

Determinación de parámetros geotécnicos para el proyecto de cimentaciones de conjuntos habitacionales*

*Ing. Benjamín Nahoum ***

1. Introducción

La Facultad de Ingeniería realiza estudios de subsuelo para el proyecto de cimentaciones de edificios desde hace muchos años. Según lo que conocemos los trabajos pioneros pueden ubicarse a principios de la década de los 70, cuando el entonces Departamento de Mecánica de Suelos del Instituto de Ingeniería Civil, dirigido por el Prof. Ing. Luis Abete realizó el estudio para los Conjuntos Intercooperativos «Mesa 1», «Mesa 2», «Mesa 3» y «Mesa 4», en Montevideo. Paralelamente el Instituto, a cuyo frente estaba el Prof. Ing. Julio Ricaldoni, desarrollaba una metodología para la determinación de la capacidad portante de pilotes, que habría de culminar en la propuesta de una norma en la materia.

Al recuperarse la autonomía universitaria, en 1985, entre las medidas reorganizativas adoptadas para superar el grave retroceso técnico, científico y educativo sufrido durante los años de dictadura, se dispuso la creación del Departamento de Geotécnica, que se constituyó inicialmente con un pequeño equipo de ingenieros civiles y geólogos, bajo la dirección del Prof. Ing. Héctor Goso, equipo que luego se fue ampliando hasta su dimensión actual, fundamentalmente en base al impulso dado por la política de convenios y actividades de asesoramiento externo.

Dentro de esa línea de trabajo, una parte proporcionalmente muy importante la constituyó el estudio del subsuelo de terrenos a efectos del proyecto de cimentaciones, particularmente de viviendas y dentro de éstas, especialmente, de conjuntos cooperativos de ayuda mutua. A 1998 se podía estimar en más de cien los estudios realizados, muchos de ellos en el interior del país.



La información recabada no solamente ha permitido suministrar los insumos necesarios para el proyecto de las fundaciones correspondientes, sino que ha sido uno de los aportes fundamentales para la obtención de datos sobre las características de nuestro subsuelo. En Montevideo, particularmente, esa información ha sido una de las fuentes principales utilizadas para los trabajos cartográficos.

Este tipo de problemas tiene particularidades específicas. Ello, junto al volumen de trabajo realizado, ha llevado a -pero también ha permitido- establecer una metodología de actuación, que se pretende describir sintéticamente en este artículo y que procura recoger la experiencia adquirida por el Departamento en este tipo de trabajos. El interés que esto tiene para nuestro medio es que éste es precisamente el tipo de investigación que se requiere para el proyecto de las construcciones más usuales en la práctica profesional cotidiana.

Asimismo, desde hace un tiempo, los organismos financiadores de programas de construcción de conjuntos habitacionales, y en particular el Banco Hipotecario del Uruguay, han puesto como condición necesaria para la aprobación de los mismos la presentación del informe geotécnico correspondiente. Se pretende así evitar las distorsiones que genera en la planificación la aparición de problemas imprevistos, causada por el desconocimiento de las características de los terrenos en que se construirán las obras.

* Este artículo fue presentado en las Primeras Jornadas Geotécnicas Nacionales, realizadas en 1998 en Montevideo, organizadas por el Departamento de Geotécnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Los conceptos que contiene mantienen su validez, en especial con referencia al proyecto de cimentaciones de vivienda de interés social. Pese a que algunas circunstancias han cambiado, se ha optado por mantener la formulación original. VP.

2. Características de los problemas planteados

Los problemas planteados presentan en general las siguientes características comunes:

i. la densidad de edificación (viviendas/Há.) es baja a medio-baja (viviendas de un nivel o dúplex, en general; excepcionalmente, tres a cuatro niveles). Ello implica, por el contrario, una utilización relativamente densa de los predios (relación superficie edificada/superficie total del terreno alta). Se trata, en consecuencia, en buena medida de un problema *areal*;

ii. las viviendas que se construyen son económicas y por ende deben serlo también las cimentaciones;

iii. las cargas transmitidas al terreno son relativamente pequeñas, por lo cual pueden ser soportadas incluso por terrenos de resistencia baja a regular; por la misma razón, carece de sentido la búsqueda de capas de alta resistencia a profundidades significativas;

iv. las características antes reseñadas hacen que deban descartarse algunas soluciones habituales en fundaciones (p. ej., los pilotes entubados), mientras adquieren prioridad otras que no son aplicables en casos más complejos (especialmente las fundaciones directas sub-superficiales);

v. a su vez, las soluciones en platea general, por su simplicidad de ejecución y la ventaja de proveer la fundación y al mismo tiempo el contrapiso y una superficie limpia sobre la cual trabajar, pueden justificarse por razones que no derivan estrictamente de las características resistentes del terreno;

