,4	16,3

A partir de los datos de la tabla se observa que sobre los pilotes de 5 m de profundidad se alcanzó una carga máxima de 44,5 ton con valores de asentamientos de -41,61 mm y -41,47 mm para los deflectómetros 1 y 2 respectivamente, obteniendo un valor promedio de -41,54 mm, registrado en el Pilote Nº 2. Para los pilotes de 7 m de profundidad se registró una carga máxima en el Pilote Nº 3 de 53,4 ton, con asentamientos de -14,02 mm y -14,17 mm para los deflectómetros 1 y 2 respectivamente, con un valor promedio de asentamiento de -14,10 mm.

Con estos datos y aplicando los métodos experimentales considerados obtuvimos, según la Norma Brasileira NBR 6122-96 una carga última máxima en los pilotes de 5 m de profundidad de 25,5 ton; según la Intersección de Tangentes fue de 20,0 ton y según la Inclínación de Tangentes fue de 17,8 ton, estos en el pilote N° 2. Para los pilotes de 7 m de profundidad la carga última máxima según la NBR 6122-96 fue de 52,9 ton en el pilote N° 3, el método de Intersección de Tangentes arrojó un valor máximo de 36,0 ton en el pilote N° 4 y el de Inclínación de Tangentes una capacidad de carga máxima de 39,8 ton también en el pilote N° 4.

Las siguientes figuras muestran los resultados que se obtuvieron al aplicar los diferentes métodos sobre las curvas carga-asentamiento.

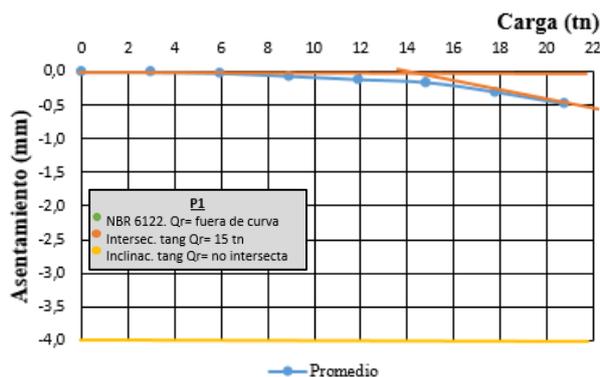


Figura 6. Aplicación de métodos experimentales en P1.

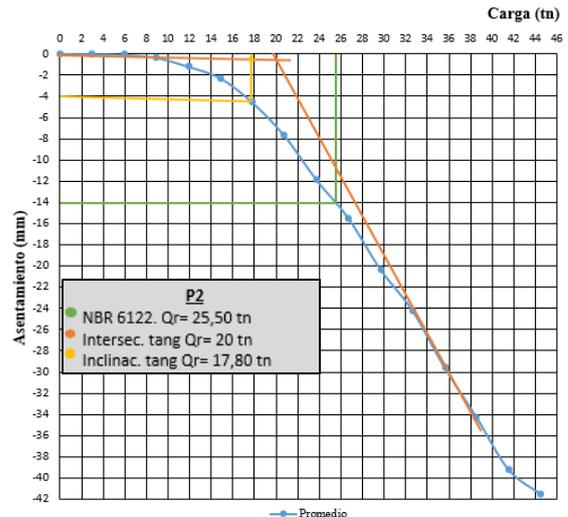


Figura 7. Aplicación de métodos experimentales en P2.

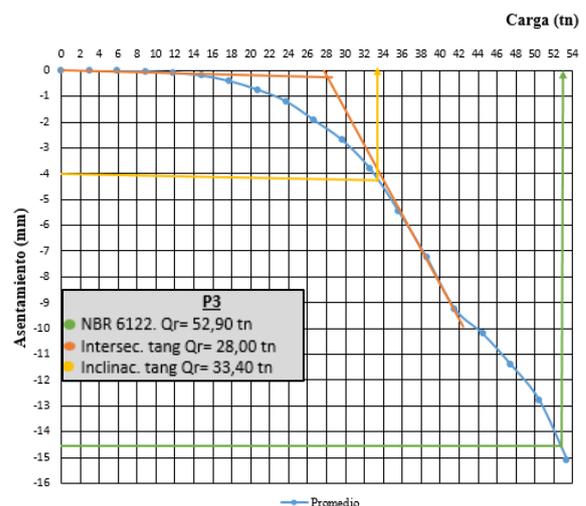


Figura 8. Aplicación de métodos experimentales en P3.

