

Prólogo

Una de las actividades esenciales dentro del ejercicio de la geotecnia, es la exploración y los ensayos in situ, dada la necesidad de conocer las propiedades del suelo en su estado natural. Aunque la mayoría de los libros de texto básicos del área cubren estos temas en algún capítulo, son escasos los libros que se dediquen por completo a la explicación de los diferentes ensayos, especialmente en el idioma español. Esta es una carencia significativa, porque en muchas ocasiones los recién practicantes en el área, no han tenido oportunidad de conocer los equipos de exploración, las características de los ensayos, o el proceso de interpretación de resultados, lo que complica su trabajo. Por otro lado, las referencias en inglés, no siempre les permiten conocer el vocabulario técnico empleado en la práctica.

Este libro suple esa necesidad, haciendo una recopilación del proceso de exploración de suelos, junto con los ensayos in situ que más comúnmente se presentan en la labor geotécnica. En su contenido, se describen de manera detallada las pruebas, equipos, procedimientos y la interpretación de los resultados. Incluye los ensayos que más se realizan en el país, como la prueba de penetración estándar (SPT), ensayos más específicos como el presiómetro, y también contempla pruebas que van adquiriendo mayor notoriedad en la práctica, como el ensayo de penetración de cono (CPT). Cada uno de los capítulos proporciona una sección de antecedentes históricos que permite al lector tener un contexto de la prueba y su aplicación en Chile, lo que permite una mayor familiarización con los suelos del país y sus características. Esto es muy relevante, pues estudiantes y nuevos ingenieros pueden tener una imagen general de los suelos que pueden encontrarse en diferentes regiones, sus características y los ensayos más adecuados para evaluar sus propiedades mecánicas. Adicionalmente, cada prueba incluye una revisión bibliográfica abundante, incluyendo normativas internacionales, que permiten respaldar parámetros, comentar nuevos avances en el ensayo y puntualizar limitaciones.

Una característica esencial de los textos sobre ensayos geotécnicos es la interpretación de los resultados, ya que estudiantes y practicantes requieren tener una idea clara de los parámetros medidos y los valores esperados. En este sentido, pueden beneficiarse de la experiencia del Dr. Villalobos, quien ha escrito otros libros de geotecnia, por lo que este libro presenta herramientas para la práctica desde un enfoque didáctico, que permitirá a los lectores una mayor comprensión de los temas. Es de esperarse que este libro se vuelva una herramienta esencial en la enseñanza de la ingeniería geotécnica en el país y en Latinoamérica.

Dra. Yolanda Alberto
Profesora Asistente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile

Santiago, 2 de noviembre 2022

Prefacio

Este libro surge en medio de la preparación de un texto de fundaciones en base a apuntes de clases. Partiendo por capacidad de soporte, asentamientos de fundaciones superficiales y profundas, luego se incorporó exploración y ensayos geotécnicos in situ más comúnmente usados. Sin embargo, en el transcurso de la elaboración del libro, esta sección primero, capítulo después, parte I al final, empezó a crecer demasiado adquiriendo vida propia. Por su extensión y variedad de contenidos, ya no era posible reducirlo a un solo capítulo y fue dividido en un capítulo para cada ensayo. Finalmente, la parte de ensayos geotécnicos in situ quedó como una unidad independiente, es decir, este libro. Lo cual revela la importancia y diversidad de la exploración geotécnica, casi siempre reducida, en el mejor caso, al comienzo o al final de un texto de Mecánica de Suelos, Fundaciones o Geotecnia. La exploración del terreno es un área muy amplia, abarcando técnicas tradicionales de perforación con extracción de muestras y testigos, las cuales se explican y describen. Además, se incluye la técnica más reciente de perforación sónica. Los ensayos geofísicos son mencionados con referencias recomendadas, pero no son parte de este libro, el cual se focaliza en los ensayos geotécnicos in situ intrusivos de rotación, penetración y expansión, más empleados en el mundo. Estos son los ensayos de veleta de corte FVT, dilatómetro DMT, penetración de cono CPT, presiómetro PMT y penetración estándar SPT.

