

***GRUPO 1. Norma Técnica sobre descriptores de
las características geotécnicas del terreno.***

(REVISIÓN 2)

CONTENIDO.

1. EXPOSICIÓN DE MOTIVOS.
2. ANTECEDENTES. MARCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.
3. GENERALIDADES
4. DESCRIPTORES GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS DEL TERRENO.
 - 4.1. Naturaleza y estructura geológica del terreno
 - 4.2. Condiciones hidrogeológicas
 - Nivel freático: sus variaciones.
 - Permeabilidad y transmisividad
 - Niveles freáticos colgados
5. DESCRIPTORES DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO.
 - 5.1. Descriptores geotécnicos generales
 - 5.1.1. Caracterización del tipo de suelo y roca
 - 5.1.2. Resistencia del terreno
 - 5.1.3. Deformabilidad.
 - Consolidación.
 - Expansividad.
 - Colapsabilidad.
 - 5.2. Descriptores geotécnicos particulares
 - 5.2.1. Agresividad al hormigón
 - 5.2.2. Oquedades. Karstificación.
 - 5.2.3. Compactabilidad
 - 5.2.4. Contenido en materia orgánica.
 - 5.2.5. Radon, contaminación de suelos.

2. ANTECEDENTES. MARCO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.

El territorio de la Comunidad de Madrid, desde el punto de vista litológico, puede dividirse en dos grandes dominios:

- El **zócalo hercínico**, aflorante en una banda paralela al límite occidental de la Región (desde el suroeste hasta el vértice norte), constituido por rocas graníticas y metamórficas.
- La **cuenca de sedimentación miocena**, que ocupa el resto del territorio y que está formada por rocas sedimentarias, incluyendo varios tipos de estas, desde detríticas hasta de precipitación química (evaporitas).

Por otra parte, el gran desarrollo urbano y de las infraestructuras de la Comunidad de Madrid ha producido una **modificación antrópica** sustancial de la composición del terreno superficial, a lo largo de los últimos siglos, con la aparición de escombreras y rellenos en prácticamente todas las zonas periurbanas.

Estas modificaciones antrópicas a menudo también incluyen **cambios en el drenaje natural** de las aguas de escorrentía y subterráneas.

En función de estos datos, se pueden definir para el territorio de la Comunidad de Madrid los siguientes tipos de terrenos con características geotécnicas diferenciadas:

I. ROCAS		II. SUELOS	
IA	Granitos y Neises	IIA	Consolidados detríticos (sedimentos miocenos y eluviales)
IB	Pizarras y Esquistos	IIB	Consolidados arcillosos (miocenos)
IC	Calizas	IIC	No consolidados (aluviales)
ID	Areniscas, Margas	IID	Rellenos antrópicos
IE	Yesos		

A su vez, cada uno de estos tipos geotécnicos de terrenos pueden ser matizados y subdivididos en función de particularidades del cada emplazamiento, pero, básicamente,

son tipos de terrenos de comportamiento geotécnico muy homogéneo y en los que las características geotécnicas que permiten su identificación y definición (“descriptores”) son particulares de cada uno.

3. GENERALIDADES

Las propiedades del suelo, de las rocas y de los macizos rocosos se cuantifican mediante parámetros geotécnicos que se usan en los cálculos de proyecto. Estos se establecen a partir de los resultados de los ensayos de campo y laboratorio y de otros datos de importancia.

En los siguientes capítulos, que tratan sobre la evaluación de los parámetros geotécnicos, solamente se hace referencia a los ensayos de laboratorio y campo más utilizados. Se pueden utilizar otros ensayos siempre que se haya demostrado su adecuación mediante experiencia comparable.

Con objeto de establecer valores seguros de los parámetros geotécnicos, se deben considerar los puntos siguientes:

- muchos parámetros del suelo no son constantes, sino que dependen de distintos factores como el nivel tensional, el modo de deformación, etc.
- los programas de ensayos deben incluir un número suficiente de ensayos que proporcionen datos sobre el valor y variaciones de los distintos parámetros que son importantes para el proyecto.
- se debe dar mayor importancia a los resultados de pruebas de campo a gran escala que a los datos de laboratorio.
- siempre que se disponga de ellas, se deben comprobar las correlaciones entre los resultados de más de un tipo de ensayo.