vi. la concurrencia de estructuras livianas, a veces resueltas con cimentaciones de superficie importante (fundaciones corridas, plateas) con suelos potencialmente expansivos y variaciones de humedad significativas en la zona de influencia de la cimentación, hace que también adquiera relevancia la consideración de los posibles empujes sobre la estructura por efecto del hinchamiento del terreno;

vii. por las características de las estructuras consideradas, asimismo, normalmente este tipo de problemas no involucra la fundación en roca. Cuando ella aparece aflorante, generalmente es suficiente la capacidad portante que proveen sus niveles de alteración. En consecuencia no es preciso tener un conocimiento profundo de las características del macizo rocoso, sino solamente de la parte del mismo que se comporta como suelo;

viii. en los programas de ayuda mutua el aporte de los cooperativistas a la financiación del programa consiste en su propio trabajo; por consiguiente, tanto los materiales a emplear como los procedimientos constructivos deben tener en cuenta que se dispone de un volumen importante de mano de obra no calificada; la misma consideración, con otro grado de importancia, vale también para el estudio geotécnico;

ix. por las mismas razones resulta de mucha importancia la presencia de freáticos;

x. la búsqueda de terrenos de bajo costo lleva muchas veces a optar por predios de ubicación periférica, sobre los que generalmente no hay antecedentes de construcciones cercanas, y que muchas veces han sido objeto de rellenos irregulares.

3. La metodología empleada

Teniendo en cuenta las especificidades antes señaladas, se ha diseñado y puesto a punto una metodología para realizar este tipo de estudios, que comprende las siguientes etapas:

i. *análisis de antecedentes*: información de construcciones vecinas, en particular la proveniente de estudios para el proyecto de pilotajes; información almacenada en bancos de datos, correspondiente a las unidades geotécnicas presentes, esto es, los agrupamientos de materiales en función de su comportamiento similar en relación a un parámetro, en este caso la resistencia; información proveniente de cartas geológicas y geotécnicas; fotointerpretación geológica de fotografías aéreas;

ii. *definición del programa de trabajo*, en base a los antecedentes disponibles y las características del problema planteado. Este programa debe comprender las tareas de campo, laboratorio y gabinete requeridas para obtener la información necesaria. En las tareas de campo se parte inicialmente de una investigación en malla de lado aproximadamente 50 m, que se cierra de acuerdo a la variabilidad que presenten las características del terreno;

iii. *trabajos de campo*, obteniendo:

-perfiles de subsuelo, con descripción de los materiales encontrados en cada perforación e información sobre presencia de freáticos. Se procura investigar la homogeneidad de la ocurrencia y características de los materiales relevados, lo que conduce a establecer los *perfiles tipo* presentes. Las planillas correspondientes a las perforaciones incluyen toda la información relevante a nivel de campo, y en particular la que corresponde a la dificultad de excavación registrada. En cuanto a las profundidades de interés las mismas dependen del tipo de fundación prevista. En todos los casos, sin embargo, se procura aportar información sobre los materiales presentes y la ocurrencia de freáticos en las profundidades habituales para las soluciones de pilotaje para este tipo de cargas (máximo 5-6 m);

-detección y caracterización de posibles aspectos singulares: rellenos, rocas aflorantes, suelos normalmente consolidados, grandes variaciones de comportamiento, etc.;

-muestras disturbadas para la clasificación de suelos, en principio cada metro de profundidad y siempre que haya un cambio de las características del suelo (litología, color, dificultad de excavación);

-información de la resistencia a la penetración en sitio, que permite tener una primera idea de la capacidad portante del terreno y en especial de su variación con la profundidad;

-extracción de muestras inalteradas para la eventual realización de ensayos de resistencia (compresión confinada o triaxial, corte directo), así como de determinación de sus características expansivas o de consolidación.

Cuando ello es necesario, se realizan asimismo ensayos de carga sometiendo directamente al suelo a esfuerzos crecientes para determinar sus leyes de comportamiento esfuerzos-deformaciones ("ensayo de placa", Norma A.S.T.M. D 1194-94). Estos ensayos, laboriosos, son generalmente los únicos que aportan información relevante cuando se trata de terrenos rellenados irregularmente.

Estos trabajos se realizan habitualmente con medios de perforación manual (sonda rotativa manual, llamada comúnmente "pala americana") o equipos mecánicos muy livianos y la determinación de la resistencia a la penetración usando el clásico ensayo de penetración estándar ("S.P.T.", Norma A.S.T.M. D 1586-84). Tratándose de suelos arenosos resulta muy eficaz la perforación mediante "chorro de agua", si bien dicho procedimiento debe complementarse con otros menos agresivos a efectos del muestreo.

