

Obras geotécnicas en el Paseo La Galería, Asunción, Paraguay

LOPEZ, Alfredo Alberto ^a; CODEVILLA, Mauro ^b; HERNÁNDEZ, Julio ^c; RELLÁN, Gonzalo ^a; ARROYO, Francisco Javier ^a; CALVENTE, René Matías ^a; SFRISO, Alejo Oscar ^a

^a SRK Consulting, Buenos Aires, Argentina.

^b AOSA S.A., Buenos Aires, Argentina.

^c Paseo La Galería, Asunción, Paraguay.

Abstract. El proyecto Paseo La Galería es un mega emprendimiento de oficinas corporativas, retail, gastronomía y entretenimiento que constituye actualmente la mayor inversión civil en Asunción, República del Paraguay, con un monto estimado en USD130M. El proyecto se encuentra actualmente en construcción y su finalización está programada para el próximo año. En este artículo se describe la campaña de investigación geotécnica in situ y en laboratorio, diseño de las obras geotécnicas del proyecto y los ensayos de control de calidad de las fundaciones profundas.

Keywords. Caracterización geotécnica in situ, contenciones, ensayos de integridad, ensayos de carga axial, firme de Asunción del Paraguay, fundaciones.

1. Proyecto

El proyecto Paseo La Galería es un mega emprendimiento de oficinas corporativas, retail, gastronomía y entretenimiento que constituye actualmente la mayor inversión civil en Asunción, República del Paraguay, con un monto estimado en USD130M. Consiste en la construcción de dos torres de veintitrés pisos de 100m de altura, tres centros comerciales y dos edificios de estacionamiento con una capacidad para 2500 vehículos en un predio de 50.000m². El proyecto se encuentra actualmente en construcción y su finalización está programada para el próximo año.

Las obras geotécnicas del proyecto consistieron en la excavación de todo el predio para la construcción de las fundaciones de los siete edificios y subsuelos, la contención de los cortes, los sistemas de drenaje y las fundaciones de las estructuras. Se efectuaron más de 250.000m³ de movimiento de suelos y se diseñaron y construyeron más de cuatrocientas fundaciones con cargas hasta 19.5MN y estructuras de contención para más de 600m de extensión. Los diseños ejecutados incluyen fundaciones indirectas, zapatas, plateas, fundaciones apoyadas sobre columnas de grava, muros de hormigón armado y pantalla de pilotes con viga de coronamiento. Durante los trabajos de construcción se realizaron y analizaron más de sesenta ensayos de integridad sobre pilotes y ensayos carga axial sobre pilas de agregado compactado GeoPier.

En este artículo se describe la campaña de investigación geotécnica in situ y en laboratorio, el diseño de las obras geotécnicas y los resultados de algunos de los ensayos de integridad y carga efectuados. En la Figura 1 se muestra una imagen virtual

de las torres, los centros comerciales y los edificios de estacionamientos y una foto que muestra el avance del proyecto a Mayo 2015.



Figura 1. Imagen virtual del Paseo La Galería (izq.) y estado del proyecto a Mayo 2015 (der.).

2. Caracterización geotécnica del sitio

2.1. Perfil estratigráfico

La campaña geotécnica comprendió la ejecución de calicatas y sondeos con ensayos SPT, extracción de testigos de roca, resistividad eléctrica, permeabilidad Lefranc y ensayos de veleta. Dentro de las calicatas se ejecutaron también ensayos de carga en placa horizontal. En laboratorio se efectuaron ensayos de caracterización física, química y mecánica. Se distinguieron tres unidades geotécnicas [1] [2] [3] [4] [5] [6]:

- i) Arenas y arenas arcillosas medianamente densas a densas con algunos sectores puntuales descomprimidos.
- ii) Arenas cementadas muy duras pertenecientes al firme de Asunción.
- iii) Arenas muy densas no cementadas.

En la Figura 2 se indica un perfil estratigráfico longitudinal y transversal en correspondencia con el eje del predio.

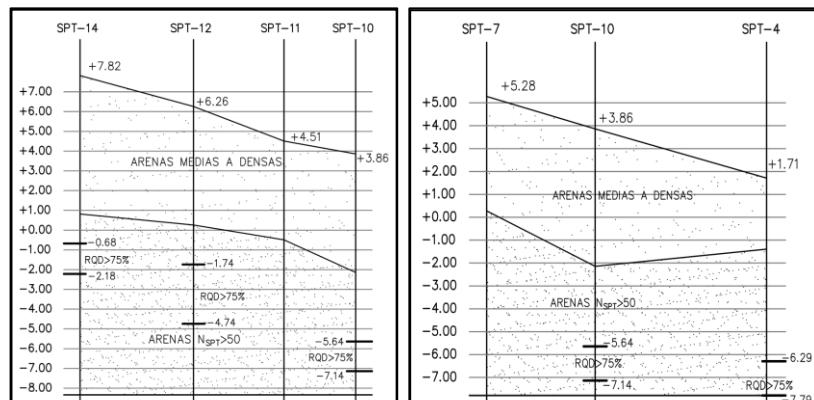


Figura 2. Perfil estratigráfico longitudinal (izq.) y transversal (der.) en el eje del predio.

