

Estudios geotécnicos

Una necesidad en obras civiles

José Guardo Polo*

Resumen

En este artículo se exponen algunas razones sobre la necesidad de realizar estudios de suelos en obras civiles, sea cual fuere su magnitud.

Se destaca la actitud ante el estudio de suelos de los estamentos involucrados en los proyectos de obras civiles, su implicación técnica, social y económica, y se ponderan los beneficios derivados de su realización y los problemas potenciales que podrían presentarse cuando no sean tenidos en consideración.

Finalmente, se presentan unas conclusiones en las que se muestran los objetivos de los estudios geotécnicos.

Palabras claves: Estudios geotécnicos, obras civiles, normas de construcción.

Abstract

In this article, some reasons about the need to accomplish soils studies in civil works are presented.

The attitude to make soils study from civil projects states are shown. Also its technical, social and economic implications Benefits and potencial problems about developing or not such studies are pondered.

Finally, some conclusions to show the objectives of geotechnical studies are presented.

Key words: Geotechnical studies, civil works, building standards.

Fecha de recepción: Septiembre 1 de 1999

1. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las fuentes bibliográficas especializadas en geotecnia y códigos de ciudades en los que se dictan normas de construcción, se destaca la necesidad de ejecutar exploración de campo e investigación de laboratorio,

* Ingeniero Civil, Universidad de Cartagena; Magíster Ingeniería Civil, Vías Terrestres, Universidad del Cauca; Especialista en Gerencia y Control de la Construcción, Universidad del Norte. Responsable del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad del Norte. Profesor de Mecánica de Suelos, Fundaciones y Pavimentos de esta última universidad. (E-mail: jguardo@guayacan.uninorte.edu.co)

complementadas con análisis de ingeniería sobre la utilización de las propiedades físico-mecánicas e hidráulicas de los suelos y sobre el proceso constructivo, para lograr una adecuada interacción entre el terreno de apoyo y la estructura.

Para algunos, esta práctica podría antojarse innecesaria para proyectos de «pequeña envergadura». No obstante, y sin importar la magnitud del proyecto, la experiencia nos ha demostrado que muchas fallas en estructuras, pérdidas de tiempo y dinero, traumatismos sociales se deben, en su mayoría, a la falta de estudios geotécnicos o a estudios incompletos.

2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

En términos generales, puede afirmarse que cualquier obra construida por el hombre está soportada por el suelo o roca de la corteza terrestre.

También es cierto que el comportamiento de una estructura es función de todos los elementos que intervienen en el análisis: La superestructura, subestructura, cimentación o fundación, principalmente de esta última.

El costo de una fundación rara vez excede de una décima parte del costo total de la estructura; pero de la fundación depende la seguridad de la superestructura, y todo intento por economizar en esta parte de la obra podría poner en peligro la superestructura,

aunque ésta haya sido bien proyectada y bien construida.

Un aspecto negativo de una fundación no satisfactoria consiste en que los defectos y fallas rara vez aparecen inmediatamente, sino que la mayoría de las veces no son apreciables hasta que la obra está en uso, que es justamente cuando resulta más costosa la reparación.

Alguien expresó que «ninguna estructura es mejor que su fundación», lo cual significa que la calidad de una cimentación no depende de la bondad del concreto, ni de lo bien dispuesto de la armadura, sino de la adecuada y proporcionada relación entre la resistencia del subsuelo y el sistema elegido para transmitir las cargas del sistema ingenieril.

Por otra parte, el comportamiento de toda obra apoyada sobre el terreno dependerá en un gran porcentaje de las condiciones de éste y de la forma como hayan sido incorporadas al diseño sus características.

El mayor interés se centra en las relaciones esfuerzo-deformación, o sea, cuánto resiste el terreno y qué cantidad de asentamiento producirá en él las cargas de la estructura.

No obstante, en los terrenos se presentan otras condiciones cuya importancia no puede quedar por fuera del contexto de un análisis ingenieril de interacción suelo-estructura: Carac-

terísticas expansivas, dispersividad, colapsabilidad, rellenos heterogéneos, depósitos orgánicos, presencia de cavernas, etc.

La razón más importante para ejecutar el estudio geotécnico es tener una seguridad razonable para la obra, al menor costo posible, con lo cual se evitan contratiempos y demoras durante la construcción.