4. DESCRIPTORES GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS DEL TERRENO.

4.1. Naturaleza y estructura geológica del terreno.

4.2. Condiciones hidrogeológicas.

- ***Nivel freático: sus variaciones.***

Definición

El nivel freático o el nivel piezométrico (dependiendo del entorno hidrogeológico en el que nos encontremos) es la cota, altura o profundidad, a la que llega el agua subterránea en un punto concreto.

Investigación y cálculo

Se investiga mediante catas o sondeos. En el caso de estos últimos, se utiliza una sonda para detectar la presencia de agua y medir su profundidad respecto a la boca de la perforación. La medida debe hacerse suficientemente espaciada en el tiempo como para garantizar que el agua utilizada en la perforación se ha disipado.

Además de su medición puntual, hay que definir su estabilidad en el tiempo y su oscilación (estacional).

Aplicación

Siempre que se realice un sondeo o una calicata debe medirse el nivel freático. En el caso de estas últimas, se debe también estimar el caudal de agua aparente.

- ***Permeabilidad y transmisividad.***

Definición

Investigación y cálculo

Las medidas de permeabilidad hechas sobre muestras de laboratorio pequeñas pueden no ser representativas de las condiciones in-situ. Por tanto, siempre que sea posible, se deben preferir los ensayos in-situ que miden las propiedades de grandes volúmenes de terreno de forma promediada. Sin embargo, se deben tener en cuenta los posibles cambios en la permeabilidad debidos a los incrementos de las tensiones efectivas sobre el valor in-situ. Algunas veces, la permeabilidad se puede evaluar en base al conocimiento del tamaño de los granos del terreno y de su distribución.

Los ensayos Lefranc se aplican a sondeos en ejecución que tienen que ser entubados durante el avance (materiales no consolidados de arenas, gravas, etc.). La zona filtrante son los 50 cm del sondeo que se dejan descubiertos (si conviene se rellenan de grava gruesa para evitar derrumbes). Pueden también aplicarse a un piezómetro puntual o de rejilla corta. Los resultados obtenidos solo son válidos en un entorno muy reducido del punto investigado. No obstante la simplicidad de ejecución permite su repetición en varios puntos de una misma zona.

El ensayo Lugeon se aplica sobre rocas fisuradas. Es adecuado para rocas muy poco permeables. Si la roca es muy permeable o presenta tramos muy permeables, la pérdida de carga de circulación por la tubería enmascara la presión real de inyección, y no es raro encontrar casos en que con la bomba de inyección disponible no es posible dar presión, o a veces ni siquiera llenar la tubería. El ensayo se efectúa registrando los caudales enviados por medio de una bomba a presiones escalonadas que se mantienen constantes durante períodos de 10 minutos. Estos períodos se aplican en tramos de 5 m de profundidad con la ayuda de un obturador. El ensayo se comienza inyectando agua a 0 Kplcrn2 y finalmente a 10 Kp/cm² con esta última presión se registra el caudal.

- ***Niveles freáticos colgados.***

5. DESCRIPTORES DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL TERRENO.

A continuación se enumeran y describen todos los parámetros, características y circunstancias que deben ser contemplados en el estudio geotécnico de un terreno y cuyo cálculo y/o medición debe figurar en el informe que se redacte.

5.1. Descriptores geotécnicos generales.

5.1.1. Caracterización del tipo de suelo y roca.

Se debe identificar el carácter y los componentes básicos del suelo o de la roca antes de interpretar los resultados de otros ensayos. Para ello se debe reconocer el material de forma visual y describirlo de acuerdo con una nomenclatura reconocida. Se debe hacer una evaluación geológica.

