

**GUÍA PARA LA PLANIFICACIÓN Y REALIZACIÓN DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS  
PARA LA EDIFICACIÓN EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CANARIAS**

**GETCAN-011**





## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

#### 0.1 OBJETO

#### 0.2 ANTECEDENTES

#### 0.3 CONTENIDO DE LA GUÍA

### PARTE PRIMERA: ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS ISLAS CANARIAS

#### 1.1. MARCO GEOLÓGICO

#### 1.2. METODOLOGÍA

#### 1.3. UNIDADES GEOTÉCNICAS

##### 1.3.1.Unidad I: COMPLEJOS BASALES.

##### 1.3.2.Unidad II: COLADAS Y MACIZOS SÁLICOS.

##### 1.3.3.Unidad III: MACIZOS BASÁLTICOS ALTERADOS.

##### 1.3.4.Unidad IV: COLADAS BASÁLTICAS SANAS.

##### 1.3.5.Unidad V: MATERIALES PIROCLÁSTICOS.

##### 1.3.6.Unidad VI: MATERIALES BRECHOIDES.

##### 1.3.7.Unidad VII: DEPÓSITOS ALUVIALES Y COLUVIALES.

##### 1.3.8.Unidad VIII: SUELOS ARENOSOS.

##### 1.3.9.Unidad IX: SUELOS ARCILLOSOS Y/O LIMOSOS.

##### 1.3.10. Unidad X: RELLENOS ANTRÓPICOS.

### PARTE SEGUNDA: PLANIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

#### 2.1. OBJETO

#### 2.2. DOCUMENTO DE PLANIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

#### 2.3. RECONOCIMIENTO DEL TERRENO POR FASES

#### 2.4. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

#### 2.5. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

#### 2.6. IDENTIFICACIÓN DE LA UNIDAD GEOTÉCNICA

#### 2.7. ESTUDIO DE LA PARCELA

**2.8. RIESGOS GEOLÓGICOS****2.9. DEFINICIÓN DE LA CAMPAÑA****2.9.1. Trabajos de campo****2.9.2. Ensayos de laboratorio****2.10. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE LA CAMPAÑA****2.10.1. Recomendaciones generales****2.10.2. Recomendaciones para las Unidades I, III y IVb (terrenos T3e, T3h)****2.10.3. Recomendaciones para las Unidades II, IVa (terrenos T1)****2.10.4. Recomendaciones para las Unidades Va, VI (terrenos T2)****2.10.5. Recomendaciones para las Unidades Vb, VII, X (terrenos T3b, T3c, T3f)****2.10.6. Recomendaciones para la Unidad VIII (terrenos T3c)****2.10.7. Recomendaciones para la Unidad IX (terrenos T3j)****2.11. VALORACIÓN Y PLAZO DE EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA****2.12. VALIDACIÓN DE LA CAMPAÑA Y PETICIÓN DE OFERTAS****2.13. AUTOCONTROL DE LA CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO DEL TERRENO****PARTE TERCERA: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS****3.1. ACTAS DE ENSAYO Y TRAZABILIDAD****3.1.1. Localización de puntos de reconocimiento****3.1.2. Identificación y manipulación de muestras****3.1.3. Partes de campo de sondeos****3.1.4. Actas de ensayo****3.2. TRABAJOS DE CAMPO****3.2.1. Sondeos mecánicos****3.2.2. Toma de muestras inalteradas, parafinadas o SPT****3.2.3. Toma de muestras de agua y piezómetros****3.2.4. Ensayos de penetración dinámica continua****3.2.5. Ensayos de penetración estática****3.2.6. Calicatas****3.2.7. Técnicas geofísicas****3.2.8. Trabajos de campo complementarios****3.2.9. Métodos normalizados de ensayo (trabajos de campo)****3.3. ENSAYOS DE LABORATORIO****3.3.1. Ensayos de identificación y estado****3.3.2. Ensayos de resistencia****3.3.3. Ensayos de deformabilidad**



- 3.3.4. Ensayos de expansividad y colapso
- 3.3.5. Ensayos químicos
- 3.3.6. Otros ensayos de laboratorio
- 3.3.7. Métodos normalizados de ensayos
- 3.4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y ROCAS
  - 3.4.1. Clasificación de suelos
  - 3.4.2. Clasificación de rocas

#### **PARTE CUARTA: EL INFORME GEOTÉCNICO**

- 4.1. CONTENIDO DEL INFORME GEOTÉCNICO
  - 4.1.1. Índice de documentos
  - 4.1.2. Antecedentes
  - 4.1.3. Resumen de trabajos realizados
  - 4.1.4. Geología general
  - 4.1.5. Características geológicas y geotécnicas del terreno
  - 4.1.6. Condiciones de cimentación
  - 4.1.7. Resumen y conclusiones
  - 4.1.8. Apéndices o anejos
- 4.2. CONFIRMACIÓN DEL INFORME GEOTÉCNICO

**APÉNDICE 1: CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES VOLCÁNICOS DE LAS ISLAS CANARIAS**

**APÉNDICE 2: PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LOS LITOTIPOS CANARIOS Y CORRELACIONES MÁS SIGNIFICATIVAS**

**APÉNDICE 3: GLOSARIO DE TÉRMINOS APLICADOS A LOS MATERIALES VOLCÁNICOS DE LAS ISLAS CANARIAS**

**APÉNDICE 4: FICHA DE VALIDACIÓN DEL RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO**

**APÉNDICE 5: MODELO DE OFERTA PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO**





## 0. INTRODUCCIÓN

### 0.1. OBJETO

La Guía para la Planificación y la Realización de Estudios Geotécnicos para la Edificación en la Comunidad Autónoma de Canarias es un documento, dirigido a los distintos agentes que intervienen en el proceso edificatorio, donde se articula una metodología adecuada para la planificación de los reconocimientos geotécnicos preceptivos en los proyectos de edificación, así como para la realización de los Estudios Geotécnicos correspondientes, de acuerdo con la normativa vigente y teniendo en cuenta las peculiaridades de los terrenos de las Islas Canarias.

El Estudio Geotécnico deberá contar, de acuerdo a esta Guía, con un contenido suficiente que satisfaga los requerimientos del Projectista y del Director de la Obra para poder proceder al análisis y dimensionado de los cimientos y elementos de contención del edificio.

En esta Guía se explicita la necesaria coordinación entre el autor del Proyecto de Edificación y el autor del Estudio Geotécnico y para ello se articulan los mecanismos de control y validación de las distintas fases que debe llevar el proceso. El Estudio o Informe Geotécnico deberá formar parte del proyecto como uno de sus anejos y la información contenida en él deberá ser tomada en cuenta a efectos de diseño y cálculo de la estructura.

El Director de la Obra es el responsable de verificar el replanteo y la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectada a las características geotécnicas del terreno. El autor del Estudio Geotécnico debe asistir técnicamente al Director de la Obra ante cualquier incidencia que requiera nuevas aclaraciones o interpretaciones relativas al terreno.

Con este documento se facilita y garantiza la adecuada aplicación de los preceptos del Código Técnico de la Edificación (CTE) aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, concretamente los referidos al Documento Básico de Seguridad Estructural: Cimientos (DB SE-C).

El ámbito de aplicación de esta Guía es todo el territorio de la Comunidad Autónoma de Canarias en los términos establecidos en la LOE (Ley de Ordenación de la Edificación) y con las limitaciones que establece el CTE, a las edificaciones públicas y privadas cuyos proyectos precisen disponer de la correspondiente licencia de obras o autorización legalmente exigible.

### 0.2. ANTECEDENTES

La publicación de la Guía para la Planificación y Realización de Estudios Geotécnicos para la Edificación en la Comunidad Autónoma de Canarias forma parte de un plan de proyectos que viene desarrollando la Consejería de Obras Públicas y Transportes del Gobierno de Canarias



desde el año 2002. Este plan consistió, en sus primeras etapas, en la caracterización geotécnica de los materiales volcánicos presentes en Canarias y posteriormente, la información obtenida se empleó para la elaboración de la cartografía geotécnica.

El primero de los proyectos denominado “Estudio de caracterización geotécnica de las rocas volcánicas de las Islas Canarias”, consistió en la elaboración de una base de datos con las propiedades geomecánicas y geoquímicas de todas las formaciones rocosas del Archipiélago, así como de las correlaciones entre los parámetros más empleados en la práctica geotécnica.

El segundo de los proyectos, denominado “Caracterización geotécnica de los piroclastos canarios débilmente cementados”, fue realizado en colaboración con el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento.

Finalmente, para la elaboración de los mapas de zonificación geotécnica del Archipiélago se ha empleado como base la cartografía geológica digital del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) a escala 1:25.000, suministrada por Cartográfica de Canarias, S.A. (GRAFCAN). En este sentido, tomando como base las trazas cartográficas de las distintas unidades geológicas de la cartografía del IGME, se establecieron un conjunto de unidades geotécnicas integrando dentro de las mismas una o varias unidades geológicas.

### 0.3. CONTENIDO DE LA GUÍA

Para facilitar el manejo de la Guía se ha organizado su contenido en cinco partes atendiendo al interés que cada una de ellas pueda despertar en los usuarios del documento.

Parte 1ª: Zonificación geotécnica de las Islas Canarias. En esta parte se introduce la metodología y criterios empleados para realizar la zonificación del territorio insular en unidades geotécnicas de comportamiento geomecánico similar. Se han considerado, con las limitaciones que la escala y naturaleza de los materiales permiten, áreas de comportamiento geotécnico más o menos homogéneo que, a efectos de planificación del reconocimiento geotécnico, tendrán un tratamiento similar. Estas unidades geotécnicas han sido a su vez clasificadas dentro de los grupos de terreno que define el DB SE-C del CTE.

Parte 2ª. Planificación de la campaña de reconocimiento del terreno. Es el conjunto de actividades destinadas a determinar las características del terreno, cuyos resultados quedarán reflejados en el Estudio Geotécnico. En esta parte se establece la intensidad y alcance del reconocimiento geotécnico de acuerdo con los preceptos recogidos en el capítulo 3 “Estudio Geotécnico” del DB SE-C del CTE y teniendo en cuenta las singularidades del territorio insular.

Parte 3ª. Especificaciones técnicas de Estudios Geotécnicos. Recoge las especificaciones mínimas de las actuaciones o métodos a emplear en el desarrollo de la campaña de reconocimiento del terreno y de los ensayos de laboratorio. Recoge la normativa a emplear en cada caso conforme a la normativa estatal (CTE).



Parte 4ª. El Informe Geotécnico. Es el compendio de información respecto de las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica, que es necesario para proceder al análisis y dimensionado de los cimientos de los edificios a proyectar y de sus obras anejas.

Finalmente, se incluyen los siguientes apéndices:

- Apéndice 1 “Clasificación de los materiales volcánicos de las Islas Canarias”
- Apéndice 2 “Parámetros geotécnicos de los litotipos canarios y correlaciones más significativas”
- Apéndice 3 “Glosario de términos aplicados a los materiales volcánicos de las Islas Canarias”.
- Apéndice 4 “Fichas de validación del reconocimiento geotécnico”.
- Apéndice 5 “Modelo de oferta para la realización del Estudio Geotécnico”.



## PARTE 1ª

### ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS ISLAS CANARIAS

#### 1.1. MARCO GEOLÓGICO

La geología de todo el Archipiélago Canario está dominada prácticamente en su totalidad por una sucesión de materiales y estructuras volcánicas. Secuencias de emisiones lávicas, así como de depósitos piroclásticos de composición muy variable, configuran un paisaje muy singular dentro del territorio nacional pero que, a nivel regional, presenta contrastes extremos desde el punto de vista litológico, medioambiental, paisajístico e incluso meteorológico.

Toda la actividad volcánica efusiva de las Islas Canarias ha llevado a la construcción y crecimiento subaéreo del archipiélago, de forma que, actualmente, se encuentran en superficie, bien edificios volcánicos muy recientes, correspondientes a los últimos eventos volcánicos o bien escudos volcánicos y materiales muy antiguos y en general muy alterados de los cuales hoy queda visible una mínima parte de los que fueron en el Mioceno-Plioceno, es decir, hace unos cinco millones de años. Este es el caso de los macizos más antiguos de las distintas islas cuya antigüedad se puede inducir de los profundos y cerrados barrancos excavados por la continua erosión y que, al no haber sido rellenados por emisiones volcánicas más recientes, presentan una morfología en forma de agudas crestas, fondos de barranco muy profundos y angostos y laderas con pendientes que, en ocasiones, se aproximan a la verticalidad.

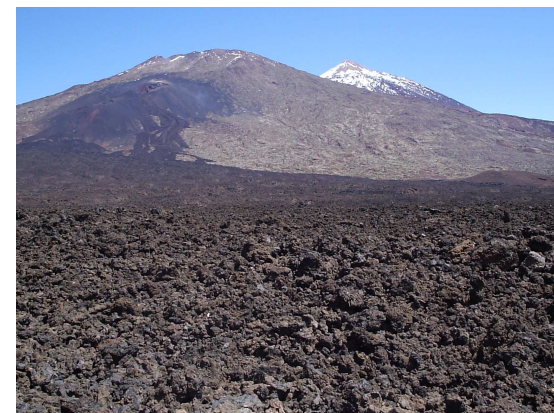
Las **manifestaciones lávicas**, independientemente del nivel volcanoestratigráfico al que pertenezcan, se clasifican en tres tipos fundamentales:

1. Coladas lávicas con superficies denominadas en la literatura científica como “pahoehoe”. Forman asentamientos de superficie muy suave y a veces modelada en forma de pliegues, denominadas lavas cordadas o en tripas, en alusión al aspecto de su superficie. Este tipo de estructuras, en Canarias aparecen asociadas a emisiones lávicas de composición basáltica y se forman bajo una combinación de baja viscosidad y bajo régimen de emisión. Con frecuencia, llevan asociadas una red sublávica de túneles o tubos volcánicos de dimensiones muy variadas y cuya existencia tiene importantes implicaciones en proyectos de construcción o edificación.



*Imagen 1.1 Lava cordada*

2. Coladas lávicas con superficies denominadas como “aa” y más conocidas en el ámbito local de Canarias como *malpaíses*. En principio este tipo de estructuras se caracteriza por presentar unas superficies muy irregulares, agudas, cortantes y en general muy caóticas, por las cuales resulta extremadamente difícil caminar. En las Islas Canarias, los malpaíses son mucho más abundantes que las superficies de tipo “pahoehoe”. Los malpaíses canarios están siempre ligados a pequeños edificios volcánicos denominados conos de cinder o volcanes estrombolianos; edificios con bases circulares del orden de 500 a 1000 metros de diámetro y alturas en el rango de 200-500 metros.



*Imagen 1.2. Lava escoriácea*

3. Coladas en bloques. Si los dos casos anteriores son propios de lavas de composición basáltica, este tipo de estructuras aparece asociada a lavas de composición traquítica o fonolítica. Uno de los ejemplos más espectaculares de este tipo de superficies lávicas puede observarse en la carretera del Portillo de la Villa a la estación del Teleférico del Teide, en la cual unas potentes coladas obsidiánicas de composición traquítica muestran toda su superficie atormentada y fragmentada en grandes bloques caóticos de varios metros cúbicos cada uno.



*Imagen 1.3 Lava en bloques*

Los **depósitos piroclásticos** se clasifican, en función de las condiciones en que la columna eruptiva interacciona con la atmósfera, el grado de explosividad y la composición del magma, en tres tipos.





*Imagen 1.4. Pómez de caída (ash fall)*

1. Depósitos plinianos. Formados a partir de columnas eruptivas estables o columnas plinianas, en las cuales las partículas de pómez son eyectadas a elevada altitud y posteriormente arrastradas, dispersadas por el viento y depositadas posteriormente en el terreno en forma de lluvia piroclástica. En este caso se originan depósitos de lluvia piroclástica o “ash fall”. En ellos los fragmentos de pómez están sueltos y el depósito en conjunto carece de toda solidez y no presenta ninguna consistencia, ni resistencia alguna a la aplicación de esfuerzos sobre el mismo, sin la ayuda de agentes compactantes.

2. Depósitos de ignimbritas. Formados a partir de columnas eruptivas gravitatoriamente inestables o vulcanianas. En este caso, la columna eruptiva sufre un colapso parcial o total de la misma, generándose una nube ardiente de elevada densidad de partículas con una masa interna en la que, las partículas de pómez y cenizas mezcladas de forma caótica, son mantenidas en suspensión por la masa de gases. Durante la

formación de las ignimbritas, pueden producirse, debido a una elevada temperatura en el depósito, procesos de deformación y soldadura en los fragmentos de pómez y del resto de partículas de origen magmático en el depósito, en cuyo caso se forman unas texturas en flamas, por su aspecto de llamas, propias de las ignimbritas soldadas. En consecuencia y como resumen, existen dos tipos de ignimbritas: a) ignimbritas no soldadas y b) ignimbritas soldadas (ignimbritas con textura eutaxítica), presentando estas últimas unas propiedades geotécnicas en general superiores a las de las ignimbritas no soldadas.



*Imagen 1.5. Ignimbrita soldada*



*Imagen 1.6. Ignimbrita no soldada*



3. Conos de cínder. Muy abundantes en la geografía insular, se forman en erupciones estrombolianas y de forma similar a los de lluvia piroclástica; los fragmentos de magma son expulsados por el volcán en pequeñas explosiones y depositados muy cerca del cráter, de manera que se va acumulando a su alrededor una montaña de piroclastos que constituye por sí misma el volcán estromboliano o cono de cínder. Al contrario que los piroclastos de las erupciones plinianas (de composición traquítica o fonolítica), éstos tienen composición basáltica y son conocidos en la terminología local como picón, jable o zahorra.



*Imagen 1.7. Piroclastos basálticos (picón)*

Todos estos materiales configuran un paisaje en el que las variaciones geológicas se reflejan a su vez en espectaculares contrastes paisajísticos. De manera muy generalizada destacan a vista de pájaro los paisajes de los macizos antiguos con relieve dominado por agudas crestas, divisorias afiladas, altas pendientes topográficas y barrancos muy profundos, en contraste con los relieves más suavizados y de pendiente topográfica menos acusada que caracterizan a los macizos recientes.

## 1.2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el proyecto de zonificación geotécnica, se ha procedido a realizar una parcelación a escala 1:25000 del Archipiélago Canario en áreas de características litológico-geotécnicas similares, que permite establecer, en cada unidad/unidades geotécnicas, los criterios mínimos a contemplar en el reconocimiento o investigación geotécnica. De esta forma, y en función de las características de la construcción y de los problemas geotécnicos asociados a cada unidad geotécnica diferenciada, se propondrán los reconocimientos mínimos exigibles en cada caso.

Las propiedades litológicas de los terrenos canarios son muy conocidas por los numerosos estudios geológicos que se han realizado en las islas, que han dado como fruto una extensa bibliografía y la cartografía geológica de todo su territorio. Esto contrasta de manera significativa con una literatura muy escasa en lo que se refiere a propiedades geotécnicas de los materiales canarios, debido, en parte, a la singularidad de las formaciones geológicas de las Islas Canarias que, en muchos casos, no permite extrapolar los estudios realizados en otras partes del territorio peninsular y, en parte también, al ámbito privado y disperso de la información existente.

Por este motivo se llevó a cabo, como primera fase del desarrollo de la Guía, una caracterización geotécnica básica de aquellos materiales canarios de los que no se disponía de información suficiente. Los datos obtenidos en esos estudios, junto con la información geotécnica previa



recogida a partir de datos dispersos pertenecientes al dominio privado y cedidos para este trabajo, ha permitido establecer una variedad representativa de litotipos comunes al conjunto del Archipiélago Canario (Apéndice 1), cada uno de los cuales con unas características petrológicas y geotécnicas propias. Además, para estos litotipos volcánicos, se obtuvieron correlaciones de los parámetros físico-mecánicos más empleados por los técnicos autores de los estudios geotécnicos (Apéndice 2).

### 1.3. UNIDADES GEOTÉCNICAS

Dado que en las Islas Canarias, tanto la litología como la edad de las formaciones rocosas condicionan de manera directa o indirecta el comportamiento geotécnico de los materiales, se ha procedido a dividir las diferentes superficies territoriales de cada una de las siete islas, en base a la combinación de dichos criterios litológicos y geocronológicos, en diez unidades geotécnicas. Estas presentan, en su conjunto, una homogeneidad suficiente para su delimitación cartográfica, para su asimilación a los grupos de terrenos contemplados en el CTE y para el establecimiento de los criterios mínimos referidos a la planificación de la campaña geotécnica.

**Tabla 1.1. Grupos de terreno**

Grupo	Descripción	
<b>T-1</b>	<b>Terrenos favorables:</b> Aquellos con poca variabilidad, y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación directa mediante elementos aislados.	
<b>T-2</b>	<b>Terrenos intermedios:</b> Los que presentan variabilidad, o que en la zona no siempre se recurre a la misma solución de cimentación, o en los que se puede suponer que tienen rellenos antrópicos de cierta relevancia, aunque probablemente no superen los 3,0 m.	
<b>T-3</b>	<b>Terrenos desfavorables:</b> Los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores. De forma especial se considerarán en este grupo los siguientes terrenos: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Suelos expansivos</li> <li>b) Suelos colapsables</li> <li>c) Suelos blandos o sueltos</li> <li>d) Terrenos kársticos en yesos o calizas</li> <li>e) Terrenos variables en cuanto a composición y estado</li> <li>f) Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m</li> <li>g) Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos</li> <li>h) Rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades</li> <li>i) Terrenos con desnivel superior a 15º</li> <li>j) Suelos residuales</li> <li>k) Terrenos de marismas</li> </ul>	





Los grupos de terrenos que contempla el CTE para la programación del reconocimiento del terreno, se recogen en el capítulo 3 “Estudio Geotécnico”, del Documento Básico de Seguridad Estructural-Cimientos (DB SE-C) y son los que figuran en la tabla 1.1.

En la tabla 1.2., ubicada al final de este apartado, se pueden observar las correlaciones que se han establecido entre los tres tipos, y los subtipos dentro de los terrenos T-3, establecidos en el CTE y las diversas Unidades y Subunidades Geotécnicas, que se presentan en el Archipiélago Canario. Están identificadas en la cartografía geotécnica insular, que acompaña a esta Guía y se definen a continuación.

### 1.3.1. Unidad I: COMPLEJOS BASALES.

Considerados como las raíces de los primitivos edificios volcánicos, afloran en extensiones significativas en las islas de La Palma, La Gomera, Fuerteventura y de manera más incipiente en el Norte de Anaga (Tenerife).

Los Complejos Basales de las Islas Canarias están representados por sedimentos Cretácicos, lavas submarinas y rocas plutónicas (gabros y sienitas). Este conjunto está atravesado por multitud de diques con una densidad de intrusión tan elevada que frecuentemente no dejan rastro de la roca encajante. Es habitual que presenten un alto grado de alteración por lo que los materiales rocosos son deleznales y de difícil reconocimiento. Todo ello les confiere características de roca blanda y fracturada, presentando generalmente valores del  $RMR_b^{(1)}$  menores a 40. Se consideran terrenos T3.