En ocasiones se inicia una construcción sin un conocimiento previo del suelo, pero durante las excavaciones para los cimientos se detectan condiciones diferentes a las asumidas (rellenos heterogéneos, arenas sueltas) que motivan la interrupción del proyecto. Para subsanar esta situación se realiza un estudio geotécnico y un rediseño de los cimientos, con lo cual resulta mayor e innecesario el tiempo de ejecución.

Otras veces se construye sobre suelos expansivos, dispersivos, colapsables o en general inestables, sin los requisitos de diseños adecuados. El resultado es el pobre comportamiento de la obra, la cual no cumplirá con la función asignada por los responsables del proyecto.

De lo anterior resulta claro que el estudio geotécnico debe ser un requisito indispensable, sea cual fuere la magnitud del proyecto, especialmente si éste se desarrolla en terrenos con las características mencionadas en el párrafo anterior.

Las Normas Colombianas de Diseño

y Construcción Sismo Resistentes, Nsr-98, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, definen el «estudio geotécnico» como «*El conjunto de actividades que comprenden la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación y se protejan las vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas*».

3. TIPOS DE ESTUDIOS

En general, se consideran dos tipos de estudios geotécnicos: **A nivel preliminar**, para obtener una aproximación a las características geotécnicas de un terreno, para establecer la factibilidad de construcción de un proyecto, incluyendo amenazas geotécnicas, criterios generales de cimentación y obras de adecuación del terreno. **A nivel definitivo**, con fines de diseño y construcción para un proyecto específico, de acuerdo con las normas del título H del Código aquí reseñado.

4. ALCANCES Y CONTENIDOS DE LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

El estudio geotécnico comprende dos aspectos fundamentales:

- **Investigación del subsuelo:** El cual abarca el estudio y conocimiento de su origen geológico, la exploración de campo y los ensayos de campo y laboratorio necesarios para cuantificar las características físicas, mecá-

nicas e hidráulicas del subsuelo.

- **Análisis de ingeniería:** Comprende la interpretación técnica que permita la caracterización del subsuelo y la evaluación de los posibles mecanismos de falla que hagan posible suministrar los parámetros y las recomendaciones necesarias para el diseño y la construcción de las cimentaciones y otras obras relacionadas con el subsuelo.

CONTENIDO

El estudio geotécnico de carácter definitivo debe contener como mínimo los siguientes aspectos:

- a) *Del Proyecto:* Identificación, localización, objetivo del estudio, descripción general del proyecto, sistema estructural y cargas.
- b) *Del Subsuelo:* Resumen de la investigación ejecutada, morfología del terreno, origen geológico, estratigrafía, características físico-mecánicas, nivel de aguas subterráneas, con un análisis de su incidencia en el comportamiento del proyecto.
- c) *Análisis Geotécnico:* En este punto se resumen los análisis y se justifican los criterios geotécnicos adoptados para determinar estados límites de falla, modos de falla, etc.
- d) *Recomendaciones para Diseño:* Se incluyen tipo de cimentación, profundidad de apoyo, capacidad de

carga admisible, asentamientos totales y diferenciales calculados, tipos de estructuras de contención y parámetros para su diseño, perfil del suelo para el análisis y diseño sísmo-resistente, parámetros para el análisis de interacción suelo-estructura, junto con una evaluación del comportamiento del depósito bajo la acción de cargas sísmicas. También incluyen estabilidad de las excavaciones, laderas, rellenos, diseño geotécnico de filtros y otros aspectos inherentes a este tópico.

- e) *Recomendaciones para Construcción:* Procedimientos de construcción, tolerancias de los elementos de la cimentación, instrumentación, verificación y controles.

Se debe incluir, además, las recomendaciones para adecuar el terreno, movimientos de tierra, controles de compactación, criterios para la protección de drenajes naturales, procedimientos de construcción adecuados para garantizar la estabilidad de la obra y de las construcciones adyacentes.

Congruente con los esfuerzos que a nivel mundial se adelantan al respecto, se debe especificar que las actividades derivadas de la ejecución del estudio geotécnico y de sus recomendaciones, generen los menores impactos negativos sobre los sistemas ecológicos o ecosistemas.

- f) *Anexos:* Incluyen plano de localización general y de ubicación de son-

deos y/o apiques, ensayos *in situ*, registros de perforaciones, formatos con los resultados de los ensayos de campo y laboratorio, resumen de memorias de cálculo. Adicionalmente, fotografías, planos, gráficos, y cualquier aspecto que se requiera para ilustrar y justificar el estudio.

5. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

Por considerarlo de vital importancia y de carácter obligatorio en los estudios geotécnicos, se reseñan algunos aspectos inherentes y considerados por la NSR-98, como también comentarios adicionales sobre este punto.

Se introduce la complejidad del proyecto, entendiendo como tal el resultado de la aplicación de dos criterios concomitantes: El uno, dependiente de la edificación en proyecto, y el otro, de la variabilidad del suelo de soporte.

Las edificaciones se clasifican como normal, intermedia, alta y especial, en dos grupos –edificación y casas– según el área del lote, la altura de la edificación y el número de repeticiones.

Por otra parte, el subsuelo se define como de variabilidad baja, alta y media, dependiendo de las variaciones encontradas entre las perforaciones, y de las condiciones asociadas a los procesos de formación de los depósitos de suelos.

De acuerdo con la anterior, la NSR-98 considera cuatro grados de complejidad: I, II, III y IV.

La investigación del subsuelo para estudios de carácter definitivo requiere desarrollar las siguientes etapas:

5.1. Información previa

Es responsabilidad del ingeniero geotecnista recopilar y evaluar toda la información disponible sobre el sitio y las características del proyecto.

- *Del Sitio:* Incluye geología, sismicidad, clima, lluvias, temperatura y su secuencia, vegetación, presencia y estado de edificaciones existentes e infraestructura de servicios.
- *Del Proyecto:* El propietario del proyecto debe suministrar al ingeniero geotecnista información sobre el levantamiento topográfico, urbanismo, tipo de edificación, niveles de excavación, niveles de construcción, sótanos, cargas de servicios y cualquier otro aspecto de importancia para el estudio.

5.2. Exploración de campo

En esta etapa es importante definir el tipo y profundidad de las prospecciones.

En términos generales, se acepta que estos aspectos son función de la experiencia previa en la zona y, desde luego, de la variabilidad presente en el subsuelo. Se puede ajustar el número y profundidad de las prospecciones a partir de la evaluación de las primeras prospecciones realizadas.

Al respecto, las normas NSR-98 en su tabla H. 3.3., incluida a continuación, sugieren número y profundidad de los sondeos.

e) 2.5 veces el ancho del cabezal de mayor dimensión para grupos de pilotes.

Número mínimo de sondeos n , y profundidad sugerida, por unidad básica de construcción

Complejidad	Número mínimo de sondeos n , y profundidades de los mismos			
	Construcción de edificios	Profundidad (m)	Construcción de casas	Profundidad (m)
I	3	≥ 15	3	≥ 6
II	4	≥ 20	4	≥ 8
III	5	≥ 25	5	≥ 10
IV	6	≥ 30	6	≥ 15

Para la profundidad de los sondeos, indicada en la tabla anterior, la norma indica que por lo menos el 50% de todos los sondeos alcancen la máxima profundidad dada por los siguientes casos:

- a) Profundidad en la que el incremento de esfuerzos causados por la edificación, o conjunto de edificaciones, sobre el terreno sea el 10% del esfuerzo en la interfase suelo-cimentación.
- b) 1.5 veces al ancho de la losa corrida de cimentación.
- c) 2.5 veces el ancho de la zapata de mayor dimensión.
- d) 1.25 veces la longitud del pilote más largo.

f) En el caso de excavaciones, la profundidad de los sondeos debe ser como mínimo 1.5 veces la profundidad de excavación, o 2.0 veces en el caso de suelos designados como S_3 y S_4 en el Título A de este reglamento.

g) En los casos en que se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, en proyectos de complejidad Baja y Media, los sondeos pueden suspenderse al llegar a estos materiales; para proyectos de complejidad Alta y Especial, los sondeos deben penetrar un mínimo de 2 y 4 metros, respectivamente, en dichos materiales, o 2.5 veces el diámetro de pilotes apoyados en éstos.

Durante la exploración de campo se

ejecutan ensayos, utilizando equipos y metodología de reconocida aceptación técnica, y sus resultados deben estar respaldados por correlaciones confiables con los ensayos convencionales, sustentadas en experiencias locales publicadas.

Entre los más populares se incluyen: El ensayo de penetración normal SPT, penetración cónica, CPT, veleta, presurómetro, dilatómetro y prueba de placa.

5.3. Investigación de laboratorio

El ingeniero geotecnista debe seleccionar las muestras obtenidas en el campo para someterlas a los ensayos principales de laboratorio de acuerdo con la naturaleza de los suelos y el tipo de proyecto.

