

Potencial de licuación de suelos en excavaciones profundas en el sudoeste de la CABA

Carlos Alberto Di Salvo, Marcelo Adrian Masckauchan, Alfredo Mario Graich, José Luis Verga, Alejandro Emmanuel Celli ¹

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Civil. Mozart 2300 (C1407IVT) Buenos Aires, Argentina

carlosalbertodisalvo@gmail.com

Recibido el 13 de abril de 2017, aprobado el 15 de junio de 2017

Resumen

El comportamiento de las excavaciones de obras civiles de mediana profundidad durante su construcción y su puesta en servicio depende de diversos factores, entre los que resaltan las condiciones geológicas y geotécnicas del entorno, y la calidad y disposición del agua subterránea.

Los suelos emplazados en el sector bajo estudio, corresponden a los denominados Sedimentos Postpampeanos, caracterizados por una aptitud de cimentación regular a mala, lo que se suma a un nivel freático elevado.

En este entorno, se evalúa la aptitud del método de hincado de tablestacas en relación al potencial de licuefacción de los Sedimentos Postpampeanos. Esta es una segunda evaluación en la que se han ampliado las caracterizaciones de suelos y se ha profundizado en que las acciones vibraciones interactúan con los mismos.

PALABRAS CLAVE: LICUEFACCIÓN - SUELOS - POSTPAMPEANO - TABLESTACAS - CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES

Abstract

The medium depth excavations behavior in civil works during its construction and operation depends on several factors, among which geological and geotechnical conditions and groundwater position and quality are the most remarkable.

Soils under the studied area are called Postpampeano Sediments, characterized by regular to bad foundation behavior, in addition with an elevated water table.

In this environment, the aptitude of the sheet piles sinking method is assessed, regarding the liquefaction potential of Postpampeano Sediments. This is a second evaluation in which the soil characterizations have been extended and the vibrations actions have been deepened in interaction with them.

KEYWORDS: LIQUEFACTION - SOILS - POSTPAMPEANO - SHEET PILES - BUENOS AIRES CITY

¹ Son también autores de este trabajo Aitor Porcel Laburu y Juan Pablo Guerra

Introducción

Este trabajo se basa en las conclusiones de la primera parte del mismo, que fuera publicado en *Proyecciones*, Año 14, nº1 de abril de 2016 y que forman parte de un PID (2014 – 2016)².

Las dos principales recomendaciones para la prosecución de la investigación habían sido:

a) continuar profundizando los estudios a fin de arribar a conclusiones más extensas y generales y b) establecer recomendaciones respecto del sistema de sostenimiento en obras de excavación profundas si los mismos presentaran características de suelos licuables.

El núcleo central del trabajo es establecer la licuación o más específicamente el potencial de licuación de suelos. Éste está ligado a dos factores: por un lado las características de los suelos, por el otro muy importante, sin el cual la licuación no tiene cabida, es el tipo de vibraciones que pueden impactar en el medio.

En este trabajo damos entonces cumplimiento a estos postulados de la primera parte ampliando primero la investigación en cuanto a la tipología de los suelos y posteriormente profundizando la cuestión vibratoria.

Características o tipología de los suelos (ampliación)

Se ha recabado información sobre siete nuevos perfiles de suelos de perforaciones realizadas por Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA), en la siguientes intersecciones, dentro del área de estudio:

Fernández de la Cruz y General Paz –
Sondeo 1

Fernández de la Cruz y Larrazábal –
Sondeo 7

Fernández de la Cruz y Basualdo –
Sondeo 10

Fernández de la Cruz y Acceso a Parque de la Ciudad – Sondeo 13

Fernández de la Cruz y San Pedrito –
Sondeo 19

Perito Moreno y Tilcara - Sondeo 25
Iriarte y Zavaleta – Sondeo 31

En la publicación anterior se había informado cuáles eran los requisitos que la bibliografía en

general, González de Vallejo *et al.* (2002) y el reglamento CIRSOC 103 (INTI CIRSOC, 2013) indican qué características típicas deberían tener los suelos potencialmente licuables. Véase: Relación entre las características de los suelos y su potencial de licuación, en Di Salvo *et al.* (2016).