*Imagen 1.8. Lavas submarinas*

Los problemas geotécnicos propios de esta unidad son los siguientes:

- Alta heterogeneidad, tanto en vertical como en horizontal.
- Materiales muy alterados, de baja resistencia y alta deformabilidad.
- Áreas de relieve abrupto y tectonizado. Inestabilidades puntuales o desprendimientos.
- Necesidad de estudios de estabilidad de ladera específicos.
- Existencia de recubrimientos superficiales (naturales o antrópicos).

(1)  $RMR_b$  : Índice RMR básico, utilizado para la caracterización geomecánica atendiendo a los criterios dados por Bieniawski (1989), sin penalizar por la orientación de las discontinuidades con respecto a la obra que se desea acometer. Los valores que se ofrecen se deben considerar como órdenes de magnitud, a expensas de los levantamientos geomecánicos específicos que se realicen en cada emplazamiento, con este o con otros criterios.



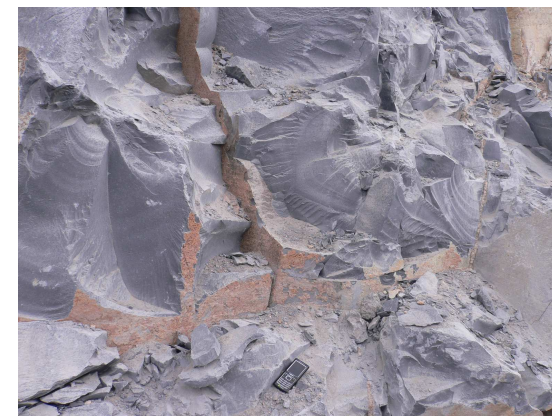
### 1.3.2. Unidad II: COLADAS Y MACIZOS SÁLICOS

Esta unidad constituida por materiales rocosos altamente resistentes, aparece en dos formas de afloramiento:



*Imagen 1.9. Domo sálico.*

- 1) Como coladas de gran espesor, habitualmente con disposición horizontal o como paquetes tabulares gruesos con pendientes no muy pronunciadas y gran extensión horizontal. En ocasiones, estos paquetes pueden estar formados por brechas muy compactas de fragmentos de naturaleza igualmente sálica
- 2) Como domos, a modo de macizos rocosos de grandes dimensiones verticales enraizados en el subsuelo y de extensión horizontal más limitada. En cualquier caso, las características geotécnicas de ambos tipos de afloramiento se consideran, a efectos prácticos, similares por lo que procede considerarlos como una misma unidad geotécnica.



*Imagen 1.10. Detalle de colada fonolítica*

Ambos son coladas o macizos de composición traquítica o fonolítica, en general de moderada a alta capacidad portante con características de roca dura y valores de  $RMR_b$  comprendidos entre 75 a 90. **Se consideran terrenos T1.**

Los problemas geotécnicos más habituales son los siguientes:

- Alteración superficial que puede ser localmente importante.
- Posibles asientos diferenciales debidos a heterogeneidad litológica

### 1.3.3. Unidad III: MACIZOS BASÁLTICOS ALTERADOS

Formada por coladas basálticas de pequeño espesor (en torno a 1 m o inferior) y alteración moderada a alta. La peculiaridad destacable de las coladas basálticas es que se manifiestan como una alternancia vertical de niveles de compacto basáltico (roca basáltica) y niveles de escorias (material granular). Estos depósitos se caracterizan por la alternancia de niveles de roca basáltica intercalados con niveles escoriáceos de autobrecha.



Además, en estos macizos alterados aparecen también intercalados mantos piroclásticos y frecuentes zonas rubefactadas, denominadas “almagres”, que en ocasiones corresponden a niveles de paleosuelos que han sido calcinados por el calor de la colada suprayacente. Generalmente presentan buzamientos que pueden variar entre 10° a 30°.

La presencia de niveles escoriáceos intercalados produce una gran heterogeneidad, ya que provocan alternancias tanto vertical como horizontalmente. En términos generales, los niveles escoriáceos suelen comportarse como un suelo granular poco o nada compacto si bien, estas características se desvanecen en los materiales de la unidad III debido a los avanzados estados de alteración, con la consiguiente impermeabilización y formación de materiales arcillosos que implicarían problemas adicionales entre los que cabe mencionar expansividad, elevada deformabilidad e inestabilidades de ladera.

Es frecuente además, la existencia de cavernas debido a la circulación de agua y la ya mencionada baja compactación.

Son rocas blandas y se extienden mayoritariamente en las áreas de afloramiento de las Series o Ciclos I, Series Antiguas o Ciclos Antiguos (fases de formación de grandes escudos volcánicos en los comienzos del volcanismo subaéreo de las Islas Canarias). Suelen presentar en superficie valores de  $RMR_b$  comprendidos entre 40 a 60. **Se consideran terrenos T3.**



*Imagen 1.11. Detalle de basaltos alterados*

Los problemas geotécnicos que pueden afectar a las condiciones de cimentación en esta unidad son, entre otros, los siguientes:

- Baja resistencia y elevada deformabilidad en situaciones de elevada alteración local.
- Inestabilidades puntuales en zonas próximas o adyacentes a relieves montañosos de pendiente moderada a alta. En general fuertes abarrancamientos.
- Asientos diferenciales por afloramiento de diferentes unidades.
- Intercalación de niveles de suelos plásticos y expansivos.
- Presencia de cavernas.
- Asientos de consolidación en medios arcillosos, especialmente en zonas con desarrollo de grandes espesores de suelo sobre coladas basálticas extremadamente alteradas.





### 1.3.4. Unidad IV: COLADAS BASÁLTICAS SANAS

En esta unidad se recogen las coladas basálticas que conservan su estructura original debido a su escaso estado de alteración, por lo que se pueden distinguir los tipos “pahoehoe” y “aa”.

Las lavas “pahoehoe” se caracterizan por tener una superficie lisa y ondulada, aunque en detalle aparecen con formas similares a vísceras o cuerdas entrelazadas y corrugadas. Internamente es de destacar la presencia de gran número de vacuolas o pequeños huecos más o menos esféricos que les otorgan gran porosidad. Debido a este hecho, han sido usadas tradicionalmente en las Islas Canarias para fabricar molinos de cereal y son conocidas vulgarmente como “risco molinero”. Sin embargo, el detalle interno más destacable es la presencia de túneles o tubos volcánicos que pueden alcanzar kilómetros de longitud y diámetros de varios metros, así como moldes de árboles que fueron arrollados por la colada. En las prospecciones que se realizan sobre estos materiales suele ocurrir que no sean detectados estos tubos volcánicos, lo que no significa que no existan.

Las lavas “aa” o lavas escoriáceas se forman con magmas algo más viscosos que las lavas “pahoehoe”, fluyen más lentamente y adquieren un aspecto totalmente distinto. La superficie es extremadamente rugosa o incluso espinosa, por lo que localmente se conocen como “malpaís”. El avance de la lava se realiza como el de las cadenas de una oruga, de forma que la superficie escoriácea ya enfriada se desploma delante del frente de la colada en movimiento y es recubierta por el interior todavía fundido que avanza. Por ello, la sección vertical de una lava “aa” consiste en una banda central de roca densa surcada por una red de diaclasas o fisuras formadas por retracción al enfriarse y solidificar el fundido, limitada abajo y arriba por dos franjas escoriáceas irregulares. Cuando hay un apilamiento de varias lavas “aa”, las escorias de techo se unen con las de la base de la colada situada inmediatamente encima, resultando una alternancia de bandas densas (basalto) y bandas escoriáceas (autobrecha). El efecto visual puede resultar engañoso y llevar a pensar que sólo son lavas las bandas densas y que los niveles escoriáceos tienen otro origen.

Entre estos dos tipos extremos de lavas (“pahoehoe” y “aa”) existen un importante grupo de términos intermedios que se denominan lavas de transición.

Al igual que en el caso de la unidad III, la presencia de niveles escoriáceos intercalados produce una gran heterogeneidad ya que provocan alternancias tanto vertical como horizontalmente. Estos niveles escoriáceos, que en esta unidad aparecen poco alterados, se comportan como suelos granulares poco compactos lo que junto con la existencia de cavernas reduce considerablemente la calidad de los macizos rocosos. Pertenecen a las series o ciclos volcánicos II, III o IV.

Los niveles masivos de roca basáltica, en general presentan capacidad portante alta con valores de RMRb comprendidos entre 60 y 85. Sin embargo, los niveles escoriáceos pueden presentar baja capacidad portante y gran deformabilidad, si las escorias están sueltas y sin matriz y capacidad



Imagen 1.12. Coladas basálticas sanas (IVa)



portante moderada y poca deformabilidad si se encuentran soldadas o con matriz con cierto grado de cementación.

Por tanto, atendiendo a la tasa efusiva, viscosidad del magma, contenido en gases, pendiente del terreno, etc., estas coladas basálticas pueden dar como producto final materiales que presentan gran variabilidad en cuanto a composición y estado, por lo que es necesario el estudio de cada emplazamiento en particular. Así, a efectos de planificación del reconocimiento geotécnico, esta Guía considera que en esta unidad se pueden reconocer dos subunidades:



Imagen 1.13. Coladas basálticas "pahoehoe"

- **IVa.** En esta subunidad quedan incluidas las coladas basálticas de tipo "aa", que presentan espesores de compacto basáltico sano iguales o superiores a 2 m, conservando su continuidad lateral en toda la parcela, con niveles escoriáceos inferiores a 0.5m, ausencia de cavidades y una pendiente del terreno inferior a 15°. **Se consideran terrenos T1.**
- **IVb.** En esta subunidad se incluyen las coladas basálticas "pahoehoe" y coladas "aa" con espesores de compacto basáltico sano inferiores a 2 m, niveles escoriáceos intercalados y/o presencia de cavidades. **Se consideran terrenos T3.**



Imagen 1.14. Coladas basálticas "aa" (IVb)

Los problemas geotécnicos que pueden afectar a las condiciones de cimentación en esta subunidad (IVb) son, entre otros, los siguientes:

- Asientos diferenciales debidos a la presencia de materiales rocosos duros próximos a materiales granulares de alta deformabilidad.
- Posible presencia de oquedades debido a la existencia de tubos volcánicos y dificultad para su detección.
- Existencia de niveles escoriáceos con parámetros geotécnicos muy desfavorables intercalados entre los materiales masivos más resistentes.
- Los niveles escoriáceos presentan gran complejidad y dificultad para su caracterización geotécnica.
- Inestabilidades de laderas naturales o de taludes excavados, como consecuencia de la presencia de niveles escoriáceos sueltos, que pueden producir desplomes de los niveles masivos por erosión diferencial.
- Hundimientos y colapsos.



### 1.3.5. Unidad V: MATERIALES PIROCLÁSTICOS

Está formada por extensiones de depósitos piroclásticos de composición indiferenciada. Se forman cuando los fragmentos de magma caen y se depositan en las inmediaciones del foco de emisión. Las potencias y buzamientos tienen relación con la disposición de la topografía sobre la que se han depositado en el momento de la erupción. La erosión determina también variaciones en los espesores originales.

Se clasifican según el tamaño y la composición. Los basálticos de pequeño tamaño se denominan lapillis o picón (entre 2 y 15-20 mm); los de mayor tamaño reciben el nombre genérico de escorias, que en algunos casos adquieren formas redondeadas al girar en el aire (bombas); los traquíticos y/o fonolíticos, más ligeros, claros y porosos, constituyen los depósitos de pómez. Los denominados conos de cinder están formados por depósitos mixtos, desde el punto de vista granulométrico, predominantemente escoriáceos. Se acumulan alrededor de la chimenea eruptiva construyendo los conos volcánicos, también conocidos como conos de “tefra”. Localmente estos materiales pueden estar cementados y entonces reciben en nombre genérico de “tobas”.

Esta unidad puede subdividirse a su vez en dos:

- **Va.** Ignimbritas y tobas: Se trata de rocas duras o semiduras. Se corresponden con depósitos piroclásticos pumíticos o cineríticos muy compactos, tales como ignimbritas con o sin textura eutaxítica o cineritas compactas. Esta variedad de materiales se origina cuando una masa de productos piroclásticos es transportada en forma de dispersión de gas y de alta o moderada densidad de partículas; el resultado es un material con características de roca más o menos dura, con un grado de compacidad y/o cementación variable. Durante su formación han cubierto las depresiones topográficas existentes en el momento de la erupción. Es el caso de las ignimbritas soldadas, que se asemejan más a un flujo lávico que a un depósito piroclástico. A las ignimbritas no soldadas, de tonalidades blancoamarillentas y con contenidos apreciables de pómez, se les conoce localmente con el nombre de “toba”, al igual que los piroclastos de proyección aérea cementados. También se les conoce como “tosca”. Presentan en superficie valores de  $RMR_b$  comprendidos entre 60 a 75. **Se consideran terrenos T2.**
- **Vb.** Materiales piroclásticos sueltos o débilmente cementados: No compactos y fácilmente colapsables. Se forman cuando los fragmentos de magma caen y se depositan en las inmediaciones del centro eruptivo. Los de mayor tamaño reciben el nombre genérico de escorias, que en algunos casos adquieren formas redondeadas al girar en el aire (bombas); los traquíticos



Imagen 1.15. Ignimbrita (Va).



Imagen 1.16. Depósitos piroclásticos sueltos (Vb).





y/o fonolíticos, más ligeros, claros y porosos, constituyen los depósitos de pómez, también conocidos como depósitos plinianos o de lluvia piroclástica. Por tanto se trata de depósitos piroclásticos de baja densidad, con pesos específicos aparentes secos medios habituales entre 7 y 13 kN/m<sup>3</sup>. Presentan valores de RMR<sub>b</sub> comprendidos entre 0 a 25. **Se consideran terrenos T3.**

Los problemas geotécnicos más habituales de estos materiales son los siguientes:

- Resistencia variable, desde media a alta resistencia y baja deformabilidad (Va), a baja resistencia y elevada deformabilidad (Vb).
- Colapsabilidad mecánica (Vb).
- Asientos diferenciales.
- Presencia de niveles orgánicos que pueden incrementar la cuantía y duración de los asentamientos.
- Moderada expansividad. Este es un factor a considerar con mayor detenimiento en los niveles piroclásticos del tipo T3, especialmente si los procesos de alteración producen localmente niveles arcillosos.

### 1.3.6. Unidad VI: MATERIALES BRECHOIDES

Esta unidad está asociada a episodios eruptivos violentos de alta explosividad, en ocasiones relacionados con procesos de colapso de caldera o bien con fenómenos de deslizamientos gravitacionales en masa. Su resultado final es una masa caótica y brechoide formada por bloques de naturaleza diversa, en general muy angulosos, con gran variación de tamaño de los mismos englobados en una matriz fina más o menos cementada y ocasionalmente muy dura. Forman paquetes de grandes espesores (hasta cientos de metros) y presentan pendientes poco pronunciadas de brechas compactas y caóticas de naturaleza mono o polimíctica.

En esta unidad se incluirían brechas tales como la de Roque Nublo (Gran Canaria) o el Mortalón (brecha asociada a los grandes deslizamientos del Valle de Icod en Tenerife) y los afloramientos sálicos brechoides o aglomeráticos. Pueden presentar características de roca dura y en algunos casos semidura. Presentan valores de RMR<sub>b</sub> comprendidos entre 60 y 75. **Se consideran terrenos de tipo T2.**



*Imagen 1.17. Brecha Roque Nublo*

Los problemas geotécnicos potenciales a tener en consideración son los siguientes:

- Inestabilidades de laderas naturales o taludes excavados.



- Agresividad de aguas freáticas.
- Asientos debidos a la compresibilidad de niveles orgánicos o con abundante materia orgánica.

### 1.3.7. Unidad VII: DEPÓSITOS ALUVIALES Y COLUVIALES

Los depósitos aluviales son sedimentos fluviales poco o nada consolidados. Están constituidos por gravas, arenas, limos y arcillas. Estos depósitos tienden a extenderse a lo largo del curso bajo de los ríos, formando llanuras aluviales y deltas, en terrenos con muy bajas pendientes.

Los depósitos coluviales son formaciones sedimentarias con un grado de consolidación muy variable, situadas a base de laderas montañosas, en los que las partículas son transportadas por gravedad bien como material suelto o por sedimentación a partir de aguas no canalizadas. Se caracterizan por presentar escasa o nula granoselección, con clastos angulares y matriz arcillosa. Son materiales porosos y compresibles. Habitualmente presentan movimiento muy lento con signos notables de inestabilidad debido a que en ocasiones la pendiente supera la de equilibrio.

Tanto en el caso de los depósitos aluviales como coluviales, la matriz de naturaleza detrítica (limosa o arcillosa) puede ser abundante o estar ausente. **En conjunto, son terrenos blandos o sueltos de tipo T3.**



Imagen 1.18. Depósitos aluviales

Los problemas geotécnicos que pueden afectar a las condiciones de cimentación en esta unidad son, entre otros, los siguientes:

- Moderada y baja resistencia, asociada a deformabilidad moderada a alta.
- Inestabilidades puntuales en zonas próximas a relieves montañosos de pendiente moderada a alta. Ligeros abarrancamientos.
- Asientos diferenciales.
- Asientos por consolidación en términos arcillosos. Asientos de colapso.
- Moderada expansividad de los niveles arcillosos.



Imagen 1.19. Depósitos coluviales





### 1.3.8. Unidad VIII: SUELOS ARENOSOS

Esta unidad está constituida en su mayoría por depósitos de playa de arena suelta oscura de naturaleza basáltica o arena clara de naturaleza silíceo o calcárea, en extensiones o acumulaciones por transporte y sedimentación marina o eólica (formaciones de dunas). Aparecen a lo largo de la línea de costa o en sus proximidades, así como en las desembocaduras de los principales barrancos. También se pueden encontrar, de mucha menor entidad, depósitos de arenas intercalados entre coladas, que indican periodos de inactividad volcánica. Todos ellos tienen baja a muy baja capacidad portante. **Son terrenos blandos o sueltos tipo T3.**

La presencia del nivel freático provoca, debido a la naturaleza detrítica y suelta de los terrenos, unas condiciones de estabilidad de zanjas o excavaciones muy deficientes (taludes inestables) y una necesidad de drenaje de las mismas.

Otros problemas geotécnicos posibles a tener en consideración son:

- Baja resistencia y alta deformabilidad.
- Agresividad de las aguas freáticas.
- Asientos debidos a la compresibilidad de niveles orgánicos o con abundante materia orgánica.
- Capacidad portante baja y colapsable por inundación.
- Problemas de inestabilidad de taludes durante las excavaciones.



*Imagen 1.20. Arenas litorales.*

### 1.3.9. Unidad IX: SUELOS ARCILLOSOS Y/O LIMOSOS

Esta constituido por suelos residuales y sedimentos lacustres de naturaleza fundamentalmente arcillosa y/o limosa. Se forman bien en el fondo de cuencas lacustres cerradas o semicerradas por sedimentación de detritos finos o muy finos de tamaño arcilla, o bien asociados a la intensa alteración superficial del material rocoso hasta la formación de capas de suelos que en ocasiones pueden alcanzar espesores de varios metros. En ambos casos, el material resultante suele tener naturaleza limosa o arcillosa. **En general son suelos blandos tipo T3.**

Los problemas geotécnicos más habituales de estas unidades son los siguientes:

- Baja resistencia y alta deformabilidad.
- Asientos debidos a la compresibilidad de niveles orgánicos o con abundante materia orgánica. Asientos de colapso en las facies más limosas.
- Fenómenos de hinchamiento o expansividad motivados por cambios de humedad del terreno.



*Imagen 1.21. Suelos arcillosos.*



### 1.3.10. Unidad X: RELLENOS ANTRÓPICOS

Bajo esta denominación se incluyen los depósitos colocados por la acción del hombre, en general sin control alguno, de origen muy variado, debidos a movimientos de tierras asociados a la construcción de vías de comunicación, de edificaciones, de canteras tanto activas como abandonadas, explanadas para infraestructuras, etc. La naturaleza de estos depósitos es muy diversa y en ocasiones depende de la finalidad para la que fueron destinados. En términos generales se pueden asimilar a sedimentos heterométricos, con bolos y bloques angulosos a subangulosos y abundantes finos en la matriz (arenas y limos). En determinadas circunstancias pueden contener materiales de reciclaje y residuos de la actividad humana. Constituyen una de las amenazas más importantes para el buen comportamiento de las cimentaciones.

**Se definen como terrenos blandos tipo T3**, no aptos para cimentar edificios salvo que se realice las mejoras o refuerzos que incrementen sus propiedades, tal y como se establece en el Art. 8 del DB SE-C.

Los problemas geotécnicos más habituales de estas unidades son los siguientes:

- Baja resistencia y elevada y muy elevada deformabilidad a corto y largo plazo.
- Debido a la elevada heterogeneidad que presentan, plantean un problema añadido a la hora de definir sus características geotécnicas. Su comportamiento es muy diferenciado y da lugar a asentamientos a largo plazo.
- Grados de compactación muy bajos o inexistentes.
- Riesgos de colapsos, combustión espontánea, emanación de gases, agresividad química, etc.

Todo Estudio Geotécnico deberá contar con una manifestación particular y explícita de la existencia o no de rellenos antrópicos en la superficie de la parcela estudiada y en las testificaciones de los sondeos, para así definir su tratamiento o bien recomendar su eliminación en el caso de existir bajo el plano de cimentación previsto.

A continuación se incluye un cuadro resumen en el que se recoge la equivalencia entre las Unidades Geotécnicas diferenciadas en la presente Guía y los grupos de terrenos definidos en el CTE.



Tabla 1.2. Unidades Geotécnicas

Unidad	Subunidad	Terreno CTE
<b>Unidad I:</b> Complejos basales		<b>T3</b>
<b>Unidad II:</b> Coladas y macizos sálicos		<b>T1</b>
<b>Unidad III:</b> Macizos basálticos alterados		<b>T3</b>
<b>Unidad IV:</b> Coladas basálticas sanas	<b>IVa:</b> Coladas “aa” poco escoriáceas	<b>T1</b>
	<b>IVb:</b> Coladas “pahoehoe” y “aa” muy escoriáceas	<b>T3</b>
<b>Unidad V:</b> Materiales piroclásticos	<b>Va:</b> Ignimbritas y tobas	<b>T2</b>
	<b>Vb:</b> Depósitos piroclásticos sueltos o débilmente cementados	<b>T3</b>
<b>Unidad VI:</b> Materiales brechoides		<b>T2</b>
<b>Unidad VII:</b> Depósitos aluviales y coluviales		<b>T3</b>
<b>Unidad VIII:</b> Suelos arenosos		<b>T3</b>
<b>Unidad IX:</b> Suelos arcillosos y/o limosos		<b>T3</b>
<b>Unidad X:</b> Rellenos antrópicos		<b>T3</b>



## PARTE 2ª

### PLANIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO DEL TERRENO.

#### 2.1. OBJETO

Antes de abordar la campaña de Reconocimiento del Terreno es necesario redactar el ***Documento de Planificación de la Campaña de Reconocimiento del Terreno*** en el que se recogerán los datos mínimos necesarios para definir la campaña de investigación correspondiente.