La obtención de muestras inalteradas se realiza hincando mediante un gato un sacamuestras de pared delgada adecuado, que generalmente ya tiene las dimensiones de la probeta a ensayar o, de no ser posible esto, recortando una muestra de dimensiones mayores, que posteriormente se talla en laboratorio;

iv. trabajos de laboratorio, consistentes en:

a. en todos los casos:

- ensayo granulométrico por vías seca y húmeda de las muestras extraídas;
- id. determinación de los límites de Atterberg;
- clasificación por el Sistema Unificado (Norma A.S.T.M. D 2487-85) de los suelos correspondientes a cada capa de interés (aquellas que eventualmente pueden servir de apoyo, y todas las inferiores que resulten afectadas significativamente por los esfuerzos transmitidos);

b. eventualmente, cuando resulta necesario para obtener mayor información:

- ensayos de compresión confinada o triaxial;
- ensayos de corte directo;
- ensayos de consolidación;
- ensayos de expansión libre o parcialmente controlada (en este caso sometiendo a la muestra a una sobrecarga equivalente a la que le aplicará la fundación).

Generalmente cuando se realiza este tipo de ensayos se trabaja sobre muestras representativas, seleccionadas en base a la descripción de campo y los ensayos de clasificación.

v. Trabajos de gabinete y elaboración de recomendaciones

Los trabajos de gabinete, a su vez, comprenden:

- el procesamiento de la información obtenida en los trabajos de campo y laboratorio. Esta etapa puede retroalimentar las anteriores, aportando elementos para complementar la búsqueda de información de aquellas etapas;

- separación de las unidades geotécnicas intervinientes y caracterización de las mismas por los correspondientes parámetros geotécnicos. En cuanto a la determinación de los parámetros resistentes, cuando ella surge de ensayos de penetración se obtiene por correlaciones empíricas y en caso de inferirse de ensayos sobre muestras, de la aplicación de las leyes de resistencia al corte de suelos de Mohr-Coulomb, que dan origen a modelos de análisis como el de Terzaghi-Meyerhof. Esta etapa, que implica el análisis, valoración y ponderación del conjunto de la información obtenida, es fundamental, porque permite transmitir al proyectista un conocimiento depurado de elementos casuísticos y de dispersiones locales;

- elaboración de recomendaciones. Las mismas deben incluir todas las soluciones técnicamente viables, de modo de facilitar al proyectista la adopción de las opciones correspondientes, para lo cual tendrá en cuenta no solamente los aspectos geotécnicos sino también elementos de tipo constructivo, económico, y aún social; -un elemento de particular importancia es que estas recomendaciones incluyan elementos que permitan al director de obra -que generalmente no posee conocimientos geotécnicos demasiado profundos- distinguir cómodamente con criterios sencillos (tamaño de grano; color; tenacidad ante esfuerzos conocidos, como el golpe de pico o barreta; comportamiento plástico; etc.) los niveles de fundación recomendados;

- asimismo debe advertirse, de existir, sobre posibles problemas de empuje contra elementos de la estructura por la expansión del suelo y sobre la ocurrencia de características aleatorias, como es el caso de niveles más tenaces por efectos locales de cementación, menor humedad, etc.

4. Conclusiones

La metodología adoptada ha sido puesta a prueba, a esta altura, en un número significativo de casos, en muchos de los cuales ya se ha procedido a realizar los proyectos correspondientes y aún las propias construcciones. Los resultados en general pueden catalogarse como satisfactorios.

Esto permite concluir que una metodología de estas características aporta un volumen de información adecuada para el proyecto y es suficientemente flexible para permitir profundizar los estudios en aquellos casos en que la complejidad del problema (generalmente por las características del suelo) así lo requiere.

Las tareas de campo se realizan con participación de los destinatarios, lo que es importante tratándose de una etapa en la que los mismos no disponen aún de financiamiento.

Este tipo de estudios han sido, a su vez, planteados reiteradamente como trabajos monográficos de fin de curso en la asignatura de la carrera de Ingeniería Civil "Estudios Geotécnicos", que se dicta como opcional en el penúltimo año. El interés demostrado por los estudiantes y el rendimiento que alcanzan en este tipo de trabajos muestra que los mismos pueden ser abordados a partir de un manejo razonable de los conocimientos de la disciplina, sin requerir que los encare un experto. Ello sin perjuicio que naturalmente la experiencia permite optimizar el trabajo y particularmente enriquecer sus conclusiones.

Finalmente debe señalarse que una prueba adicional del buen desempeño de esta metodología han sido los sucesivos convenios firmados por la Federación Uruguaya de Cooperativas de Vivienda por Ayuda Mutua (F.U.C.V.A.M.) y el Departamento de Geotécnica de la Facultad de Ingeniería, con respaldo de la Comisión Sectorial de Investigación Científica (C.S.I.C.) de la Universidad de la República, en su línea de programas de apoyo a sindicatos y cooperativas. A través de estos convenios se han realizado hasta ahora más de treinta estudios de este tipo.