Entre las características principales se seleccionaron como importante, pero también accesibles desde el punto de vista de los datos las siguientes:

- El ensayo de penetración normalizada S.P.T.: nº de golpes < 10
- La granulometría (tipo de suelo).
- Porcentaje de finos: inferior al 10 %.
- La profundidad de la capa freática
- La profundidad a la que se encuentren geomateriales potencialmente licuables.
- Capacidad de carga en MPa

De este análisis se han identificado 13 estratos u horizontes de un total de 84 (15%) con características que se aproximan, por sus valores, a capas con algún parámetro que indique que son potencialmente licuables. En la Tabla 1 se resumen las mismas.

Como se observa en la tabla mencionada, se han demarcado las celdas con cinco estratos (42%) en que todos los parámetros investigados “cumplen” con los requisitos para ser catalogados como geomateriales licuables ante excitaciones vibratorias y otros siete estratos (58%) que lo hacen “parcialmente”.

Esta distinción se basa en que los suelos, para que cumplan un requisito total de licuación, deben ser arenas con un porcentaje menor al 10% de finos (suelos SM) o poseer una capacidad portante menor a 0,1 MPa, allí se incluyen estos cinco estratos, los siete restantes cumplen los otros requisitos (profundidad, nº de golpes, profundidad de la capa freática, etc.), pero no son arenas, son limos (preponderantemente ML).

Sfriso, (2010) analizó la rotura de la IIIa cloaca máxima ocurrida a fines de 1997 en la Av. del Barco Centenera y Roca, en Pompeya, en terrenos similares a los que se vienen documentando en el presente trabajo. Estos hundimientos se produjeron “como consecuencia de la erosión de suelo, arrastrado hacia el interior del túnel por

² “Caracterización geotécnica de suelos y su influencia sobre las metodologías de excavaciones profundas y entibamientos, en el sudoeste de la CABA” Código ECUTIBA02101TC.

Tabla 1. Horizontes o estratos con características compatibles con suelos licuables

Sondeo N°	Ubicación	Prof. del N. F. (m)	Prof. (m)	N° de golpes	Tipo de suelo	C. Carga (MPa)
S1*	Mozart 2300	2,05 – 2,40	3	10	ML	
S1*	Mozart 2300	2,05 – 2,40	8	5	ML	
S2*	Mozart 2300	2,05 – 2,40	8	4	ML	
S3*	Mozart 2300	2,05 – 2,40	5	10	CL	
S3*	Mozart 2300	2,05 – 2,40	7	7	ML-CL	
S4**	Mozart 2300	2,05 – 2,40	3	8	SM	
S5**	Mozart 2300	2,05 – 2,40	3	7	SM	
S5*	Mozart 2300	2,05 – 2,40	4	2	ML	
7*	Fernández de la Cruz y Larrazábal	1,80	2	3	CH	
10*	Fernández de la Cruz y Basualdo	2,10	2	2	ML	
11**	Fernández de la Cruz y Parque de la Ciudad	2,10	2	8	SM	
11**	Fernández de la Cruz y Parque de la Ciudad	2,10	4	3	SM	
453**	C. Álvarez y Lacarra					0,05

** Cumplen por completo con requisitos de licuación

* Cumplen parcialmente con requisitos de licuación

las aguas freáticas que se infiltraban en el conducto a través de sus fisuras." Siempre siguiendo los datos presentados por el autor, se trataba de suelos limosos del Pampeano rodeados por arenas limosas sueltas del Pospampeano.

Asimismo, es importante destacar que el colapso ocurrió algunos meses después que se completó la construcción de una obra cercana, una sucursal del Supermercado Coto, construcción que incluyó el abatimiento del nivel freático, la hinca de pilotes y la ejecución de una excavación de dos metros de profundidad.

El autor concluye que, "no puede soslayarse el efecto de la hinca de los pilotes sobre el desenlace de la situación. Los pilotes atravesaron los suelos blandos superficiales y penetraron algunos metros en los suelos compactos del Pampeano. Las vibraciones producidas por la hinca se propagaron por el Pampeano e incidieron en la base del conducto".