#### 2.2. DOCUMENTO DE PLANIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

La redacción del Documento de Planificación de la Campaña de Reconocimiento del Terreno (a partir de ahora “Documento de Planificación”) la realizará el Técnico Autor del Estudio Geotécnico, en estrecha colaboración con el Proyectista o, en su caso, por el Director de la Obra.

El Proyectista ha de validar el reconocimiento geotécnico planificado mediante su firma en la ficha correspondiente (que figura en el Apéndice 4 de esta Guía) y que ha de ser incluida en *el Documento de Planificación*.

El Documento de Planificación se incorporará al Estudio Geotécnico y deberá contener, al menos, la siguiente información:

- La identificación del proyecto, del solar y de los agentes intervinientes.
- La descripción del edificio a ejecutar indicando, el orden de magnitud de las cargas que transmiten al terreno los elementos estructurales así como su distribución en la parcela, información que deberá ser aportada por el Proyectista.
- La identificación, de la Unidad o Unidades Geotécnicas previsibles sobre las que se sitúa el edificio, relacionando los problemas geotécnicos inherentes a ellas.
- La descripción de cada uno de los problemas que conlleva la implantación del edificio en la parcela como consecuencia de las peculiaridades del terreno, de los posibles riesgos geológicos que afecten al área estudiada y de las construcciones e infraestructuras limítrofes.
- El diseño de la campaña de reconocimiento del terreno en la que se deben definir los sistemas de investigación que se van a utilizar, su distribución e intensidad de acuerdo con el apartado 2.8 de esta Guía.
- Una estimación económica de su coste, en base a la aplicación de unos precios unitarios sobre la medición de su alcance, y un plazo de ejecución.



### 2.3. RECONOCIMIENTO DEL TERRENO POR FASES

Dado que las conclusiones del Estudio Geotécnico pueden afectar al proyecto en cuanto a la concepción estructural del edificio, ocupación en planta, tipo y cota de los cimientos, el reconocimiento del terreno se debe acometer en la fase inicial de proyecto y en cualquier caso antes de que la estructura esté totalmente dimensionada.

Cumpliendo esta condición, el reconocimiento del terreno podrá desarrollarse en fases si así lo estimara conveniente el Proyectista, lo que permitirá realizar las prospecciones y ensayos en episodios previos y posteriores a la excavación y movimientos del terreno.

### 2.4. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los datos que permitan identificar la promoción, así como los agentes intervinientes en esta actividad, deben incorporarse al Documento de Planificación: El promotor, el Proyectista (o en su caso, el Director de la Obra), el Técnico Autor del Estudio Geotécnico y, en su momento, los agentes encargados de realizar los trabajos de campo y los ensayos de laboratorio.

### 2.5. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El Proyectista debe aportar los siguientes datos que el Técnico Autor del Estudio Geotécnico incorporará al Documento de Planificación:

1) Tipo de edificio (C): La estructura proyectada se clasificará conforme a los tipos o categorías recogidas en el Documento Básico SE-C del CTE, de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 2.1. Tipo de construcción**

<b>Tipo de edificio</b>	<b>Descripción</b>
<b>C-0</b>	Construcciones de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300 m <sup>2</sup>
<b>C-1</b>	Otras construcciones de menos de 4 plantas
<b>C-2</b>	Construcciones entre 4 y 10 plantas
<b>C-3</b>	Construcciones entre 11 y 20 plantas
<b>C-4</b>	Conjuntos monumentales o singulares, o de más de 20 plantas

Nota: En el cómputo de plantas se incluyen sótanos, áticos, buhardillas y bajocubiertas. En edificios con sobrecargas y pesos propios importantes se modificará el tipo de edificio para que suponga uno de carga equivalente.

A efectos del reconocimiento del terreno, la unidad a considerar es el edificio o el conjunto de edificios de una misma promoción y proyecto.



- 2) Área de contacto con el terreno (S): Se consignará el valor de la superficie de terreno ocupada por la proyección horizontal del edificio en metros cuadrados.
- 3) Dimensiones del edificio: En edificios rectangulares, lado menor (**B**) y lado mayor (**L**) en metros. En edificios de geometría irregular, se recomienda estimar los lados aproximados del rectángulo equivalente.
- 4) Superficie construida: Es la suma de todas las plantas del edificio en m<sup>2</sup> (incluidos sótanos, semisótanos, altillos, áticos, bajocubiertas, terrazas, porches, etc.).
- 5) Cargas transmitidas al terreno por cada uno de los elementos estructurales. Será necesario indicar el orden de magnitud de las cargas previstas a nivel de cimentación y su distribución en planta.
- 6) Cimentación prevista inicialmente. También resultará de interés, para el desarrollo con mayor grado de detalle del Estudio Geotécnico, cualquier información referida a la tipología estimada o esperada de la cimentación y sus posibles dimensiones.
- 7) Profundidad prevista de cimentación (Z): Se deberá indicar la profundidad prevista estimada a priori, de cimentación prevista, debido a la excavación de sótanos o taludes, en metros.

## 2.6. IDENTIFICACIÓN DE LA UNIDAD GEOTÉCNICA

La parcela objeto de estudio debe ser localizada sobre los Mapas de Zonificación Geotécnica de Canarias, que acompañan a esta Guía, debiendo ser identificadas la Unidad o Unidades Geotécnicas sobre las que se ubica. Dada la imprecisión inherente a las escalas de los mapas, puede que en algún caso existan discrepancias entre la definición de los terrenos que figuran en ellos y los apreciados en el transcurso de la campaña geotécnica. Por ello, el Técnico Autor del Estudio Geotécnico debe confirmar, en base a sus conocimientos y las pruebas que estime, la Unidad o Unidades Geotécnicas en las que se ubica la parcela antes de continuar con la metodología propuesta en este documento. Si de la inspección de la parcela por parte del especialista en geotecnia, o durante la campaña de prospección, se determinase la presencia de materiales distintos a los contemplados en los Mapas de Zonificación Geotécnica, se procederá a aplicar los criterios de reconocimiento que establezca el especialista.

En la tabla 1.2. “Unidades Geotécnicas” se establece una correspondencia entre cada unidad de las reflejadas en la cartografía geotécnica y cada uno de los grupos de terreno establecidos en el Documento Básico SE-C del CTE. En el caso de que el solar se encuentre entre dos terrenos o muy próximo al límite entre ambos, se tomará siempre las condiciones del terreno más desfavorable, salvo que se determine la viabilidad de dar respuesta a cada uno de ellos de forma independiente.

Las zonas singulares, en particular las que tienen posibilidad de presencia de cavidades (naturales o artificiales), o son susceptibles de deslizamiento o de colapso, requerirán una investigación geotécnica particularizada que se deberá recoger en este documento. Igualmente,



deberá tener en cuenta los posibles aspectos topográficos, hidrológicos, o geomorfológicos, no contemplados en los mapas, con incidencia en la actuación constructiva en cuestión.

## 2.7. ESTADO DE LA PARCELA

En primer lugar debe identificarse el solar o la parcela recopilando e incorporando al Documento de Planificación la siguiente información:

- Plano de emplazamiento urbanístico y plano del solar.
- Características y servicios: topografía, accesos y movilidad de maquinaria y disponibilidad de agua.
- Posible extensión y espesores estimados de rellenos antrópicos existentes.
- Posibles afecciones como la existencia de conducciones de agua o de gas, instalaciones eléctricas, de telecomunicaciones, o cualquier otro servicio o suministro.
- Configuración constructiva de las edificaciones limítrofes.
- Alcance de los movimientos de tierra previstos (excavaciones, terraplenes).
- En su caso, sismicidad del municipio, de acuerdo con la Norma de Construcción Sismorresistente vigente.
- Se deberá indicar si se tiene constancia o algún tipo de referencia de la existencia y/o posición del nivel freático en áreas o solares próximos, así como posibles modificaciones del drenaje natural de las aguas de escorrentía y subterráneas.

También deben recabarse todos los datos posibles en relación con las peculiaridades y problemas del emplazamiento, inestabilidades, deslizamientos, uso conflictivo previo tales como hornos, huertas o vertederos, obstáculos enterrados, configuración constructiva y de cimentación de las construcciones limítrofes (cota, tipología y patologías, en su caso, de cimentaciones próximas, etc.), zonas de afección de posibles inundaciones susceptibles de erosión por avenidas, así como fenómenos ligados a la dinámica litoral.

## 2.8. RIESGOS GEOLÓGICOS

Se define riesgo geológico como cualquier condición, proceso o suceso potencial de origen geológico que suponga una amenaza para la salud, seguridad o bienestar de las personas o para las funciones o economía de una comunidad.

Estimar la incidencia de estos fenómenos con vistas al adecuado uso y aprovechamiento del suelo es un aspecto que necesariamente debe ser considerado en la planificación territorial. De ahí que la realización de los estudios sobre riesgos geológicos y la elaboración de las cartografías que de ellos se derivan, quedan dentro del ámbito normativo de la planificación del territorio y, por tanto, no son regulados en esta Guía.

En base a la documentación existente sobre mapas y estudios de riesgos geológicos, el Técnico Autor del Estudio Geotécnico realizará una evaluación sobre la posible afección al área investigada y sobre sus implicaciones geotécnicas, haciéndolo constar en el Documento de Planificación y en el posterior Informe Geotécnico. Todo ello sin perjuicio de que pudiera detectar riesgos geológicos de menor escala, no recogidos en la documentación existente y recomendar, en su caso, la realización del estudio pertinente para la evaluación de los mismos.





## 2.9. DEFINICIÓN DE LA CAMPAÑA

Una vez recopilada la información anterior, se aplicarán los criterios que se establecen a continuación para determinar la intensidad y alcance de las actividades de prospección de campo así como de laboratorio. El Técnico Autor del Estudio Geotécnico deberá proponer, de acuerdo con su experiencia y con las características geotécnicas concretas que aprecie sobre el terreno, la campaña de reconocimiento que estime más adecuada, la cual deberá alcanzar, al menos, los mínimos establecidos en este documento y deberá quedar convenientemente identificada en el plano de la parcela donde se ubicará el edificio.

El Técnico Autor del Estudio Geotécnico se ocupará de la supervisión y dirección tanto de los trabajos de campo como de los ensayos de laboratorio desde el comienzo de su puesta en marcha y, a la vista de los resultados que se vayan obteniendo, podrá modificar el programa inicial coordinadamente con el Proyectista. De esta manera, en función de las posibles carencias que pudieran ser detectadas, podrá realizar modificaciones como cambiar de localización o aumentar el número inicial de puntos, reducir el porcentaje de sustitución de sondeos o adaptar la profundidad de los mismos. Todo ello respetando las indicaciones que se establecen en los siguientes apartados.

### 2.9.1. Trabajos de campo

1) Distancias máximas entre puntos de reconocimiento: El Código Técnico de la Edificación contempla, con carácter general, un mínimo de tres puntos de reconocimiento, así como las distancias máximas ( $d_{\text{máx}}$ ) entre puntos de reconocimiento que se indican en la Tabla 2.2. Estas distancias máximas pueden considerarse como los diámetros de las circunferencias que definen el área de influencia de cada punto de reconocimiento. La superficie de influencia conjunta de todos los puntos de investigación previstos deberá ocupar como mínimo el 90 % del área de contacto con el terreno (S). Cuando las distancias máximas ( $d_{\text{máx}}$ ) excedan las dimensiones de la superficie a reconocer, deberán disminuirse hasta que se cumpla con el número de puntos mínimos requerido.

**Tabla 2.2. Distancias máximas  $d_{\text{máx}}$  (m) entre puntos de reconocimiento**

Tipo de edificio	T-1	T-2
C-0, C-1	35	30
C-2	30	25
C-3	25	20
C-4	20	17

En el caso de que el edificio ocupe una superficie en planta superior a 10.000 m<sup>2</sup> se podrá reducir la densidad de puntos sobre el exceso de dicha superficie. Esta reducción no será mayor del 50 % de los puntos de reconocimientos obtenidos a partir de la aplicación de la regla anterior.

En los terrenos T-3 se aplicarán las distancias máximas establecidas en la tabla para los terrenos T-2, intercalando puntos de reconocimiento en las zonas problemáticas hasta que sean suficientes para caracterizar el terreno correctamente y para asegurar la ausencia de singularidades





bajo el plano de cimentación y los frentes de excavación que puedan tener incidencia en la seguridad del edificio, la de su ejecución y la de las construcciones limítrofes.

En los edificios C-2, C-3 y C-4 emplazados sobre Unidades Geotécnicas III y IVb, se deberá realizar la prospección bajo cada uno de los elemento de transmisión de carga de la estructura sobre el terreno. Los sondeos mínimos indicados en la tabla 2.2 se realizarán mediante el sistema de rotación con extracción continua de testigos. Las prospecciones restantes, hasta cubrir la totalidad de puntos indicados en el Documento de Planificación de la Campaña de Reconocimiento del Terreno, podrán realizarse mediante sondeos a rotopercusión, siempre y cuando éstos se efectúen bajo la dirección y supervisión de un técnico competente en el reconocimiento geotécnico. Las profundidades mínimas para estos sondeos se indican en la tabla 2.4 de este apartado.

2) Profundidad de sondeos (P): En el Código Técnico de la Edificación se indican unas profundidades orientativas de sondeo (tabla 2.3) que se complementan con los valores mínimos que establece esta Guía en la tabla 2.4. En ella se indica para cada tipo de terreno y edificio la profundidad mínima que deben alcanzar los sondeos. Será obligación del autor del Estudio Geotécnico, en base a sus conocimientos y experiencia, prolongar la profundidad final de los reconocimientos hasta que resulte suficiente para alcanzar una cota del terreno por debajo de la cual se pueda garantizar que no se desarrollarán asientos significativos bajo las cargas que pueda transmitir el edificio. Esta profundidad puede establecerse como aquella en la que el aumento neto de tensión en el terreno, como consecuencia del peso del edificio, sea igual o inferior al 10 % de la tensión efectiva vertical existente en el terreno, a esa cota, antes de la construcción del mismo. Se entiende que esta profundidad también ha sido alcanzada cuando la prospección detecte una unidad geotécnica resistente (sustrato rocoso) tal que garantice que las presiones aplicadas sobre ella por la cimentación del edificio no producirán deformaciones apreciables y que los sondeos verifiquen que el espesor de la capa o unidad resistente hallada es de al menos 2 m, más 0,3 m adicionales por cada planta que tenga la construcción.

**Tabla 2.3. Profundidades (m) orientativas según CTE**

Tipo de edificio	T-1	T-2
C-0, C-1	6	18
C-2	12	25
C-3	14	30
C-4	16	35

**Tabla 2.4. Profundidad mínima de sondeos**

Profundidad mínima de sondeos (m)											
T. Edificio/ Unidad Geot. (T. Terreno)	I (T-3)	II (T-1)	III (T-3)	IVa (T-1)	IVb (T-3)	Va (T-2)	Vb (T-3)	VI (T-2)	VII (T-3)	VIII (T-3)	IX (T-3)
<b>C-0</b>	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5
<b>C-1</b>	8	6	8	6	8	7	8	7	8	8	8
<b>C-2</b>	12	8	12	8	12	10	12	10	12	12	12
<b>C-3</b>	16	10	16	10	16	12	16	12	16	16	16
<b>C-4</b>	20	12	20	12	20	14	20	14	20	20	20

Nota: Las profundidades indicadas están referidas al nivel final de excavación. A estas se les sumará, en su caso, el espesor de rellenos antrópicos (R) o profundidad final de excavación hasta alcanzar la cota de cimentación prevista (Z).

En el caso de cimentaciones profundas se llevarán a cabo las comprobaciones indicadas en el primer párrafo de este apartado, suponiendo que la cota de aplicación de la carga del edificio sobre el terreno es la correspondiente a una profundidad igual a las dos terceras partes de la longitud de los pilotes. En sistemas de cimentación profunda se comprobará que la profundidad investigada alcanza aproximadamente cinco diámetros por debajo de la punta del pilote.

3) Porcentaje de sustitución de sondeos: En esta Guía se denominan sondeos a las prospecciones mecánicas realizadas mediante el sistema de rotación con extracción continua de testigos. El número inicial de puntos de reconocimiento, a realizar mediante sondeos, que se haya obtenido de la aplicación de las distancias máximas establecidas en la tabla 2.2, podrá sustituirse por pruebas continuas de penetración, en aquellas unidades geotécnicas que, de acuerdo con el contenido del apartado 2.9 de esta Guía, admitan esta técnica. Además, la sustitución por penetrómetros únicamente resultará válida cuando la profundidad alcanzada por estos últimos sea, como mínimo, superior a la de cimentación. Por tanto, las pruebas continuas de penetración que se realicen por encima de la cota de cimentación prevista tendrán que atravesar el espesor de la excavación y continuar por debajo de dicha cota, alcanzando la profundidad suficiente para que el sustrato quede caracterizado geomecánicamente.

En la tabla 2.5 se indica el porcentaje máximo de sustitución de sondeos y el número mínimo de estos a los que no es de aplicación dicha sustitución.

**Tabla 2.5. Número mínimo de sondeos mecánicos y porcentajes de sustitución por pruebas continuas de penetración (CTE)**

Tipo de edificio	nº mínimo		% máximo de sustitución	
	T-1	T-2	T-1	T-2
<b>C-0</b>	---	1	---	66
<b>C-1</b>	1	2	70	50
<b>C-2</b>	2	3	70	50
<b>C-3</b>	3	3	50	40
<b>C-4</b>	3	3	40	30

Para los terrenos del grupo T-3, excepto en las Unidades Geotécnicas III y IVb en las que se construyan edificios C-2, C-3 y C-4, se considerarán, los mínimos y los porcentajes de sustitución establecidos para terrenos T-2.

4) Otras técnicas: El Documento Básico SE-C del CTE establece que la prospección del terreno puede llevarse a cabo mediante sondeos mecánicos, pruebas continuas de penetración, calicatas o métodos geofísicos.

En las unidades rocosas se recomienda efectuar levantamientos geomecánicos que describan la calidad, tipo y estado del macizo rocoso en su conjunto, de acuerdo con las normativas y criterios dictados por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) tal y como se pone de manifiesto en el CTE.

Las técnicas geofísicas se podrán aplicar para la caracterización geotécnica y geológica, con el objeto de complementar datos, mejorar su correlación, acometer el estudio de grandes superficies y determinar los cambios laterales de facies. No pueden utilizarse exclusivamente métodos geofísicos para la caracterización del terreno, debiendo siempre contrastarse sus resultados mediante sondeos mecánicos.

En general y si se conoce la existencia de rellenos o recubrimientos superficiales con espesores no superiores a unos 3,0 metros, las calicatas pueden resultar muy útiles para definir, de forma rápida y económica, el espesor de los mismos en distintos puntos. Deberán ejecutarse conforme a las reglas de la buena práctica, en zonas o a profundidades tales que no alteren las propiedades geotécnicas de los terrenos que constituirán el apoyo de la cimentación. En todos los casos y especialmente en calicatas excavadas en las unidades Vb, VII, VIII, IX y X, deberán tomarse las precauciones y normas de seguridad debidas para asegurar la correcta estabilidad de las paredes y garantizar la no afección de zonas próximas, sobre todo en presencia de nivel freático.



En terrenos en los que resulte difícil establecer correlaciones estratigráficas entre sondeos próximos debido a la irregular distribución horizontal y vertical de los materiales, una vez realizada la excavación y lograda la superficie de cimentación, es recomendable la realización de barrenas o sondeos a rotoperCUSión, a fin de verificar la potencia y continuidad de los distintos materiales definidos con los sondeos mecánicos.

5) Muestras Inalteradas y Ensayos de Penetración Estandar (S.P.T.): Salvo justificación, el intervalo de muestreo mínimo previsto es de una muestra (Inalterada o S.P.T.) cada 2,5 metros de sondeo, siempre y cuando los materiales que aparezcan a dichas profundidades lo permitan.

El tipo de muestra (inalterada o S.P.T.) dependerá de la naturaleza del terreno. En terrenos granulares se efectuarán ensayos S.P.T. (muestras de categoría B) y en terrenos cohesivos predominantemente muestras inalteradas (muestras de categoría A). En algunos terrenos (arcillas de consistencia dura, margas o rocas) se procederá al parafinado de testigos, convenientemente seleccionados, obtenidos durante la perforación. En cualquier caso, no deberá quedar sin muestrear ningún estrato o unidad geotécnica.

En el Documento Básico SE-C del CTE se especifican los diferentes tipos de tomamuestras, métodos de hinca y categorías de las muestras obtenidas (Tabla D-8). Los aspectos fundamentales de los mismos se recogen en el capítulo 3.2. de la presente Guía.

En el interior de los sondeos y a criterio del Técnico Autor del Estudio Geotécnico, podrán realizarse otros ensayos de resistencia tales como ensayos de molinete (Vane Test), presiométrico (PMT), o de permeabilidad tipo Lefranc, Lugeon, etc.

Además de las muestras señaladas, el reconocimiento geotécnico debe incluir la toma de muestras de agua de los distintos acuíferos atravesados, con el fin de prever posibles problemas de agresividad o contaminación.

6) Tubería piezométrica: Será necesaria su utilización en el caso de que se sospeche que el nivel freático se encuentra a profundidades próximas a la cota de cimentación prevista o se estime que las oscilaciones del mismo o el ascenso por capilaridad del agua pueda alcanzar dichas cotas. En estos casos se colocará una tubería piezométrica en al menos la mitad de los sondeos efectuados, redondeando por defecto esta cantidad al número entero superior. De esta forma, se podrán controlar y medir sus posibles variaciones a lo largo del tiempo y del espacio.

También se dispondrá, cuando proceda, para el estudio de inestabilidades de taludes, temporales o definitivos.

### 2.9.2. Ensayos de laboratorio

Para la realización de los ensayos de laboratorio se seguirá la normativa vigente, teniendo especial atención en la toma de muestras y en la selección de las mismas destinadas a ser ensayadas, para que éstas sean lo mas representativas posibles de la unidad geotécnica a la que pertenecen.

De todas las muestras obtenidas en sondeos y calicatas, se hará una descripción detallando aquellos aspectos que no son objeto de ensayo, como el color, olor, litología de las gravas, presencia de anomalías, escombros o rellenos artificiales, etc., así como eventuales defectos en la calidad de la muestra, para ser incluida en alguna de las categorías A o B definidas en el apartado 3.3.2.