Estos ensayos deben suministrar información clara y confiable sobre clasificación, pesos unitarios, resistencia al corte, deformabilidad y permeabilidad de los diferentes materiales afectados por el proyecto.

5.3.1. Tipo y número de ensayos

El tipo y número de ensayos están íntimamente ligados a las características del terreno, al alcance y magnitud del proyecto y al criterio y experiencia del ingeniero geotecnista.

5.3.2. Ensayos para suelos

A continuación se relacionan los ensayos usuales, algunos de los cuales

condicionan su realización al tipo de suelo:

Se deben ejecutar ensayos que permitan su clasificación como los límites de Atterberg y gradaciones; humedad natural, gravedad específica, pesos unitarios, compresión inconfiada, triaxial, veleta, corte directo, consolidación, expansión libre, expansión bajo carga, compactación, permeabilidad, pH, CBR, *Pin Hole Test* y desmoronamiento.

5.3.3. Ensayos para rocas

Incluyen: La determinación del módulo de elasticidad, peso específico, compresión simple, absorción, alterabilidad y carga puntual.

6. ACTITUD DEL CLIENTE ANTE EL ESTUDIO GEOTÉCNICO

Aun cuando, día a día, la ingeniería de suelos y fundaciones ha venido adquiriendo la importancia que merece, y se han ido cristalizando esfuerzos en cuanto a la normatividad de su práctica (NSR-98), aún subsisten actitudes negativas ante la necesidad y obligatoriedad del estudio geotécnico.

He aquí algunos casos típicos de la conducta anterior:

- Desacuerdo entre el propietario, el ingeniero proyectista o constructor, y el ingeniero de suelos en cuanto al número y profundidad de las prospecciones y en general de la investigación.

A veces este último propone una exploración consistente en cuatro perforaciones de 10 metros de profundidad, resultado de considerar la magnitud de las cargas de la estructura y el conocimiento del área, obtenido en otros trabajos. El constructor, proyectista o propietario, con un sentido de economía mal entendido, pregunta por qué han de ser 4 perforaciones de 10 metros y no 2 de 8 metros de profundidad.

Esta actitud contrasta con la relación entre un médico y su paciente. Si el médico requiere de cinco exámenes para poder formular su diagnóstico, el paciente no se atreverá a decirle que sólo le practique tres para disminuir los costos.

- En ocasiones, un ingeniero diseña un edificio asumiendo 2 kg/cm^2 como capacidad portante admisible del suelo de apoyo; posteriormente, y con el ánimo de estar tranquilo, o por exigencias de entidades vinculadas al proyecto, emprende la investigación del sitio y los resultados recomiendan dimensionar los cimientos con 1 kg/cm^2 .

La reacción es casi siempre de sorpresa, al no poder, según el estudio, usar una resistencia mayor a la que él hubiese utilizado de no haber ejecutado la investigación.

Es decir, en estos casos se tiene la noción de que el objeto último del estudio no es tener la seguridad de

construir una fundación adecuada, sino obtener economía, en comparación con un presupuesto arbitrario, como si la sola investigación tuviese la virtud de mejorar las condiciones del suelo de fundación.

- Otro caso típico y exasperante es el del propietario proyectista, y a veces ingeniero, que se acerca a un ingeniero de suelos solicitándole una investigación de suelos para «sacar la licencia o permiso de construcción», con lo cual da a entender que en realidad no cree necesaria la investigación, pero la requiere como requisito legal indispensable.

Esta actitud constituye un irrespeto a la jerarquía científica del ingeniero de suelos, como también a la importancia de su labor dentro de las actividades humanas y un desestímulo a su superación profesional.

Afortunadamente, las situaciones anteriores son cada vez menos frecuentes, y el ingeniero de suelos y fundaciones ha venido adquiriendo la importancia debida en el contexto municipal, regional y nacional.

7. IMPLICACIONES SOCIALES

Las actitudes anteriores, la poca atención al cumplimiento de la reglamentación sobre la necesidad y contenido de los estudios geotécnicos, adicionados con procedimientos de construcción defectuosos y falta de supervisión idónea, han sido motivo en el pasado re-

ciente de situaciones de traumatismos sociales.

Casos como el ocurrido en el barrio Las Terrazas, en la Cárcel del Bosque, en la carretera de la Cordialidad y en varias urbanizaciones de tipo popular son algunos ejemplos locales de la interminable lista de grandes implicaciones sociales derivadas de ausencia parcial o total de estudios geotécnicos.