2.2. Caracterización física y química

En la Tabla 1 se indican las propiedades físicas más relevantes de cada unidad geotécnica, obtenidas a partir de los ensayos de campo y de laboratorio.

Tabla 1. Parámetros físicos medios de cada unidad geotécnica.

Unidad	USCS	LL (%)	LP (%)	#200 (%)	γ (kN/m ³)	ω (%)	k (m/seg)
1 ^{er} horizonte	SC, CL	25 - 40	15 - 10	55 - 35	19.0 - 20.5	16 - 10	$1.10^6 - 1.10^7$
2 ^{do} horizonte	SM, SC-SM	28 - 20	18 - 10	50 - 12	19.5 - 22.0	15 - 9	$1.10^6 - 1.10^8$
3 ^{er} horizonte	SC, SM	20	20 - 10	40 - 12	20.5 - 22.5	13 - 9	$1.10^6 - 1.10^7$

2.3. Caracterización mecánica

Se efectuaron ensayos PLT desde el interior de calicatas a cielo abierto. Se midió el módulo de reacción lateral inicial (k_{hi}), el módulo de Young inicial (E_i) y la presión última teórica (p_{ult}) alcanzada para cada ensayo PLT realizado sobre el 1^{er} horizonte. El módulo de Young se estimó a partir del módulo de reacción lateral mediante la siguiente expresión [7]:

$$k_{hi} = 1.35 \frac{E_i}{D} \quad (1)$$

dónde D es el diámetro de la placa de carga y k_{hi} el módulo de reacción lateral medido. Adicionalmente, se efectuaron mediciones rápidas de resistencia al corte no drenada con cizallómetro manual sobre las paredes de las calicatas, registrando valores entre 40 - 140 kPa. En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 2. Resultados de ensayos PLT realizados.

Sitio	Ensayo	k_{hi} (MN/m ³)	E_i (MN/m ²)	p_{ult} (kPa)
PLT-1	E1 – placa 1	165	37	700
PLT-1	E1 – placa 2	300	67	780
PLT-1	E2 – placa 1	140	31	900
PLT-1	E2 – placa 2	380	84	1000
PLT-2	E1 – placa 1	140	31	1200
PLT-2	E1 – placa 2	460	102	1550
PLT-2	E2 – placa 1	300	67	1100
PLT-2	E2 – placa 2	400	89	3300

La resistencia en compresión no confinada de testigos del horizonte cementado presentó valores entre 440 a 640 kPa. Los ensayos triaxiales en condición consolidado – no drenado se efectuaron sobre muestras procedentes de damas talladas manualmente y de sacatestigos a rotación en sondeos SPT. En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 3. Resultados de ensayos triaxiales CIUC realizados.

Sitio	$\epsilon_{1 \text{ máx}} (\%)$	$\sigma_d \text{ máx}(kPa)$	$\sigma'_1 \text{ máx}(kPa)$	$\sigma'_3 \text{ máx}(kPa)$
PLT - 1 (+3.50)	1.0	20	33	13
PLT - 2 (+6.39)	4.0	88	112	24
SPT - 6 (-0.15)	16.5	771	1103	332
SPT - 6 (-1.65)	7.0	380	560	180
SPT - 10 (-5.64)	12.0	1086	1417	331
SPT - 11 (-2.99)	8.0	820	1042	222

3. Fundaciones

La extensión del proyecto y la variabilidad de las condiciones geotécnicas en el subsuelo condicionaron el diseño y construcción de las fundaciones de los edificios. La tipología de fundación implementada en cada edificio dependió de las cargas verticales, las restricciones impuestas por la superestructura, la condición geotécnica del sector – principalmente de la cota superior y espesor del estrato cementado –, las tecnologías disponibles y de los tiempos y costos de construcción.

3.1. Cabezales con pilotes

Los edificios comerciales se fundaron sobre cabezales con pilotes con cargas admisibles hasta 9.8MN. Se diseñaron pilotes de hormigón armado colados in situ, con diámetro de 0.60m y 0.80m con una longitud de 15.5m y 15.0m respectivamente. Las cargas admisibles fueron establecidas en 1.70MN y 2.80MN para que el coeficiente de seguridad fuera al menos 3.0 y los asentamientos fueran menores a 8mm. Los pilotes fueron colocados en grupos de dos, tres, cuatro y seis pilotes a través de cabezales. En la Figura 3 se muestran cabezales de tres pilotes construidos en el proyecto.