El número de determinaciones del valor de un parámetro de una unidad geotécnica investigada será el adecuado para que éste sea fiable. Para una superficie de estudio de hasta 2000 m<sup>2</sup>, en cada unidad de importancia geotécnica se considera orientativo el número de determinaciones que se indica en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6. Número de determinaciones in situ o ensayos de laboratorio para superficies de estudio de hasta 2000 m<sup>2</sup>**

Propiedad	Edificios C-1 y C-2	
	Terreno T-1	T-2
Identificación		
Granulometría	3	6
Plasticidad	3	5
Deformabilidad		
Arcillas y limos	4	6
Arenas	3	5
Resistencia a compresión simple		
Suelos muy blandos	4	6
Suelos blandos a duros	4	5
Suelos figurados	5	7
Resistencia al corte		
Arcillas y limos	3	4
Arenas	3	5
Contenido de sales agresivas	3	4

Los ensayos indicados en la tabla 2.6 corresponden a cada unidad geotécnica que pueda ser afectada por las cimentaciones. El número de determinaciones in situ o ensayos indicados corresponde a edificios C-1 o C-2. Para edificios C-3 o C-4 los valores de la tabla 2.6 se recomienda incrementarlos en un 50%.

Deberá procurarse que los valores se obtengan de muestras procedentes de puntos de investigación diferentes, una vez que se hayan identificado como pertenecientes a la misma unidad geotécnica. Las determinaciones se podrán obtener mediante ensayos de laboratorio, o si es factible con ensayos in situ, aplicando las oportunas correlaciones si fueran necesarias.



Para superficies mayores se multiplicarán los números de la tabla 2.6 por  $(s/2000)^{1/2}$ , siendo  $s$  la superficie de estudio en  $m^2$ .

Para terrenos tipo T-3 se decidirá el tipo y número de determinaciones, que nunca serán inferiores a las indicadas para el T-2.

1) Ensayos de identificación y estado: Para suelos, los ensayos de identificación más habituales a realizar son: descripción visual, granulometría por tamizado y determinación de los límites de Atterberg. Los ensayos para determinar su estado son los de densidad y humedad natural.

Los resultados de los ensayos granulométricos permitirán, en base a un baremo de proporción en peso de cada fracción de suelo, asignar una denominación a los suelos con una palabra, según su componente principal, que se acompañará de calificativos y sufijos según sus componentes secundarios (tablas D.20 y D.21 del Documento Básico SE-C).

Estos ensayos deberán efectuarse en todos los estratos o unidades geotécnicas afectadas por la cimentación y deberán distribuirse, a priori, con uniformidad a lo largo de los sondeos.

En macizos rocosos, tanto en afloramientos como en las columnas de los sondeos, es necesario una descripción visual de las rocas, y su asignación a uno de los litotipos definidos en el Apéndice 1. Sobre todas las muestras obtenidas en los sondeos se realizarán medidas de parámetros geomecánico e índices de calidad de la roca, tales como determinación del índice R.Q.D (Rock Quality Designation),  $RMR_b$  (u otros tipos de clasificación geomecánica). También se efectuaría un análisis y descripción del estado de las juntas y grado de meteorización del macizo.

2) Ensayos de resistencia: En el caso de suelos, en este grupo se incluye, conforme a la tabla D.18 del Documento Básico SE-C, ensayos de resistencia a la compresión simple, corte directo o ensayo triaxial (en cualquier situación de consolidación y drenaje). Estos ensayos proporcionan adicionalmente la humedad natural, densidad seca y aparente de las muestras ensayadas.

En terrenos de naturaleza rocosa (unidades I, II, III, IV, Va, VI), estos ensayos corresponderán, siempre que la calidad y longitud de los testigos lo permita, a compresión simple, carga puntual o en casos especiales compresión triaxial.

La elección del tipo de ensayo, o condiciones de consolidación y drenaje del mismo, dependerá de los criterios del Técnico Autor del Estudio Geotécnico. No obstante, a efectos de esta Guía, además del número de ensayos de resistencia de suelos obtenidos, se realizarán ensayos adicionales de corte directo o triaxiales cuando existan con anterioridad o se generen, como consecuencia de la ejecución de la cimentación, taludes de excavación o desmontes de alturas superiores a 2,5 metros. Cuando se superen los 5 metros de altura o se realicen más de 3 sondeos, se realizará al menos una determinación más.

En caso de rocas competentes, los parámetros resistentes podrán estimarse por medio de correlaciones empíricas basadas en el estado de fracturación del macizo rocoso (rocas).



En gravas o arenas los parámetros resistentes se podrán estimar a partir de ensayos SPT u otros ensayos in situ, preferiblemente presiómetros.

En terrenos arcillosos blandos es determinante la resistencia al corte sin drenaje, que se obtiene mediante ensayos de molinete in situ (Vane-Test, etc.). Se puede completar con estimaciones efectuadas mediante penetrómetros estáticos y piezoconos. Los penetrómetros dinámicos sólo permiten estimaciones groseras de estos parámetros.

3) Ensayos edométricos: Estos ensayos se realizarán, con objeto de determinar la compresibilidad y los asentos de cimentaciones superficiales apoyados en materiales arcillo-limosos (unidades VII y IX) y que se encuentran por debajo del nivel freático. No serán necesarios en caso de cimentaciones profundas (pilotes) apoyadas en un estrato resistente. De particular importancia resulta la calidad de la muestra y el cuidado puesto en su colocación en la célula edométrica. En arcillas y limos de consistencia elevada la validez de estos ensayos es reducida.

4) Ensayos de expansividad: Estos ensayos tienen por objeto calificar y/o cuantificar los posibles cambios de volumen que pueden experimentar los suelos frente a cambios de humedad. Para la planificación de la campaña geotécnica recogida en esta Guía, sólo se ha contemplado la realización de estos ensayos en las unidades geotécnicas VII y IX susceptibles de presentar estos problemas. Sin embargo, el Técnico Autor del Estudio Geotécnico deberá proponer, en el transcurso de la investigación y en base a su experiencia geotécnica, su realización en otras unidades.

5) Ensayos de colapso: Con estos ensayos se trata de definir la presión a la cual, algunos materiales de naturaleza granular se deforman al inundarse, sufriendo una pérdida instantánea de volumen. Se ha contemplado la realización de ensayos de colapso mecánico en materiales de la unidad geotécnica Vb. Se pueden realizar en el edómetro o en el equipo triaxial.

6) Contenido en sales agresivas: La acidez Baumann-Gully y el contenido en sulfatos permiten clasificar la agresividad química del terreno frente al hormigón conforme a los parámetros recogidos en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) vigente. Los ensayos se aplicarán a cada una de las unidades geotécnicas en contacto directo con los hormigones de cimentación, muros de contención o muros de sótano, así como a las unidades geotécnicas que se encuentren por encima de la cimentación. En cimentaciones profundas, deberán analizarse todos los niveles o estratos atravesados por los pilotes. Estos ensayos no son necesarios en rocas duras.

7) Análisis químico de aguas: En el caso de que el nivel freático se sitúe a profundidades próximas a la futura cota de cimentación o se estime, a criterio del Técnico Autor del Estudio Geotécnico, que las oscilaciones del mismo o el ascenso por capilaridad del agua freática pueda alcanzar dichas profundidades o cotas, se efectuarán análisis químicos de aguas, como mínimo en el 10 % de los sondeos, conforme a los criterios y parámetros recogidos en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) vigente y en la tabla D-22 del DB SE-C del CTE.



## 2.10. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE LA CAMPAÑA

### 2.10.1. Recomendaciones generales.

La campaña de reconocimiento a realizar debe tener como uno de sus objetivos más importantes la exclusión de singularidades bajo la cimentación y en los frentes de excavación. Dentro del contexto de la geología y geomorfología canarias tienen importancia los siguientes tipos de singularidades cuyas implicaciones sobre la edificación es necesario solventar, entre otros:

- Singularidades topográficas, como las vinculadas a la estabilidad del acantilado, la estabilidad en ladera o con la topografía variable en el plano de cimentación.
- Singularidades geomorfológicas, como los desprendimientos activos y pasivos, los deslizamientos o los coluviones.
- Heterogeneidades del material, existencia de huecos, cavernas o problemas de comportamiento mecánico relacionados con la expansividad y la colapsabilidad.

En ocasiones resulta difícil establecer correlaciones estratigráficas entre sondeos próximos debido a la irregular distribución horizontal y vertical de los materiales. Por tanto, una vez realizada la excavación y lograda la superficie de cimentación, es recomendable la realización de barrenas o sondeos a rotoperCUSión, a fin de determinar la potencia y continuidad de los distintos materiales definidos con los sondeos mecánicos. Estas prospecciones deben alcanzar, como mínimo, la profundidad establecida en esta Guía para los sondeos mecánicos o 2 m, más 0,3 m adicionales por cada planta que tenga la construcción, si se atravesase la unidad geotécnica resistente. El número de estas prospecciones vendrá fijado, atendiendo a las indicaciones del Proyectoista o el Director de Obra, en función del número y tipo de elementos de cimentación.

Las determinaciones de los parámetros resistentes podrán obtenerse mediante ensayos de laboratorio, o si es factible con ensayos in situ, aplicando las oportunas correlaciones si fueran necesarias.

En áreas con pendientes superiores a 15°, el Estudio Geotécnico deberá incluir la comprobación de la estabilidad de las laderas o taludes naturales. Para ello será necesario reconocer e identificar previamente los materiales afectados y en particular los planos de discontinuidad (de debilidad, diaclasas, juntas, fracturas, fallas, materiales sueltos y reblandecidos, etc.) que pudieran condicionar las formas del deslizamiento. Con esta información, junto con la caracterización resistente y la posible presencia de aguas, será necesario efectuar los oportunos cálculos de estabilidad. Los coeficientes de seguridad a considerar serán los definidos en el Documento Básico SE-C del CTE.

Los macizos rocosos deberán quedar suficientemente caracterizados y descritos mediante los criterios recogidos en el Documento Básico SE-C del CTE, con objeto de poder definir la calidad que presentan y en particular cuantificar los índices geomecánicos que puedan ser indicativos del comportamiento global de la masa rocosa.

Adicionalmente a lo sistemas de prospección empleados, las calicatas pueden resultar útiles para definir la existencia de rellenos, monteras, recubrimientos superficiales o espesores de roca meteorizada.





Las condiciones de ejecución y utilización de los trabajos de campo y ensayos *in situ* se indican en el apartado 3.2 de la presente Guía, así como en el Anejo C y en las tablas D.6, D.7 y D.8 del Documento Básico SE-C del CTE.

#### **2.10.2. Recomendaciones para las Unidades I, III y IVb (terrenos T3e, T3h)**

- Los penetrómetros no resultan adecuados para sustratos rocosos. Deben emplearse sondeos mecánicos en los que será preciso utilizar tubo doble o triple, dado el grado de alteración que sufren estos materiales. Complementariamente, podrán aplicarse técnicas geofísicas.
- Para la detección de cavidades y bolsas de escorias se recomienda la realización de barrenas o sondeos a rotoperCUSión bajo cada zapata, una vez realizada la excavación y previamente a la ejecución de la cimentación. También resulta útil para tal fin el empleo de técnicas geofísicas.

#### **2.10.3. Recomendaciones para las Unidades II, IVa (terrenos T1)**

- Los penetrómetros no resultan adecuados para sustratos rocosos. Deben emplearse sondeos mecánicos y, en su caso, técnicas geofísicas complementarias suficientemente contrastadas.

#### **2.10.4. Recomendaciones para las Unidades Va, VI (terrenos T2)**

- Los penetrómetros no resultan adecuados para sustratos rocosos. Deben emplearse sondeos mecánicos y, en su caso, técnicas geofísicas complementarias suficientemente contrastadas.

#### **2.10.5. Recomendaciones para las Unidades Vb (terrenos T3b)**

- En estos materiales se debe realizar un estudio específico para determinar su potencial de colapso mecánico, su carga admisible y las posibles medidas especiales que puede ser necesario tomar para cimentar en ellos.
- A efectos de la sustitución de sondeos por penetraciones dinámicas, la profundidad mínima a alcanzar por los penetrómetros deberá ser superior a la cota de cimentación.

#### **2.10.6. Recomendaciones para las Unidades VII, X (terrenos T3c, T3f)**

- A efectos de la sustitución de sondeos por penetraciones dinámicas, la profundidad mínima a alcanzar por los penetrómetros deberá ser superior a la cota de cimentación.
- Los rellenos antrópicos (no controlados) no son aptos para cimentar. Se evitará hacer ensayos si no están debidamente dirigidos a su consolidación según CTE.



### 2.10.7. Recomendaciones para la Unidad VIII (terrenos T3c)

- A efectos de la sustitución de sondeos por penetraciones dinámicas, la profundidad mínima a alcanzar por los penetrómetros deberá ser superior a la cota de cimentación.
- Se debe contemplar el conjunto de ensayos básicos en muestras de categoría B.
- Los parámetros representativos de la cohesión y el ángulo de rozamiento interno, podrán obtenerse a partir de correlaciones con el SPT, debidamente justificadas.

### 2.10.8. Recomendaciones para la Unidad IX (terrenos T3j)

- Los penetrómetros dinámicos no resultan recomendables en estos terrenos, pero si lo son los penetrómetros estáticos. Si no se dispone de estos últimos, en su caso podrán excavar calicatas con una profundidad superior a la cota de cimentación o, en caso contrario, deberán realizarse sondeos mecánicos.
- El redactor del Estudio Geotécnico deberá establecer de manera razonada e inequívoca la profundidad de la capa activa en estos terrenos.
- A efectos de esta Guía, se considera óptima la combinación de ensayos de presión de hinchamiento e hinchamiento libre en edómetro.

## 2.11. VALORACIÓN Y PLAZO DE EJECUCIÓN DE LA CAMPAÑA

Una vez definidos los contenidos de la campaña geotécnica a efectuar para la realización del Estudio Geotécnico, el Documento de Planificación debe completarse con la elaboración de un presupuesto económico en base a la planificación prevista. Este presupuesto se realizará detallando las distintas partidas en que se descompone el trabajo planificado y aplicando unos precios unitarios a las mediciones correspondientes.

Se deberá resumir en este apartado el número total de sondeos mecánicos (**Ns**), a rotoperCUSión (**Nr**), calicatas (**Nc**) y penetrómetros (**Np**) obtenidos, en cada caso, como resultado de aplicar las expresiones, valores mínimos, criterios o porcentajes de sustitución indicados anteriormente. También se deberá determinar la longitud total de cada tipo de pruebas multiplicando por la profundidad prevista para cada una.

También deberá cuantificarse la cantidad de ensayos in situ que se realicen empleando otras técnicas así como aquellos que se prevea realizar en laboratorio.

El documento debe indicar la fecha prevista para el inicio de los trabajos, así como estimar la duración de los mismos.

Cuando se trate de estudios de cierta entidad de coste o duración resulta conveniente prever fórmulas de revisión en función de los factores determinantes del precio ante posibles variaciones que puedan producirse con posterioridad a la fecha de contratación.

## 2.12. VALIDACIÓN DE LA CAMPAÑA Y PETICIÓN DE OFERTAS

Resulta fundamental que durante la planificación del reconocimiento se garantice una adecuada coordinación entre el autor del Proyecto y el Técnico Autor del Estudio Geotécnico. Para ello, ambos técnicos harán constar su conformidad rubricando el Documento de Planificación.



Una vez constatada la conformidad de ambos técnicos, el promotor utilizará una copia de este Documento de Planificación rubricado para solicitar ofertas a laboratorios de ensayos para el control de calidad de la edificación que se encuentren legal y técnicamente capacitados para la realización de los trabajos, los cuales deberán adaptarse a las prescripciones y mediciones establecidas en el citado Documento.

Se entenderá que la oferta económica incluye los costes por los siguientes servicios, si fueran necesarios:

- Suministro del agua necesaria para las perforaciones.
- Señalización del área de trabajo y otras medidas de seguridad.
- Suministro de energía eléctrica.
- Detección de instalaciones de distribución y suministro de servicios en el subsuelo (electricidad, agua, gas, etc.).
- Servicio de vigilancia del equipo de trabajo fuera de la jornada laboral.
- Gestión de licencias y permisos (en su caso y si no se hiciera cargo el peticionario).

### **2.13. AUTOCONTROL DE LA CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO DEL TERRENO**

El Documento de Planificación de la Campaña de Reconocimiento del Terreno, constituye un documento de programación preliminar de referencia, estimado en función de las características previsibles del subsuelo de cada uno de los tipos de terreno diferenciados y del tipo de edificio proyectado, para la ejecución del Estudio Geotécnico.

Por tanto, y como resulta práctica habitual en la realización de estudios geotécnicos, en determinados momentos del transcurso de la campaña de investigación geotécnica y/o durante la excavación o construcción de las cimentaciones, el Técnico Autor del Estudio Geotécnico y el Proyectista deben analizar la información geotécnica disponible y decidir acerca de la necesidad o no de ampliación de dicha campaña de reconocimiento.

Durante la ejecución del Estudio Geotécnico pueden considerarse los siguientes momentos clave de toma de decisiones:

#### Planificación de la campaña geotécnica

Se realiza o dimensiona a partir de datos del terreno (Mapa de Zonificación Geotécnica de Canarias y tipo de terreno según el CTE), datos previos y datos de estructura.

#### Validación de la campaña de reconocimiento geotécnico

Previo a la planificación del reconocimiento geotécnico, el Técnico Autor del Estudio Geotécnico recabará información del Proyectista sobre las características del edificio, a fin de obtener una información óptima sobre la interacción de éste con el terreno. La participación de ambos en este proceso se validará con sus respectivas firmas en la Ficha de Validación del Reconocimiento Geotécnico (Apéndice 4), tal como se recoge en el apartado 2.2.



### Inicio de reconocimiento geotécnico (Trabajos de campo)

En los primeros momentos del inicio de la campaña de reconocimiento geotécnico resulta fundamental efectuar las siguientes comprobaciones.

- Coincidencia entre los terrenos realmente aparecidos y los correspondientes al Mapa de Zonificación Geotécnica de Canarias y grupos de terreno del CTE. En caso de no coincidencia, dada la imprecisión inherente a la escala de los mapas, deberá revisarse conforme al tipo de los mismos (T-1, T-2 o T-3) la planificación de la campaña geotécnica inicial.
- Estimación provisional del tipo de cimentación (en función de las características resistentes del terreno aparecido y de las cargas a transmitir por la estructura) y comprobación de que las profundidades mínimas indicadas en el apartado 2.8.1 son suficientes para cumplir los preceptos del CTE. Este establece las siguientes comprobaciones:
  - a) Que la profundidad alcanzada por los reconocimientos ha sido suficiente para alcanzar una cota en el terreno por debajo de la cual no se desarrollarán asientos significativos bajo las cargas que pueda transmitir el edificio.
  - b) Dicha cota podrá definirse como la correspondiente a una profundidad tal que en ella el aumento neto de tensión en el terreno bajo el peso del edificio sea igual o inferior al 10% de la tensión efectiva vertical existente en el terreno en esa cota antes de construir el edificio, a menos que se haya alcanzado una unidad geotécnica resistente tal que las presiones aplicadas sobre ella por la cimentación del edificio no produzcan deformaciones apreciables.
  - c) La unidad geotécnica resistente a la que se hace referencia en el párrafo anterior debe comprobarse en una profundidad de al menos 2m, más 0,3 m adicionales por cada planta que tenga la construcción.
  - d) En el caso de que se prevean cimentaciones profundas se llevarán a cabo las comprobaciones indicadas en los párrafos a) y b) suponiendo que la cota de aplicación de la carga del edificio sobre el terreno es la correspondiente a una profundidad igual a las dos terceras partes de la longitud de los pilotes. Salvo justificación, en el caso de pilotes que también resisten por punta se comprobará que la profundidad investigada alcanza aproximadamente cinco diámetros (5D) por debajo de la punta del pilote previsible a utilizar.

### Finalización de los trabajos de campo y ensayos "in situ"

Deberá analizarse si la información geotécnica disponible (obtenida a partir de los puntos de reconocimiento definidos en la presente Guía) resulta suficiente, para un conocimiento adecuado de la configuración geológica y geotécnica del subsuelo, a las condiciones reales de variabilidad del terreno. En caso contrario, el Técnico Autor del Estudio Geotécnico, en coordinación con el Proyectista, propondrá razonadamente la ampliación de dicha campaña.



## PARTE 3ª

### **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS**

En los apartados siguientes se recogen las especificaciones mínimas de las actuaciones o métodos de investigación a emplear en el desarrollo de los trabajos de campo y de laboratorio necesarios para los Estudios Geotécnicos para edificación en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias. Estas especificaciones mínimas son acordes con lo indicado en el Documento Básico de Seguridad Estructural - Cimientos (SE-C) del Código Técnico de Edificación (CTE).

En todos los casos los procedimientos empleados, para la realización de los trabajos geotécnicos, deberán seguir las normas vigentes. La sucesiva aparición de nuevas normas o actualización de las existentes sustituirá a las contenidas en el presente documento.

#### **3.1. ACTAS DE ENSAYO Y TRAZABILIDAD**

##### **3.1.1. Localización de puntos de reconocimiento**

El emplazamiento de los puntos de reconocimiento se realizará con un error máximo de 0,5 metros sobre el plano de la parcela incluido en el Documento de Planificación. La empresa encargada del Estudio Geotécnico deberá comprobar y, en su caso, podrá exigir que los planos facilitados resulten adecuados a estos fines.

La verificación de los puntos de reconocimiento debe ser realizada por el Técnico Autor del Estudio Geotécnico quien deberá mantener informado al Projectista del resultado de su actividad.

En caso de requerir una localización con mayor exactitud a la indicada, el laboratorio que realice las prospecciones debe identificar en el solar los puntos de reconocimiento con sus correspondientes referencias y se realizará un trabajo topográfico posterior mediante el cual se corregirá la posición de los puntos hasta su ubicación exacta.

##### **3.1.2. Identificación y manipulación de muestras**

El laboratorio deberá disponer de un sistema de etiquetado que garantice la trazabilidad en sus actividades de manera que todas las muestras obtenidas en los trabajos de campo se encuentren perfectamente identificadas. Las que correspondan a un mismo sondeo deberán numerarse consecutivamente y además deberá ofrecer, al menos, la siguiente información por muestra:

- Referencia del Estudio Geotécnico.



- Número identificativo del sondeo acorde con los planos del Documento de Planificación.
- Cotas inicial y final referidas al plano topográfico.
- Referencia a la cota de cimentación prevista.
- Tipo de muestra y, en su caso, diámetro interior del tomamuestras.
- Longitud de ensayo, longitud de muestra recuperada y golpes parciales para su obtención.

Todas las muestras y testigos obtenidos se envasarán y protegerán convenientemente para evitar su alteración durante el transporte o almacenamiento y se enviarán, con la mayor brevedad posible, al laboratorio. Las cajas deberán estar, igualmente, protegidas de la intemperie.

Las muestras inalteradas, parafinadas o SPT deberán conservarse en el laboratorio en un ambiente de temperatura y humedad controlados. En este caso, únicamente se procederá a la apertura de los envases de las muestras que vayan a ensayarse y sólo en el momento de la realización de los ensayos correspondientes.