Chile es un país donde hasta ahora, y por lo general, se explora poco el terreno incluso en proyectos de gran envergadura, públicos y privados. Esto no solo lo dicen colegas geotécnicos extranjeros, sino también es confirmado por la normativa (NCh1508, 2008, 2014), la cual comparada con normativas de otros países de América y Europa exige menos exploración. De hecho, en estos momentos se está modificando la norma NCh1508 (2014), dado que establece cantidades muy bajas de exploración, no diferencia el tipo ni condición del suelo y tampoco establece calidad de muestras, entre otros vacíos. La norma de suelos expansivos NCh3608 (2020) ha aumentado la cantidad de exploración por sobre la indicada en la NCh1508 (2014). Posibles explicaciones a la baja exploración geotécnica del terreno en Chile se atribuyen a su alto costo si se compara con otros países. Esto tal vez por la menor cantidad relativa de oficinas, empresas y laboratorios, concentrados mayoritariamente en Santiago, los cuales al contar con una base de datos nacional utilizan información mínima para elaborar estudios e informes. Además, la alta resistencia de gran parte del suelo de Santiago ha extendido probablemente al resto del país una visión simplificada y reducida de la exploración geotécnica. Otro aspecto está relacionado con las licitaciones otorgadas a quien ofrezca el menor valor en todas las áreas de un proyecto. La exploración geotécnica no escapa a esto, y existe una práctica de ofrecer exploraciones insuficientes para poder ganar una licitación.

Sin embargo, esta visión está cambiando, puesto que se encuentran en preparación

las normas de CPT y presiómetro preexcavado de Ménard, lo cual augura un futuro prometedor para los ensayos geotécnicos in situ. A esto se suma la propuesta de modificación a la OGUC (Ordenanza General de Urbanismo y Construcción) para incluir explícitamente en un proyecto profesionales de Mecánica de Suelos y Geotecnia, y no solo arquitectos, calculistas y constructores.

Aunque no existe un *journal* exclusivo para exploración y ensayos geotécnicos in situ, casi todos los *journals* de geotecnia dan cabida a ensayos in situ. De hecho *Geotechnical Testing Journal* explícitamente está dedicado a ensayos de laboratorio e in situ. Además, existen diversas publicaciones específicas sobre ensayos geotécnicos in situ en artículos, capítulos de libros, libros, normativas, congresos y recomendaciones. Aparte de los congresos de geotecnia, se han realizado congresos internacionales dedicados a los ensayos FVT (1957, 1988), DMT (1983, 2006, 2015), CPT (1995, 2010, 2014, 2018, 2022) y PMT (1982, 1986, 1990, 2013). Además, se han aglutinado en los congresos de ensayos de penetración ISOPT (1974, 1982, 1988), y hoy seguido por el *International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization* ISC (1998, 2004, 2008, 2012, 2016, 2020).

El avance práctico, empírico y teórico en el estudio de los ensayos geotécnicos in situ se debe a un gran número de investigadores. Es indudable la utilidad del trabajo de Schnaid (2009) puesto que cubre los ensayos estudiados en este libro. Además, resulta indiscutible el gran aporte de libros y textos dedicados exclusivamente al CPT (Lunne *et al.*, 1997), PMT (Clarke, 1995; Mair y Wood, 1987) y DMT (Marchetti *et al.*, 2001). En este libro van a ir apareciendo destacados aportes, tanto teóricos como empíricos de investigadores en incluso más de un ensayo como son: Campanella, Houlsby, Jamiolkowski, Lunne, Marchetti, Mayne, Ménard, Robertson, Schmertmann, Schnaid, Wroth y Yu, por nombrar solo a los más citados. Estas publicaciones son sin lugar a dudas la base de este libro.

