

# INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA GEOTÉCNICA

Traducción realizada por el Ing. Ricardo Rubén Padilla Velázquez, de una parte del Capítulo 1 del libro *An Introduction to Geotechnical Engineering*, de los autores: Robert D. Holtz y William D. Kovacs.

## 1.1. INGENIERÍA GEOTÉCNICA.

La *Ingeniería Geotécnica*, como su nombre lo indica, se refiere a la aplicación de la tecnología de la Ingeniería Civil al manejo de los materiales térreos de la corteza del planeta. Usualmente, el ingeniero geotécnico se ocupa de estudiar sólo los materiales naturales que se encuentran en o cerca de la superficie de la tierra. Los ingenieros civiles denominan a estos materiales térreos como *suelo y roca*. *El suelo*, en el sentido ingenieril, es un aglomerado de minerales, materia orgánica y sedimentos, relativamente sin cohesión depositado sobre el lecho de roca. Los suelos se pueden romper o disgregar fácilmente, debido a sus constituyentes minerales o partículas orgánicas. *Las rocas* por el contrario, tienen alta resistencia debido a cohesión interna y fuerzas moleculares, que mantienen unidos a sus granos minerales constituyentes. Esto es cierto, tanto si la roca constituye una estructura masiva firme, como aquella que forma una partícula de grava embebida en un suelo arcilloso.

La frontera que divide a los suelos de las rocas es arbitraria, y muchos materiales naturales que puede uno encontrar en la práctica profesional no son fácilmente clasificables. En ocasiones, se llega a hablar de *rocas muy blandas* o de *suelos muy duros*. Otras disciplinas científicas e ingenieriles tienen diferentes criterios para definir la diferencia entre suelos y rocas. En geología, por ejemplo, se entiende como *roca* a todos los materiales apoyados en la corteza de la tierra, independientemente de cuantas partículas minerales están reunidas por diversas ligas. Los suelos para los geólogos son precisamente rocas descompuestas y desintegradas generalmente apoyadas en la parte superficial más delgada de la corteza y capaz de sustentar la vida superficial. En forma similar, la pedología (ciencia del suelo) y la agronomía coinciden en estudiar las capas más superficiales del suelo, es decir, aquellos materiales de interés en actividades agrícolas y forestales.

Los ingenieros geotécnicos pueden aprender mucho, tanto de la geología como de la pedología. Ambas ciencias, especialmente la ingeniería geológica, son auxiliares importantes para el ingeniero geotécnico y existe un considerable traslape entre estos campos. Sin embargo, las diferencias de terminología, aproximación al sujeto de estudio y objetivos, puede causar alguna confusión, especialmente para los principiantes.

La ingeniería geotécnica tiene diversos aspectos o énfasis. *La mecánica de suelos* es la rama de la ingeniería geotécnica que se ocupa de la ingeniería mecánica y las propiedades de los suelos, mientras que *la mecánica de rocas* se ocupa de la ingeniería mecánica y las propiedades de las rocas, usualmente pero no necesariamente del lecho rocoso. La mecánica de suelos aplica los principios básicos de la mecánica, que incluye cinemática, dinámica, mecánica de fluidos y mecánica de materiales a los suelos. En otras palabras, el suelo, preferentemente al agua, el acero, o el concreto, por ejemplo, ahora la ingeniería de materiales llega a ser aquello cuyas propiedades y comportamiento debemos comprender, con el fin de construir cosas con ésta. Se puede hacer un comentario similar respecto a mecánica de rocas.

Finalmente, se debe hacer notar que existen diferencias significativas entre el comportamiento de las masas de suelo y las masas de roca, y en principio no hay mucho traslape entre ambas disciplinas.

*La ingeniería de cimentaciones* aplica los conocimientos de la geología, mecánica de suelos, mecánica de rocas, e ingeniería estructural, para posibilitar el diseño y la construcción de cimentaciones en obras de ingeniería civil y otro tipo de estructuras. La ingeniería de cimentaciones debe ser capaz de predecir el comportamiento o la respuesta del suelo o roca donde se cimienta, debido a las cargas que impone la estructura. Algunos ejemplos del tipo de problemas que encara la ingeniería de cimentaciones, incluye el diseño de las cimentaciones para industrias, comercios, edificios residenciales, y otros tipos como estructuras de apoyo para torres de radar; así como las cimentaciones para instalaciones petroleras como en el caso de tanques y estructuras fuera de costa. Los barcos deben contar con un dique seco durante la construcción o para fines de reparación, de modo que dicho dique debe contar con una cimentación. El apoyo de los cohetes y las estructuras pertinentes durante su construcción y lanzamiento conducen a problemas muy interesantes y desafiantes. Los problemas a que se enfrenta la ingeniería geotécnica en lo que se ha comentado, incluye la estabilidad de taludes naturales y excavados, la estabilidad de las estructuras de retención permanentes o temporales, los problemas de construcción, el control del movimiento y las presiones del agua, así como el mantenimiento y rehabilitación de viejos edificios. La cimentación no solo debe resistir con seguridad las cargas estáticas de la construcción y estructuras, sino que debe resistir también en forma adecuada las cargas dinámicas debidas a vientos, sismos, etc.