### 3.1.3. Partes de campo de sondeos

Este documento impreso se confecciona durante el desarrollo de las operaciones de perforación y debe contener toda la información que pueda ser relevante para la elaboración del Estudio Geotécnico. Este parte debe recoger, como mínimo, el registro de los siguientes datos:

- Laboratorio, nombre y titulación del técnico responsable o supervisor de los trabajos de campo.
- Lugar, nombre o referencia de Estudio Geotécnico.
- Situación y número de identificación del sondeo.
- Cota topográfica de la boca del sondeo.
- Fecha de comienzo y terminación del sondeo.
- Nombre del sondista y operadores.
- Identificación de la maquinaria utilizada.
- Tipo de batería, corona y útiles de perforación.
- Diámetros de perforación y, en su caso, del revestimiento.
- Profundidades y descripciones de las capas o terrenos atravesados.
- Longitudes de avance en cada maniobra y porcentaje de recuperación de testigos.
- Normativa o procedimiento empleado para la toma de los distintos tipos de muestras y ensayos in situ.
- Para la toma de muestras: cotas del principio y del fondo, tipo, longitud, golpes parciales, diámetros exterior e interior y número de cada muestra obtenida.
- Para los ensayos in situ: cotas y datos obtenidos.



- Incidencias durante la perforación (dureza, dificultad o facilidad de perforación, pérdida del líquido de perforación, empleo de lodos bentoníticos, etc.)
- Profundidad y momento (fecha y hora) de medición del nivel freático. Observaciones sobre sus variaciones.
- Colocación y longitud, en su caso, de tubería piezométrica instalada en sondeo.
- Cualquier evento, singularidad o anomalía de la naturaleza que sea, que haya surgido o se haya observado durante la ejecución de los sondeos (caída de la batería de sondeo, presencia de niveles de agua cartesianos, presencia de oquedades, etc.).
- Firma del sondista responsable del sondeo.

#### 3.1.4. Actas de ensayo

Las actas de ensayo deben contener los datos que permitan identificar el proyecto de edificación, así como la información sobre el procedimiento de ensayo empleado y el número y tipo de materiales ensayados. Los resultados de los ensayos se deben expresar con una redacción precisa, clara y sin ambigüedades.

La estructura básica del acta será la siguiente:

- Datos del laboratorio, identificación del ensayo, número de expediente, datos del cliente y de las muestras a ensayar, incluyendo fecha de recepción de las mismas y fecha de ensayo.
- Método de ensayo y normativa empleada.
- Requerimientos específicos empleados.
- Resultados obtenidos.
- Observaciones.
- Fecha de emisión y firma indicando nombre y cargo.
- Anexos (fotografías, diagramas, gráficos, etc.).

#### 3.2. TRABAJOS DE CAMPO

Comprenden el conjunto de operaciones, calicatas, sondeos mecánicos, pruebas continuas de penetración, ensayos de campo, o métodos geofísicos que tienen por objeto obtener, del lugar de las obras, los datos del subsuelo necesarios para el proyecto de la cimentación.

Todos los trabajos de campo deberán ser supervisados por un técnico competente en el reconocimiento geotécnico.

A continuación se describen los trabajos de campo contenidos o citados en la presente Guía.



### 3.2.1. Sondeos mecánicos

Los sondeos mecánicos se realizarán a rotación y con recuperación continua de testigo. Estos sondeos consisten en la ejecución de una perforación mediante el avance por rotación de una corona circular hueca, unida a una batería igualmente hueca, en cuyo interior se aloja el testigo. El resultado es un taladro cilíndrico del que se ha extraído el terreno. La perforación se interrumpe, periódicamente, para realizar la toma de las muestras específicas para otros motivos. El procedimiento de ejecución seguirá las normas ASTM D-2113 y XP94-202.

Los sondeos se efectuarán, en condiciones normales, con los diámetros convencionales de perforación para la investigación geotécnica: 116, 101, 86, y 76 mm. En sondeos profundos, de más de 30 metros, se admitirán diámetros menores pero no inferiores a 50 mm. Además, este diámetro deberá ser un 15 % superior al tamaño de las mayores partículas de suelo previstas.

Una vez extraído el tubo portatestigos del sondeo, se sacará cuidadosamente el testigo del mismo colocándolo en una caja de cartón parafinado, plástico o madera preparada al efecto, disponiendo separadores entre las diferentes maniobras realizadas e identificando el sondeo, profundidad y las cotas de toma de muestras (SPT, inalteradas, testigos parafinados, etc.).

En roca se perforará a rotación con agua, utilizando batería doble o triple, y con extracción de testigo continuo. Las coronas de perforación serán las más adecuadas a las características del terreno (widia o diamante) y la longitud de avance o maniobra no será en ningún caso mayor de 3 metros. En formaciones blandas o fracturadas, esta longitud no deberá exceder de 1,5 metros.

El testigo se clasificará, midiéndose la recuperación obtenida. En roca, además del porcentaje de recuperación, se determinará el índice RQD (Rock Quality Designation). Este índice, expresado como tanto por ciento, se obtendrá como cociente entre la longitud total del testigo, considerando solamente aquellas partes del mismo de al menos 10 cm de longitud, y la longitud de perforación en cada maniobra. Aquellas fracturas que evidencien haber sido producidas durante la perforación o manipulación de los testigos, no se considerarán como tales a los efectos de determinar el índice RQD.

Para estabilizar los sondeos, si fuera preciso, se utilizará entubación metálica o revestimiento. En ningún caso, la entubación penetrará en el terreno a mayor profundidad que la prevista para la ejecución de ensayos o toma de muestras.

Todos y cada uno de los sondeos mecánicos que se realicen en una campaña de reconocimiento deberán acompañar el correspondiente “parte de campo de sondeos”, confeccionado como se indica en el apartado 3.1.3.

En el apartado 3.2.7 de esta Guía se indican otros trabajos de campo complementarios entre los que figuran algunos métodos de perforación distintos a los definidos anteriormente que podrán ser utilizados para realizar muestreos adicionales, pero que, en cualquier caso, no se contabilizarán como sustituciones del número mínimo de sondeos mecánicos establecido previamente en esta Guía.





### 3.2.2. Toma de muestras inalteradas, parafinadas o SPT

Estas tomas de muestras y ensayos se efectúan, a distintas profundidades, en el interior del sondeo. El fondo de la perforación deberá limpiarse convenientemente antes de realizar cualquier operación de toma de muestras o ensayos. Esta limpieza se efectuará de tal forma que se asegure que el suelo a ensayar no resulta alterado por la operación.

Los suelos granulares (arenas y gravas) no permiten la obtención fácil de muestras inalteradas de calidad, por lo que se efectuarán ensayos de penetración estándar (SPT) a intervalos no mayores de 2,5 m y siempre que cambie la naturaleza del terreno.

En los suelos arcillosos o cohesivos se tomarán muestras inalteradas a intervalos no mayores de 5 m, mediante tomamuestras de pared delgada o gruesa, intercaladas con ensayos de penetración estándar, de modo que se obtenga una muestra o se realice un ensayo SPT al menos cada 2,5 m. Cuando la elevada dureza del terreno no permita tomar muestras inalteradas convencionales, se parafinarán porciones, representativas y convenientemente seleccionadas, del testigo obtenido (testigos parafinados).

En todo caso, e independientemente de las mediciones obtenidas, no deberá quedar sin muestrear ningún estrato o nivel geotécnico afectado por la cimentación.

Se especifican tres categorías de muestras:

- a) Muestras de categoría A: son aquellas que mantienen inalteradas las siguientes propiedades del suelo: estructura, densidad, humedad, granulometría, plasticidad y componentes químicos estables.
- b) Muestras de categoría B: son aquellas que mantienen inalteradas las siguientes propiedades del suelo: humedad, granulometría, plasticidad y componentes químicos estables.
- c) Muestras de categoría C: todas aquellas que no cumplen las especificaciones de la categoría B.

#### 3.2.2.1. Ensayos de penetración estándar (SPT)

El equipo utilizado y el procedimiento operativo del ensayo se ajustarán a lo establecido en la Norma UNE-EN ISO 22476-3/06.

El ensayo de penetración estándar o SPT (Standard Penetration Test) consiste en hincar un tomamuestras dejando caer una maza de 63,5 kg sobre una cabeza de impacto o yunque desde una altura de 760 mm. El número de golpes (N) necesario para alcanzar una penetración del tomamuestras de 300 mm (después de un primer tramo de 150 mm y de su penetración por gravedad y por debajo de una penetración de asiento) es la resistencia a la penetración.

En gravas la zapata podrá ser reemplazada por una puntaza cónica de acero macizo de 51 mm de diámetro y 60 grados de ángulo cónico (en estos casos no se obtiene muestra). El empleo de puntaza cónica resulta aconsejable para tamaños de granos o partículas superiores a 38 mm.



El mecanismo de golpeo será automático.

En caso de que se alcancen los 50 golpes en cualquiera de los intervalos de 15 cm se dará por finalizado el ensayo y se anotará, en el registro del mismo, el símbolo R (Rechazo).

Las muestras obtenidas conservan la naturaleza (incluida la humedad) pero no la estructura del suelo, tratándose por lo tanto de una muestra de categoría B.

#### 3.2.2.2. Muestras inalteradas

Las muestras inalteradas en sentido estricto, corresponden a aquellas muestras que conservan la naturaleza y estructura del suelo (muestras de categoría A). Estas muestras se tomarán, de acuerdo a los procedimientos normalizados ASTM D-1587 y XP94-202, en el tipo de terrenos (suelos cohesivos) e intervalos indicados en el apartado 3.2.2, mediante tomamuestras de pared delgada, tipo Shelby, o seccionado, de pistón o de pared gruesa.

El tomamuestras de pared delgada tendrá de 1 a 2 mm de espesor, longitud mínima de 45 cm y diámetro mínimo interior de 70 mm. La toma de la muestra se efectuará a velocidad constante, hincando lentamente el tomamuestras en el terreno mediante presión. En este último caso, se deberán prever dispositivos que aseguren que la profundidad hundida con el golpe no sobrepasa la longitud libre en el interior del tubo tomamuestras.

En terrenos arcillosos con resistencias al ensayo con penetrómetro de bolsillo inferiores a 100 kPa, resultará aconsejable el tipo de tomamuestras descrito en el párrafo anterior.

Las denominadas “muestras inalteradas por golpeo”, no son muestras totalmente inalteradas pues se llega a alterar la estructura del suelo (muestras de categoría B). En éstas se utilizará el tomamuestras seccionado, de pared gruesa de 4 mm de espesor, longitud mínima de 45 cm y diámetro mínimo interior de 70 mm. La secuencia y demás condiciones de hincas de estos tomamuestras serán las mismas que para la realización del ensayo S.P.T, con idea de facilitar la correlación con dicho ensayo.

El tomamuestras deberá sellarse con tapones de goma, parafina u otro procedimiento, que aseguren la conservación de la humedad natural de la muestra.

Para las muestras de categoría A, se recomienda que los tomamuestras que se empleen se ajusten a las especificaciones de la siguiente tabla, en función del tipo de suelo en que se ejecute la toma y el diámetro interior  $D_i$  de la zapata utilizada:

**Tabla 3.1. Tomamuestras para muestras de categoría A**

Tipo de suelo	Sistema de hincado	Diámetro interior (D <sub>i</sub> )	Despeje interior (D)	Relación de áreas ®	Espesor de la zapata del tomamuestras €	Angulo de la zapata de corte
Arcillas. Limos. Arenas finas	Presión	> 70 mm	≤ 1%	≤ 15	≤ 2 mm	≤ 5º
Arenas medias Arenas gruesas Mezclas	Presión Golpeo	> 80 mm	≤ 3 %	≤ 15	≤ 5 mm	≤ 10º

Con los valores de las siguientes expresiones:

$$D = \frac{D_e - D_i}{D_i} \times 100$$

$$R = \frac{D_e^2 - D_i^2}{D_i^2} \times 100$$

$$E = \frac{D_e - D_i}{2}$$

Donde D<sub>e</sub> es el diámetro exterior de la zapata del tomamuestras.

### 3.2.2.3. Muestras parafinadas

En suelos cohesivos de consistencia muy firme o dura, en los que no sea posible la toma de muestras inalteradas convencionales, se apartarán porciones de testigo, representativas y convenientemente seleccionadas, de la mayor longitud posible. Estas porciones, previa limpieza superficial, se recubrirán con material no absorbente y el conjunto se protegerá con un baño de parafina, de espesor suficiente, para asegurar la invariabilidad de sus condiciones de humedad. El diámetro mínimo de las muestras parafinadas será de 70 mm. Este tipo de muestras se consideran de categoría B.

### 3.2.2.4. Otros tipos de muestras

Los trozos de testigo rocoso (rocas duras y blandas) continuo extraídos de los sondeos mediante batería doble o triple pueden constituir muestras de gran calidad. El procedimiento de embalaje y protección debe ser similar al descrito para las muestras parafinadas.

Cualquier otro tipo de muestras o tomamuestras a emplear deberá ser aprobado por el Técnico Autor del Estudio Geotécnico.



### 3.2.3. Toma de muestras de agua y piezómetros

Cuando se atravesase el nivel freático en alguno de los puntos de reconocimiento (sondeos o calicatas), a profundidades próximas a la futura cota de cimentación, o se estime que las oscilaciones del mismo o que el ascenso por capilaridad de las aguas pueda alcanzar dichas profundidades o cotas, se procederá a la toma de muestras de las mismas para el estudio de su agresividad.

Las muestras de agua se tomarán en recipientes limpios, dotados de cierre hermético, procediéndose al llenado de los mismos después de enjuagarlos varias veces con el agua a muestrear. El tamaño de la muestra será como mínimo de dos litros.

La toma, denominación, transporte y análisis químicos de muestras de agua freática se ejecutará siguiendo el Art.27 de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE08) actualmente vigente.

En caso de atravesar el nivel freático, a profundidades próximas a la futura cota cimentación, o se estime que las oscilaciones del mismo o que el ascenso por capilaridad del agua pueda alcanzar dichas profundidades o cotas se colocará, en al menos la mitad de los sondeos, un tubo perforado o ranurado desde su base hasta 1,5 metros por encima del nivel freático, de PVC o metálico, para la medición del nivel freático y sus posibles variaciones. Estos tubos tendrán un diámetro útil comprendido entre 60 y 100 mm y los extremos de los mismos deberán taparse y protegerse adecuadamente.

El tubo piezométrico alcanzará el fondo del sondeo y se rodeará de un filtro de arena o gravilla en su espacio anular. En superficie, el espacio anular debe quedar sellado y se colocará una tapa en el extremo superior del tubo piezométrico.

Si se ha perforado con agua, se realizará un achique de la misma, controlando el nivel de achique y las posibles recuperaciones del mismo, de modo que se garantice la comprobación y posición del nivel freático.

### 3.2.4. Ensayos de penetración dinámica continua

Los ensayos de penetración dinámica se ejecutarán conforme a la Norma UNE-EN ISO 22476-2/08. Esta norma abarca la determinación *in situ* de la resistencia de los suelos y rocas blandas a la penetración dinámica de una puntaza cónica ciega. Para hincar la puntaza se utiliza una maza de masa y altura conocidas. Se define la resistencia a la penetración como el número de golpes requeridos para hincar la puntaza una longitud determinada. Se obtiene un registro continuo en función de la profundidad pero no se recuperan muestras.

Esta norma recoge cuatro procedimientos:



- Ensayo de penetración dinámica ligera (DPL): Se utiliza una maza de 10 kg que se deja caer libremente desde 500 mm de altura. La puntaza tiene un área nominal de la base de 10 cm<sup>2</sup> y el varillaje empleado es de 22 mm de diámetro exterior. El trabajo específico por golpe es de 50 kJ/m<sup>2</sup>.
- Ensayo de penetración dinámica mediana (DPM): Se utiliza una maza de 30 kg que se deja caer libremente desde 500 mm de altura. La puntaza tiene un área nominal de la base de 15 cm<sup>2</sup> y el varillaje empleado es de 32 mm de diámetro exterior. El trabajo específico por golpe es de 100 kJ/m<sup>2</sup>.
- Ensayo de penetración dinámica pesada (DPH): Se utiliza una maza de 50 kg que se deja caer libremente desde 500 mm de altura. La puntaza tiene un área nominal de la base de 15 cm<sup>2</sup> y el varillaje empleado es de 32 mm de diámetro exterior. El trabajo específico por golpe es de 167 kJ/m<sup>2</sup>.
- Ensayo de penetración dinámica súper pesada (DPSH): Existen dos modalidades:
  - d) DPSH-A: Con una maza de 63,5 kg que se deja caer libremente desde 500 mm de altura. La puntaza tiene un área nominal de la base de 16 cm<sup>2</sup> y el varillaje empleado es de 32 mm de diámetro exterior. El trabajo específico por golpe es de 194 kJ/m<sup>2</sup>.
  - e) DPSH-B: Con una maza de 63,5 kg que se deja caer libremente desde 750 mm de altura. La puntaza tiene un área nominal de la base de 20 cm<sup>2</sup> y el varillaje empleado es de 35 mm de diámetro exterior. El trabajo específico por golpe es de 238 kJ/m<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos proporcionan una medida indirecta de la resistencia del terreno, determinándose estas propiedades mediante correlaciones empíricas. Estos ensayos están especialmente indicados en terrenos granulares finos (arenas). El análisis y tratamiento de los golpes obtenidos en otros terrenos (limos, arcillas o gravas) deberá efectuarse con las reservas y precauciones debidas.

El ensayo se dará por finalizado cuando se alcance la profundidad previamente establecida o cuando se produzca rechazo. En el primero de estos casos, la profundidad alcanzada no debe ser inferior a la profundidad total definida en la planificación de la campaña geotécnica.

En el caso de que se produzca rechazo a una profundidad inferior a la cota de cimentación ( $P_{\text{penetrómetro}} < P_{\text{cimentación}}$ ), deberá repetirse el ensayo desplazando el equipo a un punto próximo al anterior.

Los resultados se adjuntarán en gráficos o curvas de penetración-número de golpes. En dicho impreso se incluirán, asimismo, los siguientes datos:

- Empresa que realiza los trabajos y maquinaria empleada.
- Lugar, nombre o referencia de Estudio Geotécnico.
- Situación en el plano de la parcela y número de identificación del penetrómetro.
- Tipo de cono utilizado. Dimensiones y masa.
- Longitud de cada varilla. Masa por metro de varillaje, incluido niples de unión.



- Masa, altura y mecanismo del dispositivo de golpeo.
- Fecha y hora de la prueba. Tiempo de duración.
- Incidencias del ensayo (interrupciones superiores a cinco minutos, pérdidas de verticalidad mayores al 5%, penetraciones sin golpeo, etc.).

### 3.2.5. Ensayos de penetración estática

Los ensayos de penetración dinámica podrán sustituirse, en suelos blandos, por ensayos de penetración estática, bajo presión, con el cono (CPT) o piezocono (CPTU). El procedimiento, ejecución y presentación de resultados de estos ensayos se ajustarán a lo indicado en la norma UNE EN ISO 22476-12:2010.

El ensayo de penetración con el cono (CPT) tiene por objetivo principal la medida, de modo continuo, o a intervalos de profundidad determinados, de la resistencia a la penetración del cono (resistencia por punta), y si se deseara, de la resistencia a la penetración total y/o la resistencia a la fricción lateral local en un manguito de fricción. El equipo empleado debe ser capaz de medir independientemente la resistencia en punta y el rozamiento lateral.

El ensayo de penetración con el piezocono (CPTU) es una variante del anterior, con la particularidad complementaria de que permite medir las presiones de poro o presiones intersticiales del suelo generada durante la hincada. Asimismo, si se desea, es posible medir, realizando pausas en la penetración, el tiempo de disipación de dichas presiones intersticiales. La medida de esta presión se realiza a través de un elemento poroso intercalado en el cono. Este elemento, por su delicadeza, requiere especiales cuidados de calibrado, limpieza y desaireación. En este ensayo hay que tener presente que es necesario realizar previamente un pequeño sondeo hasta el contacto con el nivel freático o hasta penetrar ligeramente en el terreno bajo dicho nivel.

Los resultados, en ambos tipos de ensayos, se adjuntarán en gráficos adecuados y con los datos precisos de localización, equipo y utensilios empleados, cota, etc., como en el caso de las penetraciones dinámicas.

### 3.2.6. Calicatas

Las calicatas consisten en realizar una excavación manual o mecánica (mediante retroexcavadoras o similares), normalmente hasta una profundidad de unos 3 m, salvo que aparezca roca o que las características del suelo o la presencia de agua lo impidan, para observar las características de los terrenos superficiales, tomar muestras en bloque inalteradas o muestras alteradas no superficiales. Éstas tendrán las dimensiones necesarias en planta para permitir su inspección y descripción, la realización de fotografías en color y la obtención de eventuales tomas de muestras u otros ensayos.



Las calicatas resultan útiles para detectar la presencia de rellenos o recubrimientos superficiales y para comprobar directamente la naturaleza y continuidad estratigráfica lateral de los terrenos más superficiales. Éstas deberán excavarse, conforme a reglas de la buena práctica, en zonas o a profundidades tales que no alteren las propiedades geotécnicas de los terrenos que constituirán el apoyo de la cimentación. En todos los casos, y especialmente en calicatas excavadas en las unidades Vb, VII, VIII, IX y X o con presencia de nivel freático, deberán tomarse las precauciones y normas de seguridad debidas, para asegurar la correcta estabilidad de las paredes de excavación y garantizar la no afección a zonas próximas (entibación, vallado, señalización, etc.).

Tras la terminación de los trabajos se procederá al relleno de la calicata con los materiales extraídos, alisándose la superficie en la medida de lo posible. Antes de proceder a dicha restitución, y si se observase la existencia de humedad o un rezume de agua, se mantendrá abierta la excavación durante unos 30 minutos con el fin de valorar y estimar en lo posible la cota del mismo y la permeabilidad del terreno.

La toma de muestras inalteradas en calicatas se ajustará a la norma UNE 7371/75.

Las muestras deberán etiquetarse correctamente para permitir su identificación (referencia de obra, número de calicata, cota, tipo y número de muestra, etc.).

Las calicatas serán supervisadas y descritas, en todo momento, por un técnico competente en el reconocimiento geotécnico, indicando la maquinaria empleada para su excavación y adjuntando un corte estratigráfico del terreno en el que se indique el estado del mismo en cuanto a humedad, dureza o compacidad de cada estrato, así como las condiciones de excavabilidad y estabilidad de las paredes de la misma.

### **3.2.7. Técnicas geofísicas**

Son el conjunto de técnicas que investiga el interior de la Tierra a partir de las variaciones detectadas en parámetros físicos significativos y de su correlación con las características geológicas. Son técnicas no destructivas y de investigación extensiva o con gran cobertura, complementarias de los ensayos in situ y técnicas de investigación directa, como los sondeos mecánicos. Su aplicación en ingeniería geológica requiere una especialización, dado los pequeños espesores que se investigan y la necesidad de conocer las características geotécnicas de los materiales que van a ser objeto de alguna actuación.