Además de la inspección visual mencionada anteriormente, se pueden utilizar las siguientes propiedades a efectos de identificación:

para suelos:

- curva granulométrica
- forma de los granos
- rugosidad de la superficie de los granos
- densidad relativa
- peso unitario
- humedad natural
- límites de Atterberg
- contenido de carbonatos
- contenido de materia orgánica

para rocas:

- mineralogía
- petrografía
- humedad
- peso unitario
- porosidad

- velocidad de propagación de las ondas sónicas
- absorción rápida de agua
- hinchamiento
- índice de alterabilidad al agua
- resistencia a la compresión simple¹

Al evaluar la calidad y las propiedades de las rocas y de los macizos rocosos, se debe distinguir entre el comportamiento del material rocoso observado en muestras y el comportamiento de masas rocosas mucho mayores que incluyen discontinuidades estructurales tales como planos de estratificación, juntas, zonas de cizalla y cavidades formadas por disolución. Se deben tener en cuenta las siguientes características de las juntas:

- espaciamiento
- orientación
- apertura
- persistencia (continuidad)
- impermeabilidad
- rugosidad, incluyendo los efectos de movimientos previos de las juntas
- relleno

Además, al evaluar las propiedades de las rocas y de los macizos rocosos, se deben tener en cuenta los siguientes puntos, si tienen importancia:

- tensiones in-situ
- presiones de agua
- variaciones importantes de las propiedades en los diferentes estratos

La calidad de la roca se puede cuantificar mediante un índice de calidad de roca (RQD), que es un indicador del macizo rocoso desde el punto de vista ingenieril.

La estimación de las propiedades de la roca como un todo, tales como la resistencia y la deformabilidad, se puede obtener a partir de las clasificaciones geomecánicas desarrolladas originalmente en relación con la ingeniería de túneles.

¹ La resistencia obtenida en los ensayos de compresión simple permite realizar una clasificación de las rocas, pero también se pueden usar procedimientos de ensayo más simples como el ensayo de carga puntual.

Se debe evaluar la sensibilidad de las rocas al clima, a los cambios tensionales, etc. También se deben considerar las consecuencias de la degradación química sobre el comportamiento de las cimentaciones sobre roca.

Al evaluar la calidad de las rocas y de los macizos rocosos, habrían de considerarse las siguientes características:

- ❑ algunas rocas porosas blandas se degradan rápidamente a suelos de baja resistencia, especialmente si están expuestas a los efectos de la meteorización
- ❑ algunas rocas presentan índices altos de solubilidad debidos al agua del terreno, formándose canales, cavernas, subsidencias que se pueden manifestar en superficie
- ❑ al descargarse y exponerse al aire, ciertas rocas experimentan un hinchamiento pronunciado debido a la absorción de agua por parte de los minerales arcillosos.

5.1.2. Resistencia del terreno

Definición

Es práctica habitual el tratar de otorgar un valor de capacidad portante a cada tipo de terreno que se investiga, si bien hay que señalar que en realidad es un valor no constante, ya que, además del tipo de terreno, depende del tipo, forma y tamaño de la cimentación que se proyecte. Es decir, un mismo tipo de terreno puede tener diferente valor de capacidad portante si esta se calcula para una zapata cuadrada o para una circular, por ejemplo.

Se mide en kilogramos por centímetro cuadrado. Es muy importante especificar el valor de factor de seguridad con el que se ha calculado este parámetro para evitar interpretaciones erróneas.