Este grave incidente y otras casuísticas repor-

tadas, llevaron a plantear este trabajo de investigación para estudiar si esta situación de riesgo podía extrapolarse a un área un poco más vasta y generalizar esta y otras situaciones a fin que pudieran tomarse medidas contractuales oportunamente.

Otros autores Kim y Drabkin, (1995) ya habían alertado acerca de que "en áreas urbanizadas, las vibraciones inducen asentamientos en suelos granulares que dependen de las características de las vibraciones, las características de confinamiento y las propiedades intrínsecas de los suelos". Los autores establecieron un modelo predictivo teniendo en cuenta las características antes expuestas.

En la Tabla 2, se consignan los rasgos estudiados relativos a las vibraciones (pequeñas o medias), y en las Tablas 3 y 4, los de los suelos (arenas) que puedan inducir asentamientos.

El tipo de suelos, más específicamente arenas, pueden parametrizarse como semejantes a las

Tabla 2. Factores y rangos relativos a las vibraciones (Kim y Drabkin, 1995)

*	Factores	Rango de Valores estudiados
1	Amplitud de la vibración cm/s	0,25 – 1,8
2	Tensiones (kPa)	1,4-104
3	Presión de confinamiento (kPa)	69 - 207
4	Número de vibraciones, ciclos	60 – 500000

Tabla 3. Rangos iniciales para arenas (Kim y Drabkin, 1995)

*	Factores	Rango de Valores estudiados
1	Tipos de arenas	Fina a gruesa
2	Densidad relativa inicial	Densa a suelta
3	Contenido de humedad	Seca a húmeda

Tabla 4. Detalle de las características de las arenas estudiadas (Kim y Drabkin, 1995)

Arena	D50 (mm)	Densidad seca máxima (t/m ³)	Densidad seca mínima (t/m ³)
Fina	0,5	1,704	1,507
Media	0,7	1,702	
Gruesa	1,7	1,702	1,577

arenas estudiadas estudiadas en el S.O. de la CABA, aunque se necesita aun profundizar esta investigación.

Finalmente, en la Tabla 5, se muestra la incorporación de los datos de estos sondeos a la ta-

bla con la misma numeración ya editada en la publicación que precede a ésta (Di Salvo *et al.*, 2016), sumando de esta forma 14 investigaciones del subsuelo, que se consideran por el momento suficientemente representativos.

Tabla 5. Ensayos de suelo analizados, correspondientes a sondeos en el sudoeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Sondeo N°	Ubicación	Prof. del N. Freático (m)	Prof. (m)	N° de golpes	Tipo de suelo	C. Carga (MPa)
S1	Mozart 2300	2,05-2,40	3	10	ML	S/D
S1	Mozart 2300	2,05-2,40	6	12	ML-CL	S/D
S1	Mozart 2300	2,05-2,40	8	5	ML	S/D
S1	Mozart 2300	2,05-2,40	11	22	ML	S/D
S2	Mozart 2300	2,05-2,40	2	13	ML	S/D
S2	Mozart 2300	2,05-2,40	5	12	ML	S/D
S2	Mozart 2300	2,05-2,40	8	4	ML	S/D
S3	Mozart 2300	2,05-2,40	1	13	CL	S/D
S3	Mozart 2300	2,05-2,40	5	10	CL	S/D
S3	Mozart 2300	2,05-2,40	7	7	ML-CL	S/D
S4	Mozart 2300	2,05-2,40	2	11	ML	S/D
S4	Mozart 2300	2,05-2,40	3	8	SM	S/D
S4	Mozart 2300	2,05-2,40	6	12	CL	S/D
S4	Mozart 2300	2,05-2,40	8	24	ML-CL	S/D
S4	Mozart 2300	2,05-2,40	10	22	ML	S/D
S4	Mozart 2300	2,05-2,40	11	19	CL	S/D
S5	Mozart 2300	2,05-2,40	1	14	ML	S/D
S5	Mozart 2300	2,05-2,40	3	7	SM	S/D