Se pueden emplear para determinar espesores de rellenos o recubrimientos, excavabilidad de los materiales, posición del nivel freático, localización de cavidades u otras heterogeneidades del subsuelo, ubicación de zonas de préstamo, estructura del subsuelo, propiedades geomecánicas de materiales, localización de fallas o superficies de deslizamiento, espesor de roca alterada, índices de figuración, localización de conducciones subterráneas y evolución de fenómenos dinámicos.

No es aconsejable el uso de técnicas que impliquen la utilización de explosivos en cascos urbanos consolidados.





Cuando se trate de grandes superficies a construir, y con el fin de obtener información complementaria que ayude a distribuir los puntos de reconocimiento así como la profundidad a alcanzar en cada uno de ellos, se podrán utilizar las siguientes técnicas:

- a) Sísmica de refracción: Para obtener información sobre la unidad geotécnica resistente, siempre y cuando se trate de formaciones relativamente horizontales (buzamiento inferior a  $15^\circ$ ) y la velocidad ( $V_p$ ) de las ondas de compresión aumente con la profundidad (ASTM D-5777). El valor  $V_p$  que se obtenga en cada una de las capas analizadas podrá utilizarse para estimar su grado de ripabilidad.
- b) Resistividad eléctrica: Técnica SEV “sondeo eléctrico vertical” para obtener información sobre los espesores de las distintas capas horizontales del terreno (ASTM: G 57-78). Técnica de tomografía eléctrica, para identificar los diferentes niveles del subsuelo y sus cambios laterales, identificación del nivel freático y la posible detección de cavidades o desarrollos cársticos.
- c) Otras técnicas geofísicas tales como geo-radar (para obtener información sobre oquedades, servicios enterrados, conducciones, depósitos), medición de ondas superficiales, magnetometría, VLF, etc.; que puedan aportar una información adicional.

En zonas donde se sospeche la existencia de cavidades relativamente superficiales se podrán utilizar, además de las antes mencionadas, técnicas microgravimétricas siempre y cuando se den las condiciones ambientales adecuadas y se utilicen equipos que permitan expresar los perfiles finales de las anomalías de Bouguer en unidades inferiores o iguales a  $10^{-7}$  m/s<sup>2</sup>.

La realización, procesado e interpretación de los trabajos recogidos en los tres apartados anteriores se llevarán a cabo teniendo en cuenta las ventajas y limitaciones que entraña el uso de técnicas geofísicas e integrando los resultados en el marco geológico, geotécnico y morfológico del área estudiada.

En zonas sísmicas y para edificios de los tipos C-1, C-2 y C-3 se recomienda la utilización de ensayos “down-hole” o “cross-hole” (ASTM: D 4428) con el fin de identificar la velocidad de propagación de las ondas de corte ( $V_s$ ) que, entre otros argumentos, permite clasificar las distintas unidades geotécnicas de acuerdo con la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE vigente.

Tanto el “cross-hole” como el “down-hole” se deben basar en las ondas S, de corte (la onda P, longitudinal, es poco fiable, pues el agua es mucho más rígida que el terreno y tiende a irse por ella). Por otra parte, en terrenos con alternancias “duro-blando-duro-blando...” el “cross-hole” no funciona bien, porque la onda tiende a irse por el terreno duro, por lo que es siempre conveniente en estos casos contrastar estos resultados con el “down-hole”.

Los ensayos “cross-hole” y “down-hole” podrán también utilizarse para caracterizar la deformabilidad de arcillas preconsolidadas y suelos con un porcentaje apreciable de grava gruesa, cantos y bolos.

Con el fin de contribuir a una mejor definición de los perfiles geotécnicos del terreno mejorando las correlaciones que se puedan establecer entre sus distintas unidades geotécnicas, para la realización del Estudio Geotécnico se podrá requerir la testificación geofísica de los sondeos que se realicen, debiendo para ello elegir la combinación más adecuada de las siguientes diagráfiás: a) gamma-natural; b) gamma-gamma; c) neutrón-



neutrón; d) resistividad y potencial espontáneo; e) sónica; f) térmica.

Un resumen de las principales aplicaciones de estas técnicas se muestra en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Técnicas geofísicas aplicadas a la ingeniería geológica**

Método	Técnicas	Aplicaciones
Eléctrico	S.E.V.	Interpretación geológica, grado de alteración, cubicación de materiales, contenido en agua y salinidad.
	Calicatas eléctricas	Ídem al anterior pero para el estudio de su variación lateral.
	Dipolo-dipolo	Ídem al anterior pero para el estudio de su variación a lo largo de una sección.
Sísmico	Sísmica de refracción	Espesor de recubrimientos, excavabilidad, cubicación de áreas de préstamo, calidad de la roca, condiciones de cimentación.
	Sísmica de reflexión	Investigación geológica profunda en obras subterráneas y laderas.
Electromagnético	EM en dominio de frecuencias	Interpretación geológica, grado de alteración, contenido en agua y salinidad.
	EM en dominio de tiempos	Ídem al anterior pero a grandes profundidades.
	V.L.F.	Resistividad del terreno en superficie, interpretación geológica y variaciones laterales.
	Geo-radar (GPR)	Huecos y elementos enterrados, contactos litológicos, investigación del trasdós de estructuras, etc.
Gravimétrico	Gravimetría	Contactos litológicos con contraste de densidad, terrenos blandos, cavidades, zonas de disolución, zonas de falla.
	Microgravimetría	Ídem al anterior pero de mayor detalle.
Magnético	Magnetometría	Galerías mineras abandonadas, huecos rellenos de arcilla, conducciones enterradas, fallas, diques, masas mineralizadas.
Sísmica en sondeos	Cross-hole	Litología del sondeo, velocidad de ondas P y S, módulos dinámicos, propiedades resistentes, excavabilidad, espesor de recubrimientos.
	Down-hole Up-hole	
	Tomografía sísmica	Interpretación geológica, cavidades, módulos dinámicos, velocidad de ondas P y S, propiedades resistentes, zonas de fractura, zonas de alteración, excavabilidad, espesor de recubrimientos.



Método	Técnicas		Aplicaciones
Testificación geofísica (en el interior de sondeos)	Eléctrica	Resistividad eléctrica Potencial espontáneo Conductividad eléctrica	Salinidad del agua, resistencia del material, secuencia litológica.
	Nuclear o radiactiva	Gamma natural Gamma espectral Neutrón Gamma-Gamma	Investigación de arcillas, contenido en agua, densidad del terreno.
	Sónica o acústica		Propiedades mecánicas, grado de figuración, secuencia litológica.
	Fluidos	Temperatura Conductividad Velocidad de flujo	Puntos de afluencia de agua al sondeo, niveles freáticos.
	Geométricos	Calibre Diámetro Registro de T.V.	Acotación del sondeo, huecos y fracturas, orientación de discontinuidades.

### 3.2.8. Trabajos de campo complementarios

Se incluyen en este epígrafe otros trabajos complementarios no descritos anteriormente y que podrán emplearse, con las limitaciones o condiciones indicadas, en la investigación geotécnica de campo.

#### 3.2.8.1. Sondeos a rotopercusión

Estos sondeos están ideados para la perforación de macizos rocosos mediante la introducción de una barra o puntero de acero bajo la acción de un martillo percutor. Este sistema de perforación se basa en el impacto de una pieza de acero (pistón) que golpea a un útil, que a su vez transmite la energía al fondo del barreno por medio de un elemento final (boca). En función de donde se localice el martillo las perforadoras a rotopercusión se clasifican en dos tipos:

- Martillo en cabeza: Dos de las acciones básicas, rotación y percusión, se producen fuera del barreno, transmitiéndose a través de una espiga y del varillaje hasta la boca de perforación. Los martillos pueden ser de accionamiento neumático o hidráulico.
- Martillo en fondo: La percusión se realiza directamente sobre la boca de perforación, mientras que la rotación se efectúa en el interior del barreno. El accionamiento del pistón se lleva a cabo neumáticamente, mientras que la rotación puede ser neumática o hidráulica.



El sondista responsable del sondeo a rotopercusión confeccionará el correspondiente “parte de campo de sondeos” como se indica en el apartado 3.1.3.

El método normal de obtención de datos del subsuelo, a efectos de esta Guía, es el sondeo mecánico a rotación con extracción de testigo descrito en el apartado 3.2.1, debido a que puede utilizarse en todas circunstancias y permite obtener muestras de los materiales atravesados. Sin embargo, una vez identificadas y caracterizadas geomecánicamente las distintas unidades geotécnicas mediante sondeos mecánicos, para la comprobación de continuidad de dichas unidades o para la detección de cavidades, es recomendable la realización de sondeos a rotopercusión, ya que en formaciones duras resultan más rápidos y económicos que los primeros. En cualquier caso, no se contabilizarán como sustituciones del número mínimo de sondeos mecánicos que resulte de aplicar lo establecido en el apartado 2.8.1 de esta Guía.

El empleo de este método complementario deberá ser aprobado por el Director del Proyecto, a propuesta del Técnico Autor del Estudio Geotécnico.

#### 3.2.8.2. Otros sondeos

Otros métodos de perforación complementarios pueden ser los siguientes:

- Perforación con barrena helicoidal. ASTM D-1452.
- Perforación con cola de pez, trialeta o tricono.
- Perforación a percusión.

El empleo de estos métodos complementarios deberá ser aprobado por el Director del Proyecto, a propuesta del Técnico Autor del Estudio Geotécnico.

Con estos tipos de perforación, deberá incrementarse el control y la supervisión de la ejecución de los sondeos. En caso de ser utilizados para muestreo adicional, deben permitir la toma de muestras con una frecuencia no inferior a 1,5 metros y asegurar, tanto la limpieza del sondeo antes de la toma de muestras, como la no perturbación del terreno a muestrear.

Estos sondeos deberán acompañar el correspondiente “parte de campo de sondeos”, confeccionado como se indica en el apartado 3.1.3.

#### 3.2.8.3. Ensayos en el interior de sondeos

Los ensayos mecánicos habituales a realizar en el interior de los sondeos son los ya indicados: SPT y toma de muestras inalteradas. No obstante se pueden llevar a cabo ensayos adicionales, como los mostrados en la tabla 3.2.

**Tabla 3.3. Ensayos en sondeos**

<b>Ensayo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicación</b>
Ensayo presiométrico (P.M.T.) ENV-199-3	Dilatación, por gas a presión, de una célula cilíndrica contra las paredes de un sondeo midiendo la deformación volumétrica correspondiente a cada presión hasta llegar, eventualmente, a la rotura del terreno	Resistencia (presión límite) y deformabilidad de suelos granulares, arcillas duras, medios rocosos, etc.
Ensayo de molinete (Vane Test) ENV-199-3	Rotación de unas aspas dispuestas a 90º e introducidas en el terreno, midiendo el par necesario para hacerlas girar hasta que se produce la rotura por cortante del suelo	Para determinar la resistencia al corte de arcillas blandas por encima o por debajo del nivel freático

#### 3.2.8.4. Ensayos de permeabilidad "in situ"

Si las características concretas del proyecto lo aconsejan (impermeabilizaciones, drenajes y excavaciones por debajo del nivel freático) se procederá a la realización de ensayos de permeabilidad "in situ" en el interior de los sondeos.

El tipo de ensayo, Lugeon (ASTM D-4630) o Lefranc (ASTM D-4631), se decidirá según la naturaleza y estado del terreno. En roca se realizarán ensayos Lugeon, reservándose los ensayos Lefranc para suelos granulares o cohesivos y rocas blandas o rocas duras muy fracturadas. En ambos casos se aportará la descripción del método seguido, y las relaciones presión-admisión y carga de agua-admisión, para cada tramo ensayado, con el fin de poder estimar la permeabilidad y/o inyectabilidad del terreno.

Se deberá tener un conocimiento suficiente de las propiedades hidráulicas del terreno (coeficiente de permeabilidad), de modo que se pueda clasificar dentro de las categorías contempladas en el Documento Básico de Salubridad (DB HS) del CTE.

#### 3.2.8.5. Ensayos de carga de suelos con placa

El ensayo de carga vertical de suelos mediante placa estática se realizará conforme a la norma UNE 103.808/06.





Este ensayo permite la determinación de los denominados como módulo de deformación vertical del primer y segundo ciclo de carga,  $E_{v1}$  y  $E_{v2}$  (parámetros representativos de la deformabilidad del suelo en dirección vertical) y módulo de reacción  $K_s$  (parámetro vinculado con el coeficiente de balasto del terreno). El subíndice  $s$  hace referencia al diámetro de la placa utilizado.

El ensayo consiste en medir el desplazamiento vertical de uno o varios puntos de la superficie de un suelo situado bajo el centro de una placa circular rígida, sometida a uno o varios ciclos de carga predefinidos. De este modo se determina la curva carga-asiento y, a partir de ella, los módulos citados.

Los datos obtenidos proporcionan información acerca de la resistencia (en su caso) y deformabilidad de los suelos afectados por el bulbo de presiones de la carga aplicada (aproximadamente 2 a 3 veces el diámetro de la placa). Por tanto, estos ensayos sólo resultan fiables cuando el terreno es homogéneo y para las profundidades de afección del ensayo.

Estos ensayos podrán efectuarse, a propuesta del Director del Proyecto o Técnico Autor del Estudio Geotécnico, como medio para obtener información complementaria o adicional del terreno y no podrán, a efectos de esta Guía, sustituir ni reemplazar a los puntos de reconocimiento obtenidos en la planificación de la campaña geotécnica.

### 3.2.9. Métodos normalizados de ensayo (trabajos de campo)

A continuación se indican las normativas a emplear para la ejecución de algunos de los ensayos de campo descritos.

- UNE 7371:75 Toma de muestras superficiales de suelo de tipo inalterado en calcatas o pozos.
- UNE-EN ISO 22476-3/06. Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de campo. Parte 3: Ensayo de penetración estándar.
- UNE-EN ISO 22476-2/08. Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de campo. Parte 2: Ensayo de penetración dinámica.
- UNE EN ISO 22476-12:2010. Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de campo. Parte 12: Ensayo de penetración con el cono mecánico (CPTM).
- ASTM D5777-00 Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation.
- ASTM G57-78 (G57-95a) Standard test method for field measurement of soil resistivity using the wenner four-electrode method.
- ASTM D 4428/D4428M-00 Standard test methods for crosshole seismic testing.
- ASTM D1587-08 Standard practice for thin-walled tube sampling of soils for geotechnical purposes.
- ASTM D2113-08 Standard practice for rock core drilling and sampling of rock for site investigation.
- ASTM D1452- 09 Standard practice for soil exploration and sampling by auger borings.
- ASTM D4719-07 Standard test method for prebored pressuremeter testing in soils.
- ASTM D4630–96 Standard test method for determining transmissivity and storage coefficient of low-permeability rocks by in situ measurements using the constant head injection test.
- ASTM D4631-95 Standard test method for determining transmissivity and storativity of low permeability rocks by in situ measurements using pressure pulse technique.
- XP P94-202 12/95 Sols: reconnaissance et essais - Prélèvement des sols et des roches - Méthodologie et procédures.



La normativa indicada en los apartados anteriores será válida hasta el momento en que sea sustituida por nuevas normas o por la actualización de las existentes.

### 3.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Una parte fundamental del Estudio Geotécnico lo constituyen los ensayos de laboratorio. Después de las inspecciones y trabajos de campo (a realizar por un laboratorio habilitado en geotecnia de acuerdo con el RD 410/2010), el Técnico Autor del Estudio Geotécnico confeccionará el plan de ensayos de laboratorio más adecuado a las características de las construcciones previstas y terrenos detectados. El cuidado en el tratamiento de las muestras, la disposición de equipos en correcto estado de mantenimiento y calibración, la cualificación y experiencia de los operarios y el control de las condiciones ambientales constituyen los parámetros fundamentales a contemplar durante la ejecución de los ensayos.

La realización de cualquier ensayo de laboratorio incluye la extracción y/o preparación de la muestra conforme a la normativa correspondiente (UNE 103.100/95).

A continuación se describen los ensayos de laboratorio más frecuentes indicando, básicamente, los objetivos y parámetros obtenidos en cada uno de estos ensayos.

#### 3.3.1. Ensayos de identificación y estado

Comprenden un conjunto de ensayos que se consideran básicos para el conocimiento de las propiedades geotécnicas de suelos y rocas. Se engloban, bajo este epígrafe, a una serie de pruebas que pueden clasificarse como ensayos de identificación y estado.

A partir de la determinación de dichas propiedades se pueden estimar determinados comportamientos mecánicos y de cambios de volumen. Así, por ejemplo, unas características de densidad, plasticidad y humedad baja son indicativas de posibles suelos colapsables y las granulometrías finas junto a plasticidades elevadas denotan un posible riesgo de expansividad.

En la siguiente tabla se indican los ensayos básicos que deben efectuarse en cada tipo de muestras de suelos.

**Tabla 3.4. Ensayos básicos para cada tipo de muestras de suelos**

<b>Tipo de muestras</b>	<b>Ensayos básicos</b>
Muestras Inalteradas	Descripción visual, humedad natural, densidad aparente, granulometría por tamizado y límites de Atterberg.
Muestras S.P.T.	Descripción visual, humedad natural, granulometría por tamizado y límites de Atterberg.



La descripción e identificación de las rocas y los macizos rocosos se basará en el tipo, la composición mineralógica, aspectos genéticos, estructura, tamaño de grano, discontinuidades y otros parámetros, tal y como se recoge en la norma UNE-EN ISO 14689-1/03.

#### 3.3.1.1. Descripción visual

Consiste en la identificación y descripción visual de la muestra. Ésta deberá ajustarse a los términos y expresiones recogidas en la norma UNE-EN ISO 14688-1/03 y Erratum /04 para suelos y la norma UNE-EN ISO 14689-1/03 para rocas.

#### 3.3.1.2. Humedad natural

El contenido en agua del suelo se obtiene según la norma UNE 103.300/93. El contenido en agua de una roca se obtiene a partir del procedimiento ISRM parte 1:1977.

#### 3.3.1.3. Densidad aparente

La densidad aparente de un suelo o roca es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo los huecos y poros que contenga. Se determina, conforme a la norma UNE 103.301/94, para suelos y según el procedimiento ISRM parte 1:1977 para rocas.

#### 3.3.1.4. Análisis granulométricos

Tienen por finalidad determinar la distribución en tamaños de los granos o partículas que constituyen un suelo. El tamaño de las partículas es la base fundamental para la identificación de los suelos, utilizando las fracciones de las partículas para diferenciar su comportamiento mecánico.

El material que pasa por el tamiz 0,08 UNE corresponde a partículas de tamaño limo y arcilla. La determinación completa de las fracciones correspondientes a cada uno de ellas se puede efectuar mediante el análisis granulométrico por sedimentación (UNE 103.102/95).

En la presente Guía se contempla, de forma preceptiva, únicamente la realización de análisis granulométricos por tamizado. La realización o no de ensayos por sedimentación queda, por tanto, a criterio del Técnico Autor del Estudio Geotécnico, en función de los objetivos del mismo y de los parámetros a determinar.

Los suelos ensayados se clasificarán, en función del tamaño de sus partículas, conforme a la siguiente división granulométrica (tablas 3.5., 3.6., 3.7., 3.8. y 3.9.).

**Tabla 3.5. Clasificación de suelos según el CTE.**

Suelos gruesos <sup>(1)</sup>		
Grava	Gruesas	20.0-60.0 mm
	Medias	6.0-20.0 mm
	Finas	2.0-6.0 mm
Arena <sup>(2)</sup>	Gruesas	0.60-2.00 mm
	Medias	0.20-0.60 mm
	Finas	0.06-0.20 mm
Suelos finos <sup>(3)</sup>		
Limo	Gruesos	0.020-0.060 mm
	Medios	0.006-0.020 mm
	Finos	0.002-0.006 mm
Arcilla <sup>(4)</sup>		< 0.002 mm

<sup>(1)</sup> Con más del 50% de las partículas distinguibles a simple vista (aprox. 0,1 mm)

<sup>(2)</sup> En función de los datos que se disponga de ensayos SPT, las arenas pueden clasificarse tal y como se indica en la tabla 3.6.

<sup>(3)</sup> Con más del 50% de las partículas no distinguible a simple vista (aprox. 0,1 mm)

<sup>(4)</sup> En función de los datos de que se disponga y de la resistencia a compresión simple, pueden clasificarse las arcillas tal y como se indica en la tabla 3.7.

**Tabla 3.6. Compacidad de las arenas según el CTE.**

Clasificación	Índice SPT
Muy floja	< 4
Floja	4-10
Media	11-30
Densa	31-50
Muy densa	>50

**Tabla 3.7. Consistencia de las arcillas según el CTE.**

Clasificación	Resistencia a compresión simple $q_u$ (kPa)
Muy blanda	0-25
Blanda	25-50
Media	50-100
Firme	100-200
Muy firme	200-400
Dura	>400

**Tabla 3.8. Denominación matizada de suelos granulares<sup>(1)</sup> según el CTE.****Porcentaje de finos < 35%**

Denominación		% de arcilla y limo
Nombre principal	Grava o arena	-
Nombre secundario	Arenosa o con grava	-
Con indicios de	Limos o arcillas	1-10
Algo	Limosa o arcillosa	10-20
Bastante	Limosa o arcillosa	25-35

<sup>(1)</sup> Los términos arcilla y arcillosa de la tabla deben emplearse cuando se trata de finos plásticos y los términos limo y limosa, cuando los finos no son plásticos o poco plásticos según el criterio de Casagrande.

**Tabla 3.9. Denominación matizada de suelos finos según el CTE.****Porcentaje de finos >35%**

Denominación		% de arcilla y limo
Nombre principal	Arcilla o limo	< 35
Nombre secundario	Arenosa/o o con grava	35-65

### 3.3.1.5. Límites de Atterberg

Los valores de los límites de Atterberg definen la frontera entre los estados semisólido-plástico (límite plástico) y semilíquido-líquido (límite líquido) de un suelo arcilloso. Estos valores se expresan como cantidad de humedad necesaria para que se verifiquen determinadas condiciones normalizadas en los ensayos correspondientes. El *Límite Líquido* (LL) se determina conforme a la norma UNE 103.103/94. El Límite Plástico (LP) se obtiene según la norma UNE 103.104/93.

El Índice de Plasticidad (IP) corresponde al intervalo de humedades comprendido entre el límite líquido y el límite plástico (LP). Atendiendo a los valores obtenidos de LP e IP los suelos se clasifican, en cuanto a su plasticidad, de acuerdo con el gráfico de Casagrande (Fig. 3.1.).





### 3.3.2. Ensayos de resistencia

Se trata de ensayos que permiten determinar, de forma directa, los parámetros resistentes del terreno, siendo necesarias muestras de categoría A para su ejecución. Cuando no se disponga de muestras adecuadas, estos parámetros podrán ser estimados mediante correlaciones empíricas con ensayos in situ.