Investigación y cálculo

Se puede obtener su valor o calcular este por varios métodos:

- A partir de ensayos in situ. Se puede obtener de forma directa, mediante ensayos de penetración dinámica y de carga sobre placa, o de forma indirecta, obteniendo los parámetros resistentes del terreno mediante la correlación del ensayo SPT con valores de ángulo de fricción (sólo en suelos predominantemente granulares) o mediante el ensayo de molinete (en suelos cohesivos).
- A partir de ensayos de laboratorio. Sobre muestras inalteradas de sondeos pueden realizarse varios tipos de ensayos de cuyos resultados se puede obtener, mediante cálculos, la capacidad portante del terreno. Los ensayos mas usuales son:
 - Compresión simple.
 - Corte directo
 - Triaxial

Aplicación

Se trata de un descriptor que debe ser siempre calculado y justificado su cálculo mediante investigaciones y ensayos específicos en todos los estudios geotécnicos

Clasificaciones

Tipo de terreno	Valor típico (kg/cm²)
Roca sana	50 - 2.000
Roca alterada	5 - 10
Suelos firmes y densos	5 - 10
Suelos flojos	1 - 3

5.1.3. Deformabilidad

Al evaluar la deformabilidad del suelo, se deben considerar las condiciones siguientes:

- las condiciones de drenaje
- el nivel de tensión efectiva media
- el nivel de las deformaciones tangenciales impuestas o de las tensiones tangenciales inducidas, estas últimas normalizadas frecuentemente con respecto a la resistencia al corte en rotura
- la historia tensional y deformacional

Estos factores son los más importantes en el control de la deformabilidad de los suelos. Otros factores que influyen en el módulo de deformación de los suelos y que se pueden tener en cuenta son:

- la dirección de las tensiones del suelo con respecto a la orientación de las tensiones principales de consolidación
- los efectos del tiempo y de la velocidad de deformación
- el tamaño de la muestra ensayada en relación al tamaño de las partículas y a las características de la macrofábrica del suelo

A menudo es muy difícil obtener medidas fiables de la deformabilidad del terreno a partir de ensayos de campo o de laboratorio. En particular, debido a alteraciones de la muestra y a otros efectos, las medidas obtenidas de los ensayos de laboratorio subestiman frecuentemente la rigidez del terreno in-situ. Por tanto, se recomienda un análisis de las observaciones sobre el comportamiento de construcciones previas.

Es conveniente en algunas ocasiones suponer una relación lineal o logarítmico-normal entre las tensiones y las deformaciones dentro de un rango limitado de cambio de tensiones. Sin embargo, esto siempre se debe hacer con cuidado ya que el comportamiento real del terreno es, generalmente y de forma significativa, no lineal.

Consolidación.

Definición

Se entiende como consolidación de un material la deformación o reducción de tamaño que sufre cuando es sometido a una carga. Suele ser debida a reajustes entre las

partículas que forman la estructura del suelo, con el resultado de la expulsión del agua que ocupa los poros y reducción del tamaño de estos.

La consolidación del suelo produce asentamientos en las cimentaciones. Estos asentamientos pueden producirse más o menos rápidamente en función de la granulometría y de la facilidad con la que puede escapar el agua intersticial. Los suelos arcillosos asientan más y más lentamente que los arenosos.

Investigación y cálculo

La medida de la compresibilidad de un suelo se realiza mediante el ensayo de consolidación en edómetro. Se trata de un ensayo de laboratorio que debe realizarse sobre una muestra inalterada tomada en sondeo. Es un ensayo que suele tardar varios días e incluso semanas en realizarse, ya que es necesario aplicar varios escalones de carga y de descarga a la muestra para ir construyendo la gráfica carga/índice de poros.

A partir de las características de la gráfica obtenida en el ensayo se obtiene el Índice de Compresión (C_c), parámetro directamente relacionado con la magnitud de los asentamientos y que, por tanto, sirve para el cálculo de los mismos.

Aplicación

En todos los estudios geotécnicos de cimentaciones en suelos debe realizarse un cálculo de asentamientos basado en ensayos edométricos realizados ad-hoc o usando los datos de estudios cercanos que el especialista geotécnico estime representativos. También pueden obtenerse datos sobre la compresibilidad del suelo a partir de correlaciones con los límites de plasticidad, si bien es recomendable realizar algunos ensayos edométricos de contraste.

En cimentaciones en roca los asentamientos se verán controlados por los módulos elásticos de la misma y/o por las características del relleno de las fracturas (si existe).