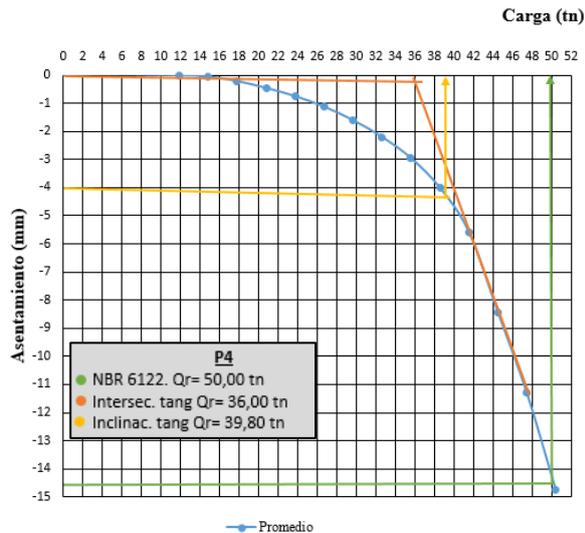


Figura 9. Aplicación de métodos experimentales en P4.

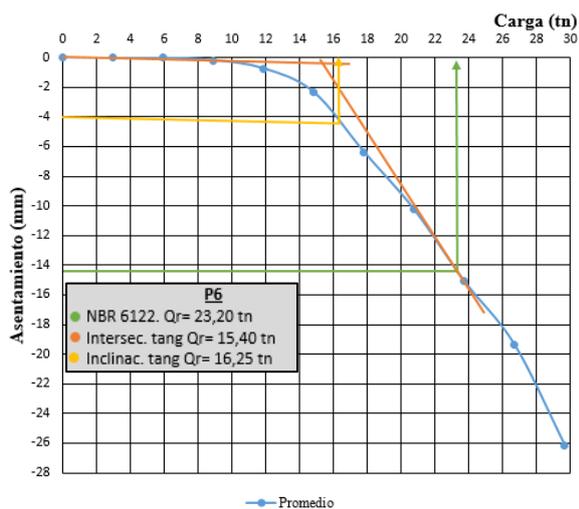


Figura 10. Aplicación de métodos experimentales en P6.

Conclusiones

Finalmente se puede considerar que los valores obtenidos por el método de Aoki & Velloso, basados en los resultados del ensayo SPT, arrojan resultados inferiores a los alcanzados experimentalmente para los pilotes; en cambio los valores alcanzados por el método de Decourt &

Quaresma se aproximan a los valores obtenidos por los métodos experimentales.

Cabe destacar, que los resultados de esta investigación son aplicables en suelos cuyas características geotécnicas sean semejantes a las del suelo del campo experimental de fundaciones de la Universidad Nacional de Itapúa, caso contrario será necesario realizar un ensayo de SPT con la finalidad de obtener las características del suelo como así también una prueba de carga en la zona que se pretende realizar las fundaciones, para conocer los respectivos valores de carga de rotura.

Bibliografía

- ABNT: NBR 12131/1991 (1991); Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio; Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT: NBR 6122/1996 (1996); Projeto de execução de fundações; Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Aoki, N. & Velloso, D. A. (1975). “An approximate method to estimate the bearing capacity of piles”, in: V PCSMFE, vol.5, pp. 373-388; Buenos Aires.
- Chávez, D; Maidana, H. (2014). Prueba de Carga a Compresión sobre Pilotes Barrenados de Pequeño Diámetro. Universidad Nacional de Itapúa,

Facultad de Ingeniería.
Encarnación: s.n.. Tesis de Grado.

Cintra, J. C; Aoki, N. (2010). Fundações por estacas: projeto geotécnico. San Pablo: Oficina de Textos.

Décourt, L. & Quaresma, A. R. (1978). "Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT"; Proc. VI COBRAMSEF; Rio de Janeiro.

Juárez B. E; Rico R. A. (2003). Mecánica de Suelos. Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos. México, DF: Limusa SA. Vol. II.

Novas, L. A. (2002). Estacas escavadas de pequeno diâmetro nos solos argilosos da formação "Libertad", Uruguai. Universidade Federal do Rio Grando do Sul, Escola de Engenharia. Porto Alegre: s.n.. Tesis de Maestría.-