Sin embargo, la motivación y objetivo más importante que impulsa este libro es aportar en reducir o evitar los daños y perjuicios ocasionados por la ausencia de exploración y ensayos in situ o por exploraciones insuficientes y defectuosas. Resulta preocupante que a pesar de contar hoy con suficiente información y disponer de equipamiento técnico de alto nivel, siguen ocurriendo fallas y errores que resultan no solo en pérdidas económicas y atrasos, sino en lesiones y pérdida de vidas humanas. Solo indagando en años recientes es posible encontrar varios casos de fallas lamentables. Los más conocidos han sido difundidos en la prensa, aunque existe también un gran número de proyectos no tan conocidos, tanto públicos como privados, donde insuficiente exploración ha resultado en altos costos extras y grandes atrasos. El estudio de fallas en geotecnia se ha convertido en un tópico en sí mismo (Alonso *et al.*, 2010; Puzrin *et al.*, 2010; Milititsky *et al.*, 2008). Este libro está pensado para alumnos de pre y postgrado de Ingeniería Civil, Geológica y Geotécnica, en cursos de Fundaciones y Geotecnia. Y está dirigido de forma especial a quienes se desempeñan en exploración y ensayos geotécnicos in

situ, así como a quienes toman decisiones para contratar ensayos geotécnicos in situ y a quienes deben asegurar la viabilidad de un proyecto en el tiempo.

El libro comienza presentando una breve reseña histórica en el mundo y en Chile. Luego se describen fallas y problemas ocurridos debido a ensayos geotécnicos in situ insuficientes, deficientes o inexistentes. Ello pone de manifiesto los efectos negativos y catástrofes a las que se puede estar expuesto cuando se somete a grandes riesgos a proyectos y personas directa o indirectamente involucradas. Se continúa con planificación de la exploración geotécnica, luego técnicas de perforación y muestreo y en seguida los ensayos FVT, DMT, CPT, PMT y SPT. Cada ensayo es analizado de acuerdo a la normativa, investigaciones y resultados prácticos disponibles sobre equipos, procedimientos y técnicas de ensayos. Además, se aborda en cada ensayo la presentación e interpretación de resultados en función de parámetros usados para determinar propiedades geotécnicas relevantes de los suelos. Se consideran principalmente parámetros de clasificación, resistencia, rigidez, drenaje y consolidación de suelos. Este libro no incluye aplicaciones directas de los resultados para estudios de asentamientos, estabilidad de taludes, licuación, pilotes u otros, lo cual es abordado en Fundaciones, Dinámica de Suelos y Mecánica de Suelos. Considerando el uso cada vez más frecuente en la práctica actual de sofisticados programas computacionales de análisis estructural y geotécnico, resulta necesario alimentar estos análisis numéricos con datos precisos, confiables y en unidades ingenieriles. De lo contrario, se vuelve inútil el uso de herramientas numéricas 3D con modelos constitutivos complejos, pero sin valores de input de alta calidad.

Finalmente debo agradecer a alumnos y colegas en la elaboración de este libro. En especial los aportes de Francisco Acuña y Javier Mora (Aragón), Alejandro Mendez (EMIN SG), Óscar Taiba (Ferrara), Ricardo Moffat (LMMG, UAI), Mauro Poblete (MásGeotecnia), Maxwell Cáceres (MIC UCSC), Paulo Orostegui (OITEC) y Rafael Martínez (Pangea). Las actividades de SOCHIGE y las reuniones de los comités de normas de suelos expansivos, CPT, PMT, Mecánica de Suelos y licuación han sido muy enriquecedoras, en particular, los aportes de José Campaña (Arcadis), Ramón Verdugo y Gustavo Peters (CMGI), Miguel Ángel Jaramillo (Enel), Ramón Carrasco (Geotecnia Patagonia), Iván Bejarano (IDIEM), Michel Kure (Kuadrante), Eduardo Hurtado (MOP), Horacio Musante (Musante), Omar Nuñez (ONE Geotecnia), Chistian Ledezma y Esteban Sáez (PUC) y Francisco Ruz (RyV) y varios más. Debo dar un gran agradecimiento a la Universidad Católica de la Santísima Concepción por brindarme la oportunidad de poder escribir este libro durante varios años, lo cual no es menor dentro del exigente mundo académico actual. Debo agradecer especialmente a Gonzalo Bordagaray y a la Editorial UCSC por el gran trabajo que realizan.

Felipe Villalobos
Concepción, 28 de marzo 2022