Clasificaciones

Tipo de terreno	Valor de Cc	Clasificación
Arcillas duras	0.03 – 0.09	Poco compresibles
Arcillas medias	0.09 – 0.15	Moderadamente compresibles
Arcillas blandas	0.15 – 0.30	Muy compresibles

Expansividad

Definición

Es una característica de determinados tipos de arcillas, que se manifiesta con cambios de volumen al modificarse las condiciones de humedad del terreno. Los cambios de volumen pueden afectar de manera muy negativa a las cimentaciones si estas no han sido diseñadas para “absorber” estas deformaciones del terreno o quedar al margen de sus efectos.

Investigación y cálculo

Son diversos los ensayos a partir de los que se puede conocer la expansividad o potencial expansivo de un terreno, pudiendo agruparlos en directos e indirectos.

Ensayos directos: edométrico, Lambe,

Ensayos indirectos: correlaciones entre granulometría y límites de plasticidad

Siempre es conveniente el realizar al menos un ensayo directo por cada tipo de terreno investigado para poder comparar con los resultados obtenidos a partir de los ensayos indirectos.

Como en el anterior caso, es necesario evaluar el riesgo de un emplazamiento teniendo en cuenta varios factores simultáneos, como son:

- La expansividad del terreno
- El espesor del estrato o capa expansiva
- La cota del nivel freático y su oscilación (magnitud y frecuencia).
- El tipo de proyecto: de edificación, pavimentación, saneamiento y drenaje, etc.

Aplicación

En Madrid, las arcillas expansivas se localizan en determinadas zonas, fundamentalmente en los dominios de IIB (suelos arcillosos consolidados) y IE (yesos).

Clasificaciones

Tipo de terreno	Valor		Clasificación
	% hinchamiento	Presión hinchamiento	
	> 10%	> 3 kg/cm ²	muy expansivo
	4-10%	1.25 - 3 kg/cm ²	alto
	1-4%	0.3-1.25 kg/cm ²	moderado
	< 1%	< 0.3 kg/cm ²	no crítico

Colapsabilidad

Definición

La colapsabilidad es la tendencia que puede tener un terreno a reducir su volumen de forma rápida (colapso). Este fenómeno sucede en determinados tipos de suelos, como son los de granulometría tipo limo y los que pueden perder parte de sus componentes por lavado de finos (rellenos) o por disolución (yesos).

Investigación y cálculo

La colapsabilidad de un suelo se puede investigar a partir del ensayo de laboratorio del mismo nombre. Éste reproduce el efecto de una saturación súbita del terreno cuando está sometido a una carga de magnitud prefijada.

Además de este ensayo de laboratorio específico, es necesario realizar una estimación profesionalizada del emplazamiento y tener en cuenta varios factores como son:

- Antigüedad del terreno (y consolidación)
- Cota del nivel freático. Oscilaciones.
- Tipo de cimentación a construir.

Aplicación

En suelos naturales poco consolidados, rellenos y terrenos solubles (IE, IIB, IIC y IID) es necesario estudiar su colapsabilidad de cara a poder diseñar las medidas correctoras en el proyecto de cimentación.

5.2. Descriptores geotécnicos particulares.

5.2.1. Agresividad al hormigón.

Definición

La agresividad de un suelo o de las aguas intersticiales presentes en él depende directamente de su composición química, fundamentalmente de su contenido en sulfatos solubles. Es un factor que puede condicionar la durabilidad de los elementos de hormigón, si a este no se le añade ningún aditivo que lo evite.

Investigación y cálculo

Se suele realizar un ensayo en muestras de suelo de contenido en sulfatos, cualitativo o cuantitativo. También es conveniente tomar una muestra de agua en cada sondeo realizado con objeto de analizar su composición química (según anejo 5 de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE)

Aplicación

Debe realizarse al menos un ensayo cualitativo en todo estudio geotécnico, sobre todo en áreas próximas a dominios yesíferos y arcillo-margosos.