Figura 3. Cabezales de tres pilotes construidos en el proyecto.

3.2. Plateas

Las torres T1 y T2 se fundaron sobre plateas de hormigón armado de 45m de largo, 25m de ancho, 1.50m de espesor mínimo e implantadas en cota 110.50m para asegurar una penetración mínima de 1.0m en el estrato cementado. En la Figura 4 se muestra la construcción de la platea de fundación de la torre T1.



Figura 4. Vista de las plateas de las torres.

4. Contenciones

Se diseñaron estructuras de contención perimetrales de más de 650m de longitud, con alturas variables entre 1.5m y 8.0m. Se especificaron soluciones particulares para cada sector del proyecto dependiendo del gálibo disponible según la arquitectura, el desnivel a salvar y la presencia de columnas. En los sectores más comprometidos se ejecutaron pantallas de pilotes con vigas de coronamiento. En las Figuras 5 a 7 se presentan algunos esquemas típicos de las contenciones diseñadas y fotos de la obra.

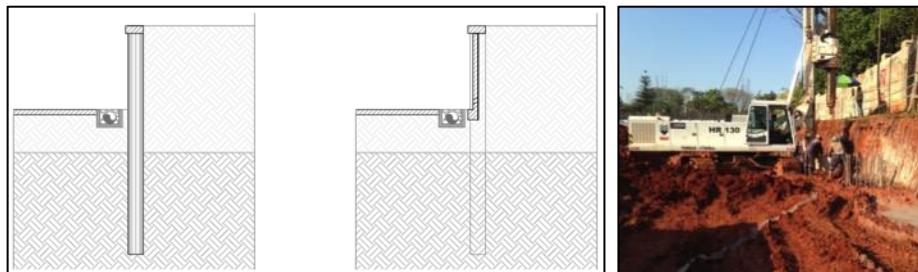


Figura 5. Pantalla de pilotes empleada en cortes de altura moderada (izq.) y pilota ejecutando la obra (der.).



Figura 6. Combinación de pantalla de pilotes con fundaciones de las estructuras principales.



Figura 7. Vista panorámica de un frente contenido con pilotes.

5. Ensayos de integridad en pilotes

Se ejecutaron ensayos de integridad a bajas deformaciones, comúnmente conocidos como ensayos PIT (Pile Integrity Test) [8], sobre pilotes, a fin de evaluar la condición *as-built* y detectar posibles daños o fallas estructurales en todo el largo del pilote. En la

Figura 8 se muestra el equipo utilizado y en la Figura 9 se muestran los resultados de tres impactos realizados sobre la cabeza de un pilote.



Figura 8. Equipo para captación y visualización de señales (izq.) y ejecución de ensayo in situ (der.).

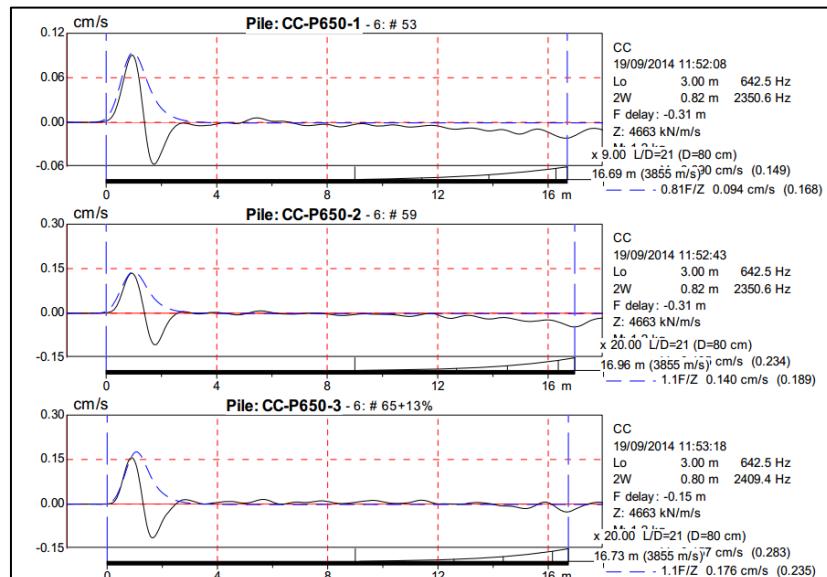


Figura 9. Resultados de los ensayos ejecutados sobre el pilote P650.