S5	Mozart 2300	2,05-2,40	4	2	ML	S/D
S5	Mozart 2300	2,05-2,40	6	10	ML-CL	S/D
1	Fernández de la Cruz y Gral. Paz	3,08	2	40	ML	S/D
1	Fernández de la Cruz y Gral. Paz	3,08	5	38	ML	S/D
1	Fernández de la Cruz y Gral. Paz	3,08	7	20	MH	S/D
1	Fernández de la Cruz y Gral. Paz	3,08	9	36	ML	S/D
1	Fernández de la Cruz y Gral. Paz	3,08	11	20	ML	S/D
1	Fernández de la Cruz y Gral. Paz	3,08	13	21	MH	S/D
1	Fernández de la Cruz y Gral. Paz	3,08	15	40	ML	S/D
1	Fernández de la Cruz y Gral. Paz	3,08	18	40	ML	S/D
1	Fernández de la Cruz y Gral. Paz	3,08	23	36	ML	S/D
7	Fernández de la Cruz y Larrazábal	1,80	2	3	CH	S/D
7	Fernández de la Cruz y Larrazábal	1,80	4	19	MH	S/D
7	Fernández de la Cruz y Larrazábal	1,80	6	35	ML	S/D
7	Fernández de la Cruz y Larrazábal	1,80	8	30	MH	S/D
7	Fernández de la Cruz y Larrazábal	1,80	10	26	ML	S/D
7	Fernández de la Cruz y Larrazábal	1,80	13	33	ML	S/D
7	Fernández de la Cruz y Larrazábal	1,80	16	37	ML	S/D
7	Fernández de la Cruz y Larrazábal	1,80	18	26	CH	S/D
7	Fernández de la Cruz y Larrazábal	1,80	21	30	SM	S/D
10	Fernández de la Cruz y Basualdo	2,10	2	2	ML	S/D
10	Fernández de la Cruz y Basualdo	2,10	5	22	ML	S/D
10	Fernández de la Cruz y Basualdo	2,10	9	37	ML	S/D
10	Fernández de la Cruz y Basualdo	2,10	14	25	ML	S/D
10	Fernández de la Cruz y Basualdo	2,10	16	24	CH	S/D
10	Fernández de la Cruz y Basualdo	2,10	19	25	CL	S/D
10	Fernández de la Cruz y Basualdo	2,10	21	31	CL	S/D
10	Fernández de la Cruz y Basualdo	2,10	25	30	ML	S/D
13	Fernández de la Cruz y Acceso Parque de la Ciudad	2,10	2	8	SM	S/D
13	Fernández de la Cruz y Acceso Parque de la Ciudad	2,10	4	3	SM	S/D
13	Fernández de la Cruz y Acceso Parque de la Ciudad	2,10	6	16	MH	S/D
13	Fernández de la Cruz y Acceso Parque de la Ciudad	2,10	8	40	ML	S/D
13	Fernández de la Cruz y Acceso Parque de la Ciudad	2,10	10	40	ML	S/D

19	Fernández de la Cruz y San Pedrito	1,35	10	19	ML	S/D
19	Fernández de la Cruz y San Pedrito	1,35	12	35	ML	S/D
19	Fernández de la Cruz y San Pedrito	1,35	14	17	MH	S/D
19	Fernández de la Cruz y San Pedrito	1,35	17	18	MH	S/D
19	Fernández de la Cruz y San Pedrito	1,35	19	30	ML	S/D
19	Fernández de la Cruz y San Pedrito	1,35	21	27	ML	S/D
19	Fernández de la Cruz y San Pedrito	1,35	25	25	MH	S/D
19	Fernández de la Cruz y San Pedrito	1,35	27	40	CH	S/D
25	Perito Moreno y Tilcara	1,00	4	1	SM	S/D
25	Perito Moreno y Tilcara	1,00	6	2	SM	S/D
25	Perito Moreno y Tilcara	1,00	8	3	SM	S/D
25	Perito Moreno y Tilcara	1,00	10	40	ML	S/D
25	Perito Moreno y Tilcara	1,00	15	40	MH	S/D
25	Perito Moreno y Tilcara	1,00	19	40	SM	S/D
31	Iriarte y Zavaleta	1,50	2	7	SM	S/D
31	Iriarte y Zavaleta	1,50	7	22	ML	S/D
31	Iriarte y Zavaleta	1,50	11	37	ML	S/D
31	Iriarte y Zavaleta	1,50	13	30	MH	S/D
31	Iriarte y Zavaleta	1,50	15	28	MH	S/D
31	Iriarte y Zavaleta	1,50	18	35	CL-ML	S/D
453	Av. Escalada y Saraza	0,90	1	S/D	S/D	0,5
453	Av. Escalada y Saraza	0,90	6	S/D	S/D	1,5
453	Av. Escalada y Saraza	0,90	7	S/D	S/D	2
455	C. Álvarez y Av. Lacarra	1,10	4	S/D	S/D	1,8
455	C. Álvarez y Av. Lacarra	1,10	5	S/D	S/D	2
455	C. Álvarez y Av. Lacarra	1,10	8	S/D	S/D	2