5.2.2. Oquedades. Karstificación.

Definición

En determinadas áreas pueden existir, o crearse, huecos en el terreno de apoyo de una cimentación que produzcan su hundimiento total o parcial.

Son los casos de los karst, yesíferos y calcáreos, y de los socavones producidos por lavado de finos.

Investigación y cálculo

La detección de huecos en un emplazamiento debe realizarse en dos fases o etapas.

En la primera etapa, la investigación geológica nos permite conocer la existencia de indicios de oquedades naturales como dolinas, lapiazes, etc. mediante foto aérea, reconocimiento de afloramientos, etc.

Ante evidencias de oquedades en los alrededores, debe planificarse una investigación de detalle orientada a confirmar la existencia de huecos en la zona de la cimentación.

Así, en la segunda etapa, se pueden investigar la existencia de oquedades mediante:

- Geofísica
- Sondeos

En el caso huecos formados por socavaciones posteriores, la investigación debe realizarse mediante sondeos y penetraciones dinámicas, que nos ofrezcan datos sobre la compacidad del terreno, así como un concienzudo estudio granulométrico y composicional.

Aplicación

Los huecos kársticos pueden aparecer en zonas de yesos (IE) y calizas (IC). Los socavones pueden producirse en rellenos antrópicos (IID), aluviales recientes (IIC) y en zonas de circulación de agua subterránea poco profunda.

5.2.3. Compactabilidad.

Para obtener una medida directa de la compactabilidad de un suelo o de un relleno rocoso, se debería realizar un ensayo de compactación de prueba con el tipo de material a emplear, el espesor de la capa de relleno y el tipo de equipo de compactación elegidos.

La densidad obtenida de esa manera se relaciona con los valores de laboratorio obtenidos mediante procedimientos normalizados de compactación (ensayo Proctor) así como con los valores de campo obtenidos con el aparato y el procedimiento de control elegido para el emplazamiento (por ejemplo: ensayos de penetración, ensayos de compactación dinámicos, ensayos de placa de carga, registros de asientos).

Al evaluar la compactabilidad de un material de relleno, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- tipo de suelo o roca
- la curva granulométrica
- la forma de los granos
- la no homogeneidad del material
- el grado de saturación o el porcentaje de humedad
- el tipo de equipo que se va a utilizar

5.2.4. Contenido en materia orgánica.

Es una característica composicional de los suelos que puede influir negativamente en su comportamiento geotécnico a medio plazo, debido a la descomposición que puede sufrir la parte orgánica del suelo, con la consecuente reducción de volumen.

Debe estudiarse en todos aquellos proyectos donde se incluyan rellenos de terraplén y pavimentaciones. Con la investigación del contenido en materia orgánica se podrá decidir si el terreno es apto para su uso como relleno o qué espesor de suelo es necesario retirar antes de construir un apoyo o el firme de pavimentación.

5.2.5. Otros descriptores: presencia de Radon, contaminación de suelos, etc

Se trata de unos parámetros cuya investigación debe realizarse sólo en determinados casos especiales, cuando los antecedentes del emplazamiento así lo aconsejen o cuando el tipo de proyecto requiera su conocimiento.

Presencia de Radon. Este gas se genera en determinados ambientes geológicos, pudiendo afectar negativamente a la salud humana. No es un factor geotécnico sensu

estricto, pero los profesionales que realizan el estudio geotécnico pueden asesorar también en este aspecto.

Existen ya cartografías y estudios que determinan las zonas con riesgo de presencia de radón. En los estudios geotécnicos de edificaciones que incluyan sótanos y que se encuentren dentro de estas zonas de riesgo, se deberá expresar esta eventualidad en el informe.

Contaminación de suelos. A pesar de no ser este un aspecto específicamente geotécnico, sí puede tener una influencia en el comportamiento de la estructura a cimentar o del firme de un vial. En caso de investigar un emplazamiento en una zona industrial o sospechosa de haber podido ser receptora de sustancias contaminantes se deberá incluir este extremo en las descripciones del terreno y, en su caso, realizar las investigaciones complementarias necesarias.