#### 3.3.2.1. Compresión simple

El ensayo de resistencia a la compresión simple de probetas de suelo consiste en determinar la carga máxima capaz de soportar un suelo en condiciones de compresión uniaxial. Las condiciones de ejecución del ensayo se ajustarán a la norma UNE 103.400/93.

En testigos de roca el ensayo se efectuará conforme a la norma UNE 22950-1/90, aunque es posible estimar este parámetro indirectamente a través de correlación con otro ensayo más sencillo, rápido y económico, como el de carga puntual (UNE 22-950-5/96). En el Apéndice 2 se recoge ésta y otras correlaciones entre ensayos para los litotipos volcánicos presentes en Canarias.

#### 3.3.2.2. Ensayo de corte directo

Los ensayos de corte directo en suelos seguirán la norma UNE 103.401/98. Estos ensayos, al igual que los triaxiales (apartado 3.3.2.3), se deberán realizar para el dimensionamiento de cimentaciones, muros o análisis de las condiciones de estabilidad de taludes de desmonte o naturales, siempre que existan con anterioridad o, como consecuencia de que la profundidad final de cimentación sea superior a 2,5 metros, cuando el nivel freático por encima de la cota de cimentación prevista, o de 4 metros, sin nivel freático y se generen taludes de excavación o desmontes de alturas superiores a dichas magnitudes, o en su caso, exista una pendiente topográfica mayor de 15°.

Los resultados se llevan a un gráfico tensiones normales-tensiones tangenciales. Los puntos obtenidos, representativos del estado tensional de la rotura, deben resultar sensiblemente alineados en una línea recta. La ordenada en origen de la recta corresponde al valor de cohesión, mientras que el ángulo de la recta con el eje de abscisas es el ángulo de rozamiento interno del suelo.

Los impresos de resultados deberán especificar, entre otros argumentos, la velocidad del ensayo y, en consecuencia, si ha habido consolidación inicial o si se ha permitido el drenaje durante el ensayo.

En el caso de rocas es posible determinar la resistencia al corte de diaclasas y otras discontinuidades aplicando la norma ASTM D-5607-08.

#### 3.3.2.3. Ensayos triaxiales

Estos ensayos se realizan mediante equipos permitan cargar a la muestra en tres direcciones. Las normas de aplicación son: en suelos la UNE 103.402/98 y en rocas la UNE 22-950-4/92.



Las condiciones de realización de este ensayo (consolidación previa, rotura con drenaje o sin drenaje pero con medida de presiones intersticiales), al igual que el ensayo de corte directo, serán establecidas por el Técnico Autor del Estudio Geotécnico.

Las actas de resultados contendrán las curvas de consolidación previa, si las hay, las curvas tensión-deformación y el diagrama de los círculos de Mohr en presiones totales y, si hay medidas de presión intersticial durante el ensayo, su variación con el nivel de deformación y en particular en la rotura, para poder conocer las presiones efectivas.

### **3.3.3. Ensayos de deformabilidad**

El ensayo por excelencia de suelos finos y saturados es el ensayo edométrico.

Tiene por objeto estudiar la compresibilidad unidimensional y confinada de un suelo. Resulta de aplicabilidad para el cálculo de asientos por consolidación en suelos arcillosos blandos y saturados. El ensayo se ajustará a lo indicado en la norma UNE 103.405/94. En la presente Guía se contempla su realización en las unidades Vb, VII, IX, X (terrenos arcillosos y depósitos aluviales-coluviales) y generalmente asociadas con la existencia de nivel freático a escasa profundidad.

Consisten en someter a una muestra de suelo, confinada lateralmente y con drenaje vertical, a escalones crecientes de carga también vertical midiendo las deformaciones producidas.

Los resultados se representan en un gráfico índice de poros-logaritmo de presiones. También se deben mostrar las curvas de consolidación para cada escalón de carga.

En ocasiones será conveniente conocer el módulo de elasticidad (Young) y el coeficiente de Poisson de las rocas, en cuyo caso se recomienda realizar ensayos de compresión simple con medidas de deformación mediante bandas extensométricas (UNE 22-950-3/90).

### **3.3.4. Ensayos de expansividad y colapso**

Estos ensayos permiten calificar y/o cuantificar los posibles cambios de volumen que pueden experimentar los suelos frente a cambios de humedad.

El estudio de la expansividad y del colapso está asociado a suelos de grano fino (arcillas y limos). Pero además, los ensayos de colapso, en las Islas Canarias toman especial relevancia en los depósitos piroclásticos de baja densidad (Vb).

Para un correcto estudio de la expansividad es preciso contar con muestras inalteradas (categoría A), sobre las que se deberán efectuar los ensayos de presión de hinchamiento o hinchamiento libre.



#### 3.3.4.1. Presión máxima de hinchamiento

Es un ensayo de referencia para determinar la tensión máxima ( $P_{\text{máx.}}$ ) que puede desarrollar el suelo. Consiste, básicamente, en impedir el aumento de volumen de una muestra inalterada o remoldeada de suelo, colocada en una célula edométrica e inundada, mediante la aplicación de incrementos de carga verticales. La ejecución del ensayo se ajustará a la norma UNE 103.602/96.

#### 3.3.4.2. Hinchamiento Libre

Con una mínima presión vertical, este ensayo informa del máximo levantamiento ( $H_l$ ) que puede experimentar el suelo ensayado. Se efectuará atendiendo a la norma UNE 103-601/96.

Entre un ensayo y otro ( $P_{\text{máx.}}$ ;  $H_l$ ) se puede definir cualquier otro tipo de prueba que informe del cambio de volumen del suelo, al ser saturado, de una manera más ajustada a la realidad (en tensiones y deformaciones).

#### 3.3.4.3. Ensayos de colapso

Una muestra de suelo en estado semisaturado se puede introducir en la célula del edómetro y para una determinada presión vertical, distinta de la inicial muy reducida, se puede proceder a su inundación para conocer los asientos que se producen por la humectación de la misma. Son ensayos de los que solo está normalizado uno de ellos (UNE 103-406/06). Sirven para ilustrar del comportamiento de un suelo frente a los cambios de humedad, para las condiciones específicas de tensión y de estado de la muestra.

Los suelos limosos de estructura floja, parcialmente saturados y en presencia de sobrecargas, pueden experimentar asientos importantes o colapsos, frente a inundaciones de agua. Este ensayo tiene por objeto determinar la magnitud del colapso unidimensional que se produce cuando se inunda un suelo semisaturado.

### **3.3.5. Ensayos químicos**

El contenido de determinadas sustancias químicas en el terreno o en el agua condiciona la agresividad del medio frente al hormigón y puede aconsejar la utilización de cementos sulforresistentes.

#### 3.3.5.1. Análisis químicos en muestras de suelo

La acidez de Baumann-Gully y el contenido en sulfatos de un suelo permite comprobar la agresividad del mismo frente a los hormigones de la cimentación. Estos ensayos se efectuarán conforme las normas UNE 83.957 y UNE 83.963 de toma de muestras y determinaciones químicas respectivamente.

La presencia de materia orgánica puede condicionar el comportamiento de los suelos ante diversas acciones. El procedimiento de ensayo se describe en la norma UNE 103.204/93 (método del permanganato potásico).

Los carbonatos pueden aparecer en los suelos como material cementante. El procedimiento de ensayo se describe en la norma UNE 103.200/93.



El Técnico Autor del Estudio Geotécnico decidirá, durante el transcurso de los trabajos, acerca de la conveniencia de la realización de ensayos de determinación del contenido en materia orgánica, carbonatos y sulfatos.

### 3.3.5.2. Análisis químicos en muestras de agua

En la presente Guía se contempla, de forma preceptiva, la realización de un análisis químico del agua freática en caso de que el nivel freático se sitúe a profundidades próximas a la futura cota de cimentación o se estime, a criterio del Técnico Autor del Estudio Geotécnico, que las oscilaciones del mismo o el ascenso por capilaridad del agua freática pueda alcanzar dichas profundidades o cotas.

Los parámetros investigados en estos análisis deben ser, conforme a los criterios indicados en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE08) vigente, los siguientes: pH, magnesio ( $Mg^{2+}$ ), amonio ( $NH_4^+$ ), sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ), ácido carbónico ( $CO_2$ ) agresivo y residuo seco a 110° C.

La acidez Baumann-Gully y el contenido en sulfatos, detectados en muestras de suelo, y de determinados componentes químicos, presentes en las aguas, permiten clasificar la agresividad química del suelo y aguas frente al hormigón. En la tabla siguiente se recoge la clasificación de la agresividad química recogida en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE08) actualmente vigente.

**Tabla 3.6. Clasificación de la agresividad química (EHE08)**

Tipo de Medio Agresivo	PARÁMETROS	Tipo de Exposición		
		Qa	Qb	Qc
		Ataque Débil	Ataque Medio	Ataque Fuerte
AGUA	Valor del pH	6,5-5,5	5,5-4,5	< 4,5
	CO <sub>2</sub> agresivo (mg CO <sub>2</sub> /l)	15-40	40-100	>100
	Ión Amonio (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l)	15-30	30-60	>60
	Ión Magnesio (mg Mg <sup>2+</sup> /l)	300-1.000	1.000-3.000	>3.000
	Ión Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l)	200-600	600-3.000	>3.000
	Residuo seco a 110° C (mg/l)	75-150	50-75	< 50
SUELO	Grado de Acidez Baumann-Gully	> 200	(*)	(*)
	Ión Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /kg de suelo seco)	2.000-3.000	3.000-12.000	> 12.000

(\*) Estas condiciones no se dan en la práctica



Esta normativa (EHE) recomienda el empleo de cementos que posean resistencia adicional a los sulfatos, según la UNE 80303-2:2001, para una exposición tipo Qb, es decir, siempre que el contenido en sulfatos del terreno sea igual o mayor a 3.000 mg/Kg ( $\text{SO}_4^{2-}$  en suelos  $\geq 3.000$  mg/Kg) y de 600 mg/l en el agua freática ( $\text{SO}_4^{2-}$  en aguas  $\geq 600$  mg/l).

### 3.3.6. Otros ensayos de laboratorio

Se incluyen en este apartado algunos ensayos de laboratorio, no descritos anteriormente, cuya planificación y realización quedan a criterio del Técnico Autor del Estudio Geotécnico.

- Densidad relativa de las partículas de un suelo (UNE 103302/94), que exige el conocimiento de la densidad máxima (UNE 103106/93) y mínima (UNE 103105/93)
- Determinación de la porosidad de un suelo (UNE 7045).

### 3.3.7. Métodos normalizados de ensayos

Para la realización de ensayos de laboratorio en el ámbito de la geotecnia, la normativa es amplia y, en general, se dispone de normas españolas suficientes acreditadas y conocidas. A continuación se indican las normativas a emplear para la ejecución de los ensayos de laboratorio más habituales en la realización de estudios geotécnicos.

**Tabla 3.7. Ensayos de suelos y normativa aplicable**

<b>Propiedad</b>	<b>Ensayos</b>	<b>Norma</b>
Identificación	Granulometría por tamizado Granulometría por sedimentación Comprobación de la no plasticidad Límite líquido Límite plástico Límite de retracción	UNE 103101 :1995 UNE 103102 :1995 UNE 103104 :1993 UNE 103103 :1994 UNE 103104 :1993 UNE103108 :1996
Estado	Humedad natural Peso específico aparente Peso específico de las partículas	UNE 103300 :1993 UNE103301 :1994 UNE103302 :1994
Resistencia	Compresión simple Corte directo en cualquier situación de consolidación y drenaje Triaxial en cualquier situación de consolidación y drenaje	UNE 103400 :1993 UNE103401 :1998 UNE 103402 :1998
Deformabilidad	Ensayo edométrico	UNE103405 :1994
Colapsabilidad	Inundación en edómetro	UNE 103-406/06
Expansividad	Presión de hinchamiento nulo en edómetro Hinchamiento libre en edómetro	UNE 103602 :1996 UNE 103601 :1996
Contenido químico	Contenido en carbonatos Contenido cualitativo de sulfatos Contenido en materia orgánica	UNE 103200 :1993 UNE 103202 :1995 UNE 103204 :1993

La normativa indicada resultará válida hasta que se proceda a su sustitución debido a la aparición de nuevas normas o a la actualización de las existentes.



**Tabla 3.8. Ensayos de rocas y normativa aplicable**

Estado	Humedad natural Porosidad Densidad Absorción	ISRM parte 1:1977 ISRM parte 1:1977 ISRM parte 1:1977 ISRM parte 1:1977
Resistencia	Compresión simple Compresión triaxial Carga puntual Módulo de Young y coeficiente de Poisson Brasileño (Tracción Indirecta) Resistencia al corte en discontinuidades	UNE 22-950 1ª parte:1990 UNE 22-950 4ª parte :1992 UNE 22-950 5ª parte :1996 UNE 22-950 3ª parte :1990 UNE 22-950 2ª parte :1990 ASTM D5607-08
Durabilidad	Desmoronamiento Ciclos de sequedad-humedad Los Ángeles Velocidad de ondas	NLT 255 :1999 NLT 251:1996 UNE-EN 1097-2:1999 ASTM D-2845-08

### 3.4. CLASIFICACIONES DE SUELOS Y ROCAS

El objeto de las clasificaciones de suelos y rocas es establecer unas bases sobre las cuales pueden agruparse los mismos en función de sus propiedades físico-químicas y de su apariencia. Las clasificaciones permiten establecer unos tipos o grupos de suelos y rocas, a los que se les puede atribuir unas propiedades físicas concretas y un comportamiento geomecánico similar.

#### 3.4.1. Clasificación de suelos

Los principios básicos para la identificación y clasificación de suelos, en base a aquellas características de los materiales y de sus componentes más comúnmente utilizadas para suelos por la ingeniería geotécnica, se recogen en las normas UNE-EN ISO 14688-1 y UNE-EN ISO 14688-2.

La clasificación de Casagrande, o Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), permite clasificar el suelo a partir de los resultados obtenidos en el análisis granulométrico y límites de Atterberg.



Tabla 3.9. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (U.S.C.S.)

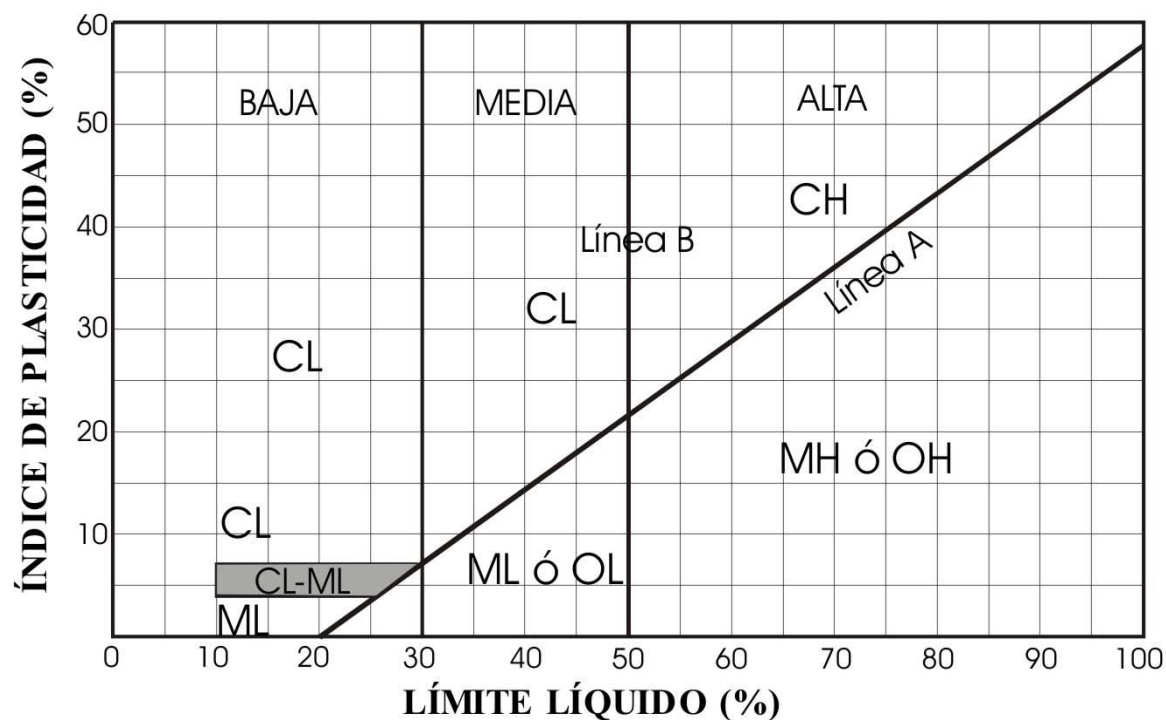
GRUPOS PRINCIPALES			CLASES	DESCRIPCIÓN	
Suelos de grano grueso:  Más del 50 % de material es retenido en el tamiz nº 200 ASTM (0,08 UNE).	<b>Gravas y suelos con gravas:</b>  Más del 50 % de la fracción gruesa es retenida en el tamiz 5 UNE.	Gravas limpias (poco o nada de finos)	<b>GW</b>	Gravas bien graduadas. Mezclas de gravas y arenas con pocos o nada de finos	
			<b>GP</b>	Gravas mal graduadas. Mezclas de gravas y arenas con pocos o nada de finos	
		Gravas con finos (considerable cantidad de finos)	<b>GM</b>	Gravas limosas. Mezclas de grava-arena-limo.	
			<b>GC</b>	Gravas arcillosas. Mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla	
	<b>Arenas y suelos arenosos:</b>  Más del 50 % de la fracción gruesa pasa por el tamiz 5 UNE.	Arenas limpias (poco o nada de finos)	<b>SW</b>	Arenas bien graduadas. Arenas con gravas, poco o nada de finos.	
			<b>SP</b>	Arenas mal graduadas. Arenas con gravas, poco o nada de finos.	
			Arenas con finos (considerable cantidad de finos)	<b>SM</b>	Arenas limosas. Mezclas de arena y limo
				<b>SC</b>	Arenas arcillosas. Mezclas de arena y arcilla
Suelos de grano fino:  Más del 50 % de material pasa por el tamiz nº 200 ASTM (0,08 UNE)	<b>Limos y arcillas:</b>  (límite líquido menor de 50)		<b>ML</b>	Limos inorgánicos y arenas muy finas; arenas arcillosas o limosas; limos arcillosos poco plásticos.	
			<b>CL</b>	Arcillas inorgánicas poco plásticas; arcillas con gravas, arcillas arenosas y limosas.	
			<b>OL</b>	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de poca plasticidad	
	<b>Limos y arcillas:</b>  (límite líquido mayor de 50)		<b>MH</b>	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas.	
			<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada.	
			<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.	
SUELOS MUY ORGÁNICOS			<b>PT</b>	Suelos turbosos u otros de alto contenido orgánico.	

La clasificación de los suelos de grano fino se debe efectuar mediante el diagrama de plasticidad de Casagrande (Fig. 3.1.), en función de los valores del límite líquido e índice de plasticidad.



Las características plásticas de la fracción fina condicionan especialmente las propiedades del conjunto del suelo.

**Figura 3.1. Diagrama de plasticidad de Casagrande**



Los piroclastos sueltos constituyen un tipo de suelos granulares con comportamiento geomecánico y propiedades físicas singulares, que precisan de un estudio particularizado en el ámbito de la mecánica de suelos. Se clasifican atendiendo a sus características granulométricas y a su naturaleza (Tabla 3.10.).

**Tabla 3.10. Clasificación de piroclastos sueltos**

Tamaño de partículas (mm)	Denominación
> 64	<b>Bloques</b>
	<b>Bombas</b>
	<b>Escorias</b>
2 – 64	<b>Lapilli</b>
< 2	<b>Cenizas</b>

### 3.4.2. Clasificación de rocas

Atendiendo a su origen, las rocas se clasifican en ígneas, sedimentarias y metamórficas, tal y como se recoge en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11. Clasificación de rocas**

Rocas sedimentarias		Conglomerados, areniscas, limonitas, argilitas, margas, calizas, calizas margosas, calcarenitas, dolomías, yesos
Rocas metamórficas		Cuarcitas, pizarras, esquistos, gneises, corneanas, mármoles
Rocas ígneas	Rocas plutónicas	Granitos, dioritas, gabros, pórfidos, peridotitas
	Rocas volcánicas	Basaltos, traquitas, fonolitas, ofitas, riolitas, andesitas, dacitas

Las Islas Canarias constituyen un territorio singular respecto al resto del territorio del Estado Español, ya que se trata de un archipiélago de origen volcánico constituido fundamentalmente por materiales de esa naturaleza, donde las rocas de otro origen no se encuentran o aparecen de forma anecdótica. Además, las Islas Canarias son una de las regiones volcánicas más complejas e interesantes del planeta, pues alberga prácticamente todo el espectro de rocas volcánicas existentes.

Dada esta singularidad y variabilidad, en el Apéndice 1 “Clasificación de los materiales volcánicos de las Islas Canarias”, se presenta una clasificación que incluye a los macizos rocosos altamente cohesivos y a los depósitos piroclásticos débilmente soldados. Esta clasificación ordena a los materiales volcánicos en litotipos de interés geotécnico.



## PARTE 4ª

### EL INFORME GEOTÉCNICO

#### 4.1. CONTENIDO DEL INFORME GEOTÉCNICO

El Estudio Geotécnico es el compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica, que es necesario para proceder al análisis y dimensionado de los cimientos de éste u otras obras.

El Informe Geotécnico deberá ser elaborado por el Técnico Autor del Estudio Geotécnico, que podrá ser el Proyectista u otro técnico competente. Contará con el preceptivo visado colegial e incluirá los apéndices o anejos que sean pertinentes. El formato será libre aunque, al menos, deberá contener los siguientes aspectos o apartados:

##### 4.1.1. Índice de documentos

Se aportará la relación y paginación de los diversos apartados y apéndices o anejos del informe.

##### 4.1.2. Antecedentes

En este apartado se incluirán necesariamente los siguientes datos:

- Empresa o entidad contratante.
- Proyectista.
- Localización y descripción topográfica del lugar.
- Descripción del edificio proyectado. Las características del edificio deben contener los datos necesarios para la planificación de la campaña geotécnica definida en la presente Guía. Dichos datos corresponden, según el apartado 2.5, a los siguientes:
  - Categoría del edificio según el Documento Básico SE-C del CTE.
  - Dimensiones y área de contacto del edificio con el terreno.
  - Número de plantas incluido sótanos y áticos.
  - Profundidad o altura máxima de desmontes, excavaciones o terraplenes.
  - Luces media y máxima entre apoyos contiguos.
  - Presencia y espesor, en su caso, de rellenos antrópicos superficiales.
  - Cimentaciones próximas: tipología, patologías, etc.
  - Cargas a transmitir.
  - Desniveles esperables o que se van a producir como consecuencia de las excavaciones.
- Laboratorios que han realizado los trabajos de campo y laboratorio.



### 4.1.3. Resumen de trabajos realizados

Se desglosará en dos apartados: Trabajos de campo y ensayos de laboratorio.