Análisis de vibraciones inducidas por ciertas metodologías constructivas

Clásicamente la cuestión de la licuación de suelos está ligada a las acciones sísmicas y claramente la Ciudad de Buenos Aires no es una zona sísmica. El Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES, 2013), ubica a Buenos Aires dentro de la zona 0: Zona de Peligrosidad Sísmica Muy Reducida, con aceleraciones máximas sobre el terreno equivalentes a 0,04 g. Sin embargo el mismo INPRES (2017) tipifica, para el 5 de junio de 1888, un sismo que afectó a todas las poblaciones de la costa del Río de la Plata, especialmente las ciudades de Buenos Aires y Montevideo, que produjo leves daños y su epicentro se localizó en el centro del río. La intensidad del sismo fue de VI grados en la escala de Mercalli Modificada.

Núñez (2008) resume y pone al día algunas cuestiones relacionadas con la "movilidad" cíclica o "licuación" de suelos y la estimación de su comportamiento a partir de los resultados de ensayos de campo como SPT, CPT, medición de la velocidad de la onda de corte, entre otros parámetros.

Entre otras cuestiones en que hace hincapié el trabajo, queda aclarada la diferencia del comportamiento de diferentes tipos de suelos arenosos ante esfuerzos monotónicos y ante ciclos de carga y descarga (movilidad cíclica). Es así que "las arenas muy sueltas en general contraen (si no pueden cambiar su volumen desarrollan presiones neutras positivas); en cambio, las mismas arenas en estado denso, contraen o dilatan según sea el valor del nivel de presiones

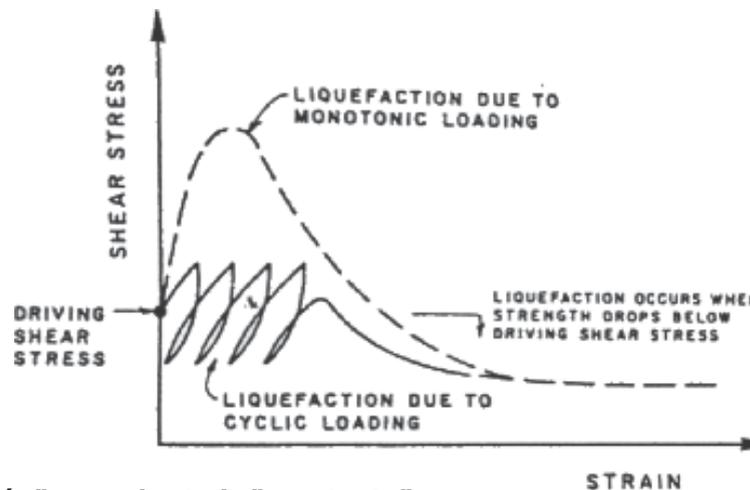


Fig. 1: "Licuación" para el estado "constante"

Fuente: (Poulos et al., 1988)



Fig. 2. Excesivo asentamiento durante la ejecución de una pila por vibración

Fuente: (Meijers, 2007)

a que están sometidas (si no pueden cambiar su volumen desarrollan presiones neutras positivas o negativas). En general es posible definir que para una cierta "relación de vacíos crítica" se puede establecer una relación consistente con la resistencia al corte residual en rotura". Véase la Figura 1 (Poulos *et al.*, 1988).