6. Ensayos de carga axial en GeoPier®

En algunas zonas del proyecto se realizaron trabajos de mejoramiento de suelos a base de pilas de agregado compactado, llamadas Geopier®. Estas pilas tienen un diámetro de 760mm y longitudes de 2.40m y 2.70m, con capacidades de carga de diseño de 400kN y 600kN respectivamente. Sobre estas pilas, se realizaron ensayos de carga axial a fin de evaluar el buen diseño y el cumplimiento de las hipótesis de cálculos, principalmente la rigidez axial asumida de la pila. En la Figura 10 se muestra una vista general del ensayo con el marco de reacción ya instalado y la curva carga-deformación medida durante el ensayo de carga.

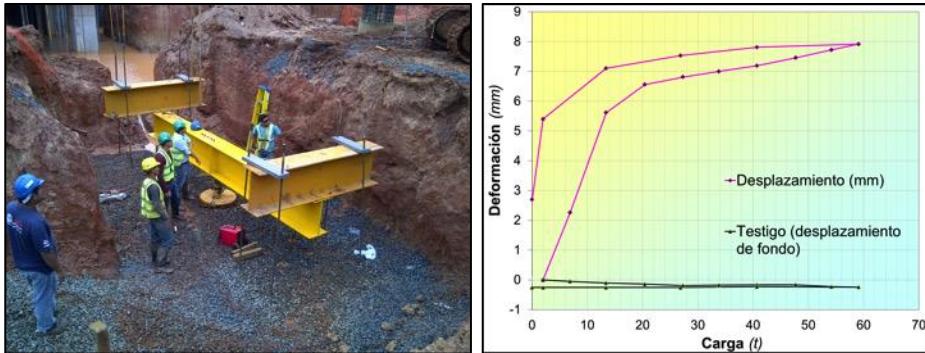


Figura 10. Vista general del ensayo de carga (izq.) y curva carga-deformación medida sobre un GeoPier (der.).

7. Conclusiones

La concepción y materialización del emprendimiento Paseo La Galería en Asunción, República del Paraguay, demandó una gran cantidad de recursos humanos y tecnológicos para dar solución a los diferentes problemas geotécnicos presentados en los siete edificios proyectados. Este proyecto implicó un estudio detallado de cada solución debido a las difíciles condiciones en el terreno de fundación y a la importancia de la obra proyectada.

Este informe presenta los resultados de la campaña de investigación geotécnica in situ y en laboratorio, el diseño de las obras geotécnicas del proyecto y los ensayos de control de calidad de las fundaciones profundas.

Las obras geotécnicas realizadas incluyen pilotes de hasta 15.5m de largo, con capacidades de carga de hasta 2.8MN, realizados en grupos de hasta seis pilotes. También fueron realizadas grandes plateas de fundación de 1125m² y 1.5m de espesor.

A fin de aumentar la estabilidad de las excavaciones, se realizaron obras de contención. En los sectores más comprometidos se ejecutaron pantallas de pilotes con vigas de coronamiento.

Finalmente, se realizaron estudios de control durante y después de la ejecución de las fundaciones profundas para asegurarse de la correcta ejecución de las obras.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen a Soderling International por el apoyo y autorización para publicar este artículo.

Referencias

- [1] Andrada, J. y Andrada, R., Behavior of Asunción's cemented sands. *ICSMGE*, Egypt, 2009.
- [2] Bosio, J. J., Características geotécnicas del firme de Asunción, 1997.
- [3] Bosio, J. J., Caracterización de las Areniscas Friables de Asunción Mediante Mediciones de Penetración, *XI Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol I. pp 253- 266, Viña del Mar, Chile, 1991.
- [4] Bosio, J. J., Identificación de las arenas cementadas y areniscas muy blandas de Asunción y alrededores, *1er. Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica COPAINGE*, Tomo 1. pag 239-255, Asunción, Paraguay, 1997.

- [5] Bosio, J.J. and Kanji M.A., Soft Rock of the Rio de la Plata Basin. *2nd. International Symposium on the Geotechnics of Hard Soils and Soft Rocks*, Volumen 1. pag 59. Napoli, Italia, 1998.
- [6] Bosio, J.J. & Vera Vierci, R., The Penetration Index for the Control of Piles in Hard Soils. *12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Volume 2, p.p. 1865-1869, Cambridge Massachussets, USA, 2003.
- [7] Kulhawy F.H. and Mayne P.W., *Manual on estimating soil properties for foundation design*, Electrical Power Research Institute (EPRI), Project 1493-6, Final report, USA, 1990.
- [8] ASTM 5882-07, *Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations*, 2007.