#### 4.1.3.1. Trabajos de campo

- Número total y profundidades alcanzadas en sondeos, penetrómetros y calicatas (con inclusión de cotas relativas de embocaduras, según lo descrito en el apartado 3.1.3).
- Número y tipos de muestras tomadas. Tipo y diámetro de tomamuestras o puntaza, dispositivo de golpeo, etc.).
- Tabla o cuadro resumen de ensayos SPT y muestras inalteradas: sondeo, cotas, golpes parciales,  $N_{20}$ ,  $N_{SPT}$ , tipo de suelo, etc.
- Comentarios o aspectos más relevantes deducidos a partir de la campaña de campo.
- Normativa empleada.

#### 4.1.3.2. Ensayos de laboratorio

- Número y tipo de ensayos de laboratorio efectuados. Normativa empleada en cada caso.
- Descripción breve del alcance de cada uno de ellos.
- Cuadros-resumen de los resultados obtenidos. Comentarios de los aspectos más relevantes.

### 4.1.4. Geología general

En este apartado se describirán los aspectos geológicos generales del área investigada y sus implicaciones geotécnicas. Se tratarán, entre otros, los siguientes aspectos:

- Rasgos topográficos básicos del solar.
- Marco geológico general: Estratigrafía y tectónica.
- Unidades geotécnicas (Mapa de Zonificación Geotécnica de Canarias y tipo de terreno CTE).
- Hidrología e hidrogeología.
- Geomorfología.
- Riesgos geológicos previsibles (inundación, inestabilidad de laderas naturales, tubos volcánicos o cavidades irregulares superficiales, expansividad, etc.).
- Anomalías o singularidades que pudieran estar presentes.

La extensión y grado de detalle de cada uno de estos aspectos dependerá de las características de la edificación y la problemática geológica concreta asociada a la localización de la misma.





#### **4.1.5. Características geológicas y geotécnicas del terreno**

Comprenderá, en base a las prospecciones efectuadas y resultados obtenidos, la descripción geológica y geotécnica del subsuelo de la zona o solar investigado.

##### **4.1.5.1. Estratigrafía local**

Se describirá la naturaleza litológica, espesores y disposición de los terrenos o capas detectados. En apéndices o anejos se incluirán perfiles o correlaciones estratigráficas deducidas a partir de la información obtenida en los distintos puntos de reconocimiento.

En su caso, se indicarán las direcciones e inclinaciones o buzamientos de los estratos, estabilidad natural, presencia de fallas o huecos, cartografía geológica en superficie, etc.

##### **4.1.5.2. Características geotécnicas**

Las distintas capas y materiales detectados se sintetizarán en unidades geotécnicas de características similares, que deberán quedar suficientemente definidas en lo relativo a su distribución, extensión, espesores, rasgos litológicos y propiedades geotécnicas. Para ello se deberán realizar los perfiles geotécnicos longitudinales y transversales que mejor representen la distribución de estas unidades. Conforme al CTE, en el caso de edificios de categoría C-0 y C-1 el número mínimo de perfiles será de dos, mientras que en el resto será de tres.

Cada unidad geotécnica se caracterizará a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de campo y laboratorio efectuados y se identificará en los términos recogidos en esta Guía. A partir de estos resultados, y en base a cálculos directos o correlaciones empíricas, se definirán las magnitudes de los parámetros geotécnicos asignados a cada una de estas unidades que intervengan en cualquiera de los cálculos contenidos en el informe.

#### **4.1.6. Condiciones de cimentación**

Se indicarán las posibles soluciones o alternativas de cimentación y todos los aspectos referidos a otras partes de la obra o proyecto sobre las que influye el suelo. Estas deben ser lo más amplias y menos restrictivas posibles con objeto de no limitar la libertad de elección del Proyectista o calculista:

##### **4.1.6.1. Tipo de cimentación, cargas y asientos admisibles**

- Zonificaciones del terreno cuando sean recomendables distintos tipos de cimentación o la ocupación de áreas preferenciales.
- Cotas de apoyo de cimentación.
- Presión vertical admisible (y de hundimiento) en valor total y, en su caso, efectivo, tanto bruta como neta.
- Presión vertical admisible de servicio (asientos tolerables) en valor total y, en su caso, efectivo, tanto bruta como neta.
- En el caso de pilotes, resistencia al hundimiento desglosada en resistencia por punta y por fuste. Tipo de pilote.



- Parámetros geotécnicos del terreno para el dimensionado de elementos de contención. Empujes del terreno: activo, pasivo y en reposo.
- Datos de la ley “tensiones en el terreno-desplazamiento” para el dimensionado de elementos de pantallas u otros elementos de contención.
- Módulos de balasto para idealizar el terreno en cálculos de dimensionado de cimentaciones y elementos de contención, mediante modelos de interacción suelo-estructura, en función de la geometría y dimensiones previstas.
- Resistencia del terreno frente a acciones horizontales.
- Asientos y asientos diferenciales, esperables y admisibles para la estructura del edificio y de los elementos de contención que se pretende cimentar.

#### 4.1.6.2. Excavabilidad, nivel freático, agresividad y condiciones de estabilidad

- Calificación del terreno desde el punto de vista de su ripabilidad, procedimiento de excavación y terraplenado más adecuado. Taludes estables en ambos casos, con carácter definitivo y durante la ejecución de las obras.
- Situación del nivel freático y variaciones previsibles. Influencia y consideración cuantitativa de los datos para el dimensionado de cimentaciones, elementos de contención, drenajes, taludes e impermeabilizaciones.
- Proximidad a corrientes de agua que pudieran alimentar el nivel freático o dar lugar a la socavación de los cimientos, arrastres, erosiones o disoluciones.
- Cuantificación de la agresividad del terreno y de las aguas que contenga, para su calificación al objeto de establecer las medidas adecuadas a los hormigones en cimentaciones y elementos de contención, de acuerdo a la normativa vigente.
- Cuantificación de cuantos datos relativos al terreno y a las aguas que contenga sean necesarios para el dimensionado del edificio, en aplicación de la normativa vigente.
- Cuantificación de los problemas que la excavación pudiera generar, especialmente en el caso de edificaciones o servicios próximos existentes y las afecciones a éstos.
- Estudio de la línea límite de acercamiento de la excavación a las medianeras, a realizar con el Proyectista. En función del terreno existente, de las construcciones e infraestructuras limítrofes y de los requerimientos funcionales del edificio se establecerá una primera aproximación a lo que sería el límite razonable de acercamiento de la excavación al lindero.
- Relación de asuntos concretos, valores determinados y aspectos constructivos a confirmar después de iniciada la obra, al inicio de las excavaciones, o en el momento adecuado que así se indique, y antes de ejecutar la cimentación, los elementos de contención o los taludes previstos.

#### 4.1.6.3. Sismicidad

Al igual que en el resto del territorio nacional, la peligrosidad sísmica en la Comunidad Autónoma de Canarias queda definida según la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02 (R. D. 997/2002 de 27 de septiembre), mediante dos parámetros:

- El coeficiente de contribución, (K), que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremoto que cabe esperar y afecta al espectro de respuesta característico del movimiento sísmico.



- La aceleración sísmica básica, ( $a_b$ ), que es un valor representativo de la aceleración horizontal del terreno. Está expresado en relación al valor de la gravedad y está determinado de forma probabilística para un periodo de retorno (T) de 500 años y una esperanza de vida útil de la obra (t) de 50 años.

El coeficiente de contribución tiene un valor unidad, constante en toda la región. El valor de la aceleración sísmica básica también es constante en toda la región e igual a 0.04 g. Para extrapolar a otros niveles de riesgo (por ejemplo a edificios de singular importancia) la propia normativa proporciona las expresiones correspondientes.

En el artículo 1.2.3 de la norma NCSE-02 sobre “Criterios de aplicación de la Norma”, se describen textualmente los siguientes supuestos donde no es obligatoria su aplicación:

- En las construcciones de importancia moderada.
- En las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica  $a_b$  sea inferior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad.
- En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica  $a_b$  (art. 2.1) sea inferior a 0,08 g. No obstante, la Norma será de aplicación en los edificios de más de siete plantas si la aceleración sísmica de cálculo,  $a_c$  (art. 2.2) es igual o mayor de 0,08 g.

El término “pórtico bien arriostrado” debe ser transmitido al Técnico Autor del Estudio Geotécnico por el Proyectista.

Para obtener la aceleración sísmica de cálculo deberá identificarse, además de los parámetros mencionados (K y  $a_b$ ), la clasificación de cada unidad geotécnica a efectos de su comportamiento sísmico según la NCSE-02, valorando el coeficiente de suelo C en cada emplazamiento como promedio del valor de cada unidad geotécnica ponderado con su espesor. Si la profundidad de investigación no alcanza los 30 m se justificará el valor asignado a cada estrato por debajo de la profundidad explorada. Si los resultados de los distintos sondeos son diferentes se evaluará, justificadamente, el valor C que se debe utilizar para obtener la acción sísmica del emplazamiento, así como el cálculo de dicho efecto en el edificio y sus cimientos.

#### 4.1.6.4. Otras consideraciones

Se indicarán, dependiendo de las condiciones geológicas del entorno y las características particulares de la estructura, otras precauciones a adoptar durante la ejecución de los trabajos o vida útil de la estructura.

- Profundidad del nivel freático y oscilaciones. Necesidades y problemática del bombeo o achique del agua, permeabilidades estimadas, subpresión, sifonamiento, etc.
- Riesgo de inundación (precauciones y soluciones).
- Riesgo de erosión y socavación en zonas próximas a cauces de arroyos, barrancos, etc.
- Agresividad del terreno y aguas.
- Suelos colapsables o expansivos. Problemas previsibles y soluciones a adoptar.
- Tubos volcánicos o cavidades. Problemas previsibles y forma de evitar su influencia.



- Aspectos o elementos que requieran ser comprobados durante la construcción.
- Cimentaciones profundas: tipo de pilote recomendado, valores de resistencias unitarias por fuste y punta, empotramiento, etc.
- Trabajos complementarios a realizar en fases posteriores, antes o durante la obra, a fin de subsanar las limitaciones que se hayan podido observar.
- Dada la orografía de las Islas Canarias, puede resultar especialmente problemático el estudio de la estabilidad de los taludes naturales o artificiales que afecten temporal o definitivamente a las construcciones. Es competencia del Técnico Autor del Estudio Geotécnico la definición del alcance y estudios de estabilidad pertinentes, así como de todas aquellas medidas de contención o de drenaje que sean necesarias introducir en el terreno.
- De particular importancia en las Islas Canarias puede resultar la presencia de cavernas, oquedades, vacíos, etc., que perjudiquen el buen comportamiento de la cimentación prevista. Si tales eventualidades pudieran presentarse, el Informe Geotécnico deberá dar las recomendaciones pertinentes para hacer frente a estos riesgos.
- El estudio de la sostenibilidad como concepto global que requiere que se satisfagan una serie de criterios medioambientales, así como otros de carácter económico y social. La contribución a la sostenibilidad depende, por lo tanto, del cumplimiento de criterios como el uso racional de la energía empleada (tanto para la elaboración de los productos de construcción, como para el desarrollo de la ejecución), el empleo de recursos renovables, el empleo de productos reciclados y la minimización de los impactos sobre la naturaleza como consecuencia de la ejecución.

#### 4.1.7. Resumen y conclusiones

En este apartado se incluirá un resumen de las conclusiones y recomendaciones indicadas en el apartado anterior, pudiendo hacer alusión a cualquier apartado del informe en el que se detallen o expliquen las características geotécnicas del terreno, factores de riesgo o los procedimientos y/o condiciones de cimentación recomendadas.

#### 4.1.8. Apéndices o anejos

El Informe Geotécnico debe contener, como mínimo, y si no se intercalan o presentan junto con el texto, los siguientes apéndices o anejos:

##### 4.1.8.1. Planos

Contendrá el plano o planos suficientes para permitir, a cualquier persona ajena a la realización de los trabajos geotécnicos, la determinación inequívoca del emplazamiento del solar o parcela en el municipio y la situación de los trabajos de campo o puntos de reconocimiento en el mismo.

##### 4.1.8.2. Columnas litológicas de sondeos

En este anejo se recogerán las columnas litológicas de los sondeos efectuados, señalando la cota relativa de embocadura de los mismos e incluyendo los siguientes datos:

- Datos identificativos (cliente, obra, empresa, número de sondeo, situación, fechas, etc.).



- Maquinaria empleada.
- Diámetro de perforación, tipo de batería, revestimiento y coronas utilizadas.
- Porcentaje de recuperación de testigos.
- Profundidades y descripción de la naturaleza litológica de los terrenos detectados.
- Nivel freático y variaciones observadas.
- Normativa o procedimiento empleado para la toma de los distintos tipos de muestras.
- Cotas del principio y del fondo, tipo, golpes parciales y diámetro exterior e interior de cada tomamuestras.
- Resultados más significativos de los ensayos de campo (SPT) y de laboratorio efectuados (ensayos de identificación, resistencia a compresión simple, corte directo o triaxial, edométricos, ensayos de expansividad, análisis químicos, otros, etc.).
- Observaciones (incidencia durante la perforación o toma de muestras, colocación de tubería piezométrica, anomalías o singularidades encontradas, etc.)

En sondeos en roca deberán incluirse, además de los indicados, las longitudes de avance de cada maniobra, el grado de meteorización, el análisis de las juntas y el índice RQD (Rock Quality Designation).

#### 4.1.8.3. Diagramas de penetración

Se adjuntarán los gráficos o curvas de penetración dinámica (profundidad-número de golpes) o estática (profundidad-resistencia por punta y fuste). En dichos gráficos se incluirán, asimismo, los datos indicados en los apartados 3.2.4 y 3.2.5, según la normativa empleada en cada caso.

#### 4.1.8.4. Columnas litológicas de calicatas

Las columnas estratigráficas de las calicatas contendrán, al menos, los siguientes datos:

- Identificación de los trabajos (empresa, lugar y referencia de obra).
- Identificación de la calicata (número, situación y fecha de realización).
- Tipo y potencia de maquinaria (retroexcavadora) empleada.
- Columna estratigráfica, indicando espesores y naturaleza de los terrenos. Tipo y profundidad a la que se han tomado las muestras.
- Situación del nivel freático o posibles humedades y rezumes de agua.
- Condiciones de estabilidad de las paredes (deficiente, regular, adecuada, etc.).
- Condiciones de excavabilidad (fácil, media, difícil, etc.).
- Cuadro resumen con los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados.

En algunos casos resultará conveniente incluir secciones, fotografías o detalles de las mismas acotando y/o especificando la naturaleza de determinados elementos (cimentaciones de edificios próximos, soleras, viales, etc.) o terrenos (suelo vegetal, rellenos, echadizos artificiales, etc.).



#### 4.1.8.5. Otros ensayos de campo

Se recogerán en este apéndice cualquier otro tipo de ensayos de campo que se hayan realizado en trabajos diferentes a sondeos, penetrómetros o calicatas (como por ejemplo técnicas geofísicas, presiómetros, ensayos de permeabilidad "in situ", ensayos de carga de terrenos con placa, etc.). En este caso deberá indicarse el tipo de ensayo, dispositivo utilizado y la descripción del método y normativa empleada para su ejecución.

#### 4.1.8.6. Perfiles o correlaciones estratigráficas entre sondeos

En base a la información obtenida, fundamentalmente en sondeos y/o calicatas, se incluirán perfiles o correlaciones estratigráficas interpretativas en las que se señale la escala horizontal y vertical. En el caso de que no se pudiera establecer correlación alguna se evitará establecerlas de forma que pudiera llevar a falsas suposiciones. En este caso se situarán pequeñas columnas estratigráficas en los puntos inspeccionados.

Estos perfiles se realizarán agrupando materiales de características similares que permitan definir la unidades geotécnicas indicadas en el apartado 4.1.5 y deberán elegirse los que mejor representen la distribución de las mismas. Conforme al CTE, el número mínimo de perfiles a realizar para edificios de categoría C-0 y C-1 será de dos y para el resto de edificios de tres.

#### 4.1.8.7. Anejo de ensayos

En este anejo se recogerán las actas de todos los ensayos efectuados por el laboratorio. La presentación de estos resultados se ajustará a la normativa exigida.

Por otro lado, y con objeto de facilitar la comprobación o revisión de los datos contenidos en el informe por cualquier persona ajena a su realización, se recomienda incluir, al principio de este anejo, un cuadro resumen de los ensayos de laboratorio ordenados por sondeos (y/o penetrómetros y calicatas) y por profundidades, e identificando las diferentes muestras.

#### 4.1.8.8. Cálculos justificativos

Se detallarán las bases de partida, las hipótesis, formulaciones o correlaciones empíricas empleadas, los cálculos efectuados, los coeficientes de seguridad adoptados y los valores finales recomendados. También se deberán incorporar los datos geotécnicos, procedimientos y resultados de los cálculos efectuados para la determinación de la carga admisible, asentos, estabilidad de taludes naturales y otros parámetros de proyecto (coeficiente o módulo de balasto, cohesión, ángulo de rozamiento del terreno, etc.).

#### 4.1.8.9. Reportaje fotográfico

Se deberá incluir un reportaje fotográfico relativo al solar, excavaciones, calicatas, emplazamiento de maquinaria y cajas portatestigos de sondeos, etc.

#### 4.1.8.10. Plan de ejecución de la excavación

Para las Unidades Vb, VII, VIII, IX y X se deberá incluir como anejo el plan de ejecución de las excavaciones para evitar alteraciones sucesivas tanto del plano de cimentación como de los frentes excavados. En todo momento se hará referencia a las condiciones meteorológicas previstas mientras dure la fase de excavación y contención definitiva.





#### 4.1.8.11. Comprobaciones en la fase de construcción

Si en el Estudio Geotécnico se han indicado expresamente algunos aspectos o elementos que deban ser comprobados durante la construcción, las observaciones de los mismos se recogerán de manera específica en un anejo al informe.

#### 4.1.8.12. Anejos varios

En estos otros anejos se podrán aportar algunos datos complementarios que, no habiéndose incluido anteriormente, resulten de interés tales como una lista de símbolos o expresiones empleadas, clasificación granulométrica, diagrama de plasticidad de Casagrande, Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (U.S.C.S.), tablas o correlaciones incluidas en esta Guía y en el CTE o cualquier otra información que resulte de interés para el Proyectista de la edificación prevista.

#### 4.1.8.13. Supervisión de los sondeos

Tiene que especificarse, en la oferta y en el informe, si la supervisión de los sondeos ha sido realizada por el Técnico Autor del Estudio Geotécnico:

- Que estuvo permanentemente a pie de sondeo.
- Que visitó diariamente el sondeo y describió las muestras "in situ".
- Que visitó esporádicamente el sondeo (nº de visitas).

#### 4.1.8.14. Responsabilidad civil

Es necesario que el Técnico Autor del Estudio Geotécnico tenga suscrita una póliza de responsabilidad civil suficiente, destinada a cubrir las responsabilidades derivadas de errores en su actuación profesional (Art.17 de la LOE), que cubra los daños potenciales causados por la actuación profesional, derivados de las conclusiones del Informe Geotécnico.

### **4.2. CONFIRMACIÓN DEL INFORME GEOTÉCNICO**

Una vez iniciada la obra y las excavaciones, a la vista de los terrenos excavados y de la situación precisa de los elementos de cimentación, el Director de Obra apreciará la validez y suficiencia de los datos aportados por el Informe Geotécnico, adoptando en caso de discrepancia las medidas oportunas para la adecuación de la cimentación y del resto de la estructura a las características geotécnicas del terreno.

Por otro lado y si en el Informe Geotécnico se han indicado expresamente algunos aspectos o elementos que deban ser comprobados durante la construcción, las observaciones de los mismos se recogerán de manera específica en un anexo al Informe Geotécnico.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- ACESEG (1996). Recomendaciones para la realización de sondeos y estudios geotécnicos.
- AENOR (1999).- Eurocódigo 7. Proyecto Geotécnico. Parte 1: Reglas generales.
- AENOR (1999).- Eurocódigo 7. Proyecto Geotécnico. Parte 2: Proyecto Asistido por Ensayos de Laboratorio.
- AENOR (1999).- Geotecnia. Ensayos de Campo y de Laboratorio.
- AENOR (2001).- Ejecución de trabajos geotécnicos especiales.
- Alvarez-Camacho, S., Lamas, F., Hernández, L.E. (2010). Geotechnical map and foundation solutions of Santa Cruz de Tenerife (Spain)". En Olalla et al. (Edts): "Volcanic Rock Mechanics. Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-0-415-58478-4. Pág. 215-220.
- ASTM (2001).- Annual Book of ASTM Standards. Construction. Soil and Rock (I).
- Braja M. Das (1998). Principles of Foundation Engineering. PWS Publishing. Pacific Grove, California. 862 pp.
- Canadian Geotechnical Society (1985).- Canadian Foundation Engineering Manual.
- Código Técnico de la Edificación. CTE (2006). Documento Básico SE-C. Seguridad Estructural. Cimientos.
- Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Región de Murcia (2007).- Guía de Planificación de Estudios Geotécnicos para la Edificación en la Región de Murcia Adaptada al Código Técnico en la Edificación.
- Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Aguas del Gobierno de Canarias. Viceconsejería de Infraestructuras (2005).- Estudio de Caracterización Geotécnica de las Rocas Volcánicas de las Islas Canarias. Asistencia Técnica AT-SGT-01.
- Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Aguas del Gobierno de Canarias. Viceconsejería de Infraestructuras-CEDEX (2007).- Caracterización Geotécnica de los Piroclastos Canarios Débilmente Cementados.



- Consejería de Infraestructuras, Transportes y Vivienda del Gobierno de Canarias. Viceconsejería de Infraestructuras y Planificación (2008).- Elaboración de los Mapas de Zonificación Geotécnica de las Islas Canarias. Asistencia Técnica AT-SGT-02.
- Del Potro, R., Hürlimann, M. (2008). Geotechnical classification and characterisation of materials for stability analyses of large volcanic slopes. *Engineering Geology* 98: 1-17.
- Ferrer, M., González de Vallejo, L.I., (1999) Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME. Madrid. 109 pp.
- González de Vallejo, Luis I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación. 744 pp.
- González de Vallejo, L.I., Hijazo, T., Ferrer (2008). Engineering geological properties of the volcanic rocks and soils of the Canary Islands. *Soils and Rocks* 31: 3-13.
- González de Vallejo, L.I., Ferrer, M (2006) Caracterización geomecánica de los materiales volcánicos de Tenerife. IGME. Madrid. 147 pp.
- Hernández, L.E., Rodríguez-Losada, J.A., Olalla, C., Garrido-Manrique, J., 2010. Geotechnical investigation guide for building in volcanic environments. En Olalla et al. (Edts): *Volcanic Rock Mechanics*. Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-0-415-58478-4. Pág. 249-254.
- Hernández-Gutiérrez, L.E., Rodríguez-Losada, J.A. (2006). Estimative rock mass parameters applied to the Canarian volcanic