Al analizar otras bibliografías disponibles, se observa que una de las condiciones que enuncian González de Vallejo *et al.* (2002), para que sea factible la licuefacción de suelos, es que la aceleración sobre el terreno sea igual o mayor a un 20% de la aceleración de la gravedad (0,2 g).

En la investigación realizada por Meijers (2007) se analiza dicho problema, ilustrado en la Figura 2, durante la ejecución de una pila por vibración.

El autor señala que si bien en la mayoría de los casos es posible realizar el hincado de las tablestacas por vibración sin que se presenten problemas, existe evidencia que en el caso de suelos de arena suelta se han llegado a producir asentamientos de 0,50 m o incluso mayores.

En dicha investigación se realizaron mediciones de la aceleración producida sobre el terreno al

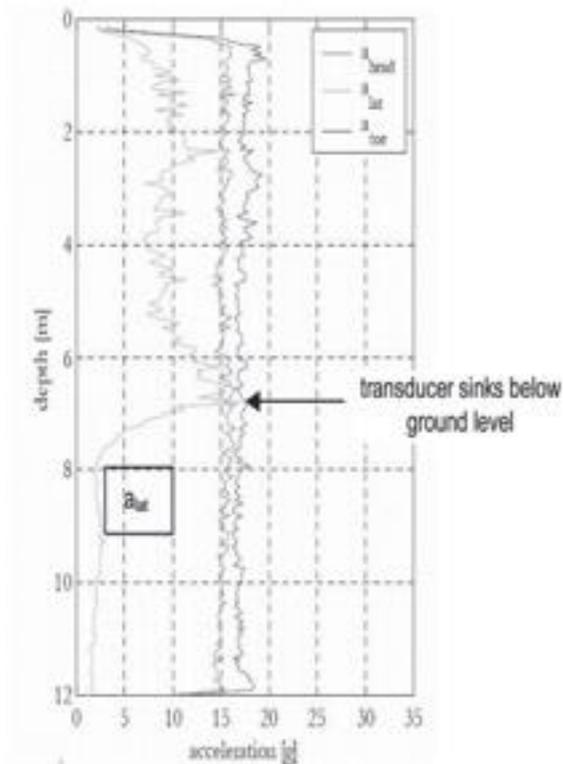


Fig. 3. Medición de aceleraciones horizontales y verticales en una pila durante el proceso vibratorio

Fuente: (Viking, 2002)

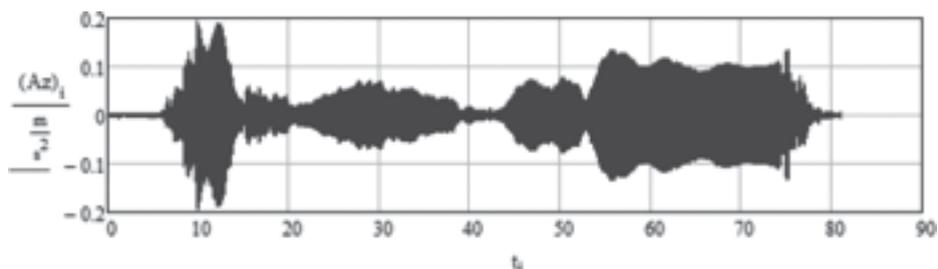


Fig. 4. Amplitud de las aceleraciones verticales registradas sobre el terreno a 16.2 m del hincado

Fuente: (Bertero, Raúl D.; Mussat, Juan M.; Verri K., Alejandro y Lehmann, Alejandro, N., 2012)

momento de la hinca para una longitud de pila de 14 m, con un transductor colocado a 7 m de profundidad. (Figura 3.)

Analizando los valores a los que llega la aceleración en dicho caso, se observa que se supera la aceleración límite nombrada anteriormente por González de Vallejo *et al.* (op. cit.) para que exista peligro de licuefacción o sea igual o mayor a un 0,2 g.

En la investigación se señala que los asentamientos se producen mayormente cerca de la zona de hinca, pero disminuyen notablemente una vez que se aleja de dicho punto.

En otra investigación realizada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA) en la publicación (Bertero *et al.*, 2012), sus autores midieron las aceleraciones producidas a 16,2 m de la zona de hinca, como se observa en el gráfico de la Figura 4.