Si usted piensa acerca de esto, llegará a la conclusión de que es imposible diseñar o construir cualquier estructura de ingeniería civil, sin considerar finalmente la cimentación en suelos y en rocas con alguna extensión; y esta es una verdad, tanto si la estructura se construye en la tierra o si se hace en un ambiente extraterrestre. El desempeño, la economía, y la seguridad de cualquier estructura de ingeniería civil, finalmente estará afectada o se puede controlar en función de su cimentación.

Los materiales térreos se utilizan frecuentemente como materiales de construcción, debido a que son los materiales de construcción más baratos posibles. Sin embargo, sus propiedades ingenieriles como pueden ser resistencia y compresibilidad en condiciones naturales son frecuentemente malas. En muchas ocasiones se deben tomar medidas para densificar, aumentar la resistencia, o por otra parte estabilizar y armar a los suelos, de modo que se desempeñen satisfactoriamente en condiciones de servicio.

Los terraplenes para carreteras y vías férreas, los campos de aviación, las presas de tierra y enrocamiento, los diques, y los acueductos, son ejemplos de estructuras de tierra (materiales térreos); y el ingeniero geotécnico es el responsable de su diseño y construcción. La seguridad de las presas y la rehabilitación de presas viejas son aspectos importantes de esta área de la ingeniería geotécnica. Igualmente emparentado, especialmente para ingenieros en carreteras y campos de aviación, está el diseño del pavimento, el cual es la última capa superficial de la estructura de tierra. En este caso final, el traslape entre las ingenierías de transporte y geotécnica en más bien aparente.

*La ingeniería de rocas*, análoga para las rocas a lo que es la ingeniería de cimentaciones para los suelos, se encarga del estudio de las rocas como cimentación y como material de construcción. Debido a que la superficie de la tierra está en su mayor parte cubierta por suelo o agua, la ingeniería de rocas usualmente se aplica a obras bajo la superficie (túneles, casas de

máquinas subterráneas, cavidades para depósitos de petróleo, minas, etc.). Sin embargo, algunas veces la ingeniería de rocas se aplica en obras superficiales, como es el caso de la construcción y cimentación de presas apoyadas en el lecho rocoso, excavaciones profundas en el lecho rocoso, la estabilidad de taludes de roca, etc.

Esta presentación pretende mostrar los problemas típicos a los que se enfrenta el ingeniero geotécnico, que como se puede ver, primeramente, se trata de un campo muy amplio, y en segundo lugar, lo importante que resulta para el correcto diseño y construcción de estructuras en ingeniería civil. En verdad, se puede decir que la ingeniería geotécnica combina las ciencias físicas básicas, la geología y la pedología, con las ingenierías hidráulica, estructural, de transporte, de construcción y de minas.

## **1.2. LA NATURALEZA ÚNICA DE LOS SUELOS Y LAS ROCAS COMO MATERIALES.**

La ingeniería geotécnica es altamente empírica, y es quizá más cercana a un *arte* que las otras disciplinas que forman la ingeniería civil. Lo anterior se debe básicamente a que los suelos y rocas son materiales naturales. Frecuentemente se encuentran en estos materiales altas variaciones, entre puntos que pueden tener separaciones de hasta unos cuantos milímetros. Otra forma de expresar esto, es que los suelos son materiales *heterogéneos* antes que *homogéneos*. Es decir, que el material o las propiedades ingenieriles pueden variar ampliamente de un punto a otro en el interior de una masa de suelo. Además, los suelos en general son materiales *no lineales*, es decir, las relaciones entre esfuerzos y deformaciones no son una línea recta. También, para complicar más las cosas, los suelos son materiales *no conservativos*; esto quiere decir que tienen una memoria fantástica (recuerdan casi todo aquello que les ha sucedido, y este hecho afecta fuertemente su comportamiento ingenieril). En lugar de ser *isotrópicos*, los suelos son típicamente *anisotrópicos*, lo que quiere decir que sus propiedades materiales o ingenieriles no son las mismas en direcciones diferentes.

Muchas de las teorías de que disponemos para modelar el comportamiento mecánico de los materiales que se usan en ingeniería, suponen que los materiales son homogéneos e isotrópicos; y que además obedecen a leyes esfuerzo-deformación lineales. Los materiales de ingeniería comunes, como el acero y el concreto, no se desvían en forma significativa de esos ideales, por lo que se pueden usar teorías lineales simples, con discreción, para predecir su respuesta para cargas de ingeniería. Con los suelos y las rocas no somos tan afortunados. Como podrá usted ver en sus estudios de ingeniería geotécnica, debemos suponer en muchos casos una respuesta esfuerzo-deformación lineal, pero para calcular adecuadamente se deben aplicar grandes correcciones empíricas o factores de *seguridad* a nuestros diseños, para calcular el comportamiento real del material.

Por otra parte, el comportamiento mecánico de los suelos y las rocas *in situ*, está frecuentemente gobernado o controlado por juntas, fracturas, estratos y zonas débiles, y otros *defectos* en el material. Esta razón impide modelar exitosamente estos materiales en el laboratorio. Esta es la razón por la que la ingeniería geotécnica es realmente un *arte*, antes que una ciencia de la ingeniería. El éxito de la ingeniería geotécnica depende del buen juicio y la experiencia del diseñador, constructor, o consultor. Por otra parte, el éxito del ingeniero geotécnico consiste en desarrollar un cierto *tacto* sobre el comportamiento de los suelos y las rocas, para más adelante poder diseñar una cimentación en forma segura y económica, o construir con seguridad una estructura de ingeniería.