Es frecuente ver la utilización de los medios de comunicación, suspensión de cancelación de cuotas, procesos judiciales y tantos otros mecanismos de defensa disponibles por parte de los damnificados.

Otro aspecto de gran repercusión social y que, desde luego, debe verse bajo un ángulo diferente, lo constituyen las construcciones sub-normales en zonas de invasión o en los denominados «cinturones de pobreza» que circundan la mayoría de nuestras ciudades. En estas situaciones, el tributo que deben pagar los moradores por la ausencia de estudios geotécnicos es a menudo bastante alto, y en algunos casos, la pérdida de vidas humanas.

Ante esta problemática se hace imperativo una posición firme de las entidades estatales y privadas que de una u otra forma estén relacionadas con proyectos de obras civiles.

CONCLUSIONES

De las consideraciones anteriores se

desprenden algunas conclusiones sobre la necesidad y utilidad de los estudios geotécnicos en todas las obras apoyadas sobre el suelo o roca de la corteza terrestre:

- Siempre se deben adelantar estudios geotécnicos para construcción de edificaciones dedicadas a vivienda, comercio o industria de cualquier magnitud, obras de movimiento de tierra (excavaciones y terraplenes), estructuras de retención, puentes, viaductos, muelles, presas, estructuras subterráneas, diques, pavimentos, pisos industriales, y en general de cualquier obra que modifique el entorno donde se localice.
- El estudio geotécnico puede ser de carácter preliminar o definitivo. En el primero, se trata de evaluar el terreno para determinar la factibilidad de ejecutar una obra o conocer sus características geológicas o realizar zonificación de calidad de suelos; el estudio geotécnico a nivel definitivo se ejecuta con fines de diseño y construcción.
- La magnitud y contenido del estudio geotécnico depende de la importancia y disposición de la cimentación de la obra, de la complejidad de las condiciones del suelo y de la información existente sobre el comportamiento de cimentaciones en suelos similares.
- Los estudios geotécnicos permiten obtener seguridad razonable en

conocimientos sobre los siguientes aspectos:

- Determinar la estratigrafía y las características geotécnicas del subsuelo y estimar su comportamiento mecánico bajo las cargas del proyecto.
- Hacer estimativo sobre el tipo y la magnitud de los asentamientos que ha de experimentar la obra y definir las necesidades para controlarlos.
- Investigar potenciales cambios en las condiciones naturales o particulares, tales como expansión, contracciones, dispersividad, colapsabilidad y de las causas de dichos cambios y sus consecuencias.
- Analizar las alternativas de cimentación factibles, teniendo en consideración la seguridad, variabilidad técnica, proceso constructivo y comportamiento en el tiempo.
- Recomendar los parámetros geotécnicos necesarios para el diseño de obras complementarias, como drenajes, muros de contención, pavimentos, etc.
- Promover las bases para la programación, el diseño, determinación del presupuesto y la elaboración de especificaciones técnicas y contractuales de construcción.
- Obtener las bases para las recomendaciones del diseño sísmico en virtud de la aplicación de las Normas Co-

lombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes, Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998.

- El estudio geotécnico, para cualquier obra de ingeniería, representa seguridad, tranquilidad de conciencia, control de calidad, control de ejecución del proyecto, y un porcentaje de economía en el costo de construcción, que en muchos casos, por no generalizar, sobrepasa el valor del programa de estudios.
- Finalmente, más que una conclusión, una recomendación a las entidades oficiales y privadas, con especial énfasis a las corporaciones financieras de proyectos, a los constructores, arquitectos e ingenieros, y en general a todos los estamentos relacionados con obras civiles para que no solamente ejecuten los estudios, sino que le concedan la importancia que tienen en obras de ingeniería, sea cual fuere su magnitud.

Bibliografía

1. SZECHY, C. *Fallas en Fundación*.
2. V Jornadas Geotécnicas. Sociedad Colombiana de Ingeniería. Santafé de Bogotá, octubre de 1990.
3. VI Jornadas Geotécnicas. Sociedad Colombiana de Ingeniería. Santafé de Bogotá, octubre de 1992.
4. ARRIETA G., Aquiles. El estudio geotécnico en proyectos básicos vivienda de bajo costo. Sociedad Colombiana de Ingeniería, mayo de 1988.
5. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes. Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998.