Como puede observarse del gráfico precedente, es posible considerar que a una distancia de 16,2 m no existe peligro de licuefacción, debido a las bajas aceleraciones que se registran.

Sin embargo, no es posible asegurar que a distancias menores a 16,2 m no existan aceleraciones de mayor magnitud que puedan generar licuefacción en suelos, en particular en aquellos potencialmente licuables, como los encontrados en el sudeste de CABA indicados en la Tabla 2.

Conclusiones

Del presente informe se obtienen las siguientes dos conclusiones:

Por un lado, se observa que existen en el sudoeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires suelos con potencial de licuación en determinados estratos. Esta información necesita aún mayores precisiones y una ampliación.

Por otro lado se observa que investigaciones realizadas en diversos países europeos (Holanda, Suecia, entre otros) muestran que en el caso de vibrohincado es posible que se produzcan grandes asentamientos debido a la licuación del suelo.

Si bien la investigación realizada en la FIUBA

sobre las vibraciones producidas por el hincado de tablestacas demuestran que no es factible que se produzca licuación a distancias mayores a los 16,2 m, sería necesario analizar las aceleraciones de dicha técnica a distancias menores.

De esta manera se podrá definir un radio dentro del cual, debido a las aceleraciones producidas por la hinca de tablestacas, es posible que se produzca la licuación de suelos en aquellos que sean potencialmente licuables, y así tomar medidas de prevención correspondientes para reducir la probabilidad de que se produzcan inestabilidades durante el proceso constructivo que acarrearán demoras en el plazo, mayores costos y accidentes laborales.

Es también nuestra intención en este año que resta de la investigación cumplir con uno de los propósitos originales de la misma, esto es: evaluar las metodologías actuales constructivas disponibles y proponer otras, si fuese el caso, sobre todo teniendo en cuenta que estas mejoras propenden a la seguridad de futuras obras y la mejora en los plazos de ejecución y dar una mayor seguridad en los costos.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Técnica e Innovación Productiva de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional y al Departamento de Ingeniería Civil de dicha facultad, quienes nos han facilitado la concreción de esta labor.

Referencias

- BERTERO, R. D.; MUSSAT, J. M.; VERRI K., A. y LEHMANN, A. N., (2012). Vibraciones en edificios originadas por la hincas de tablestacas en centros urbanos. Laboratorio de Dinámica de Estructuras, Facultad de Ingeniería, UBA
- DI SALVO, C. A.; MASCKAUCHAN M. A.; LOPEZ, A. R.; VERGA J. L. y GRAICH A. M., (2016). Tipología de suelos y excavaciones profundas en el Sudoeste de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. *Proyecciones*, Vol. 14 N° 1.
- GONZALEZ de VALLEJO, L.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. y OTEO, C., (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación. Madrid, España.
- INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica) (2013), Mapa de Zonificación Sísmica de la República Argentina.
- INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica), (2017). Terremotos históricos ocurridos en la República Argentina. <http://contenidos.inpres.gov.ar/sismologia/historicos>.
- KIM, D. S. y DRABKIN, S., (1995). Factors Affecting Vibration Induced Settlement. Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. Proceedings Vol. 3: 1111-1115. St. Louis, Missouri.
- MEIJERS, P., (2007). Settlement during vibratory sheet piling. Institutional Repository ISBN 978-90-9022570-8.
- NÚÑEZ, E., (2008). Conferencia Bolognesi: Certezas y Discrepancias en Geotecnia. XIX CAM-SIG. La Plata.
- POULOS, S.; CASTRO, G. y FRANCE, J., (1985). Liquefaction Evaluation Procedure. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE* Vol 111(6): 772-792.
- SFRISO, A., (2010). Una experiencia de patología de túneles: el caso de la III Cloaca Máxima. SRK Consulting y Universidad de Buenos Aires. Catedra Mecánica de los suelos y Geología, Facultad de Ingeniería, UBA
- VIKING, K., (2002). Vibro-driveability, a field study of vibratory driven sheet piles in non-cohesive soils. Ph. D. thesis Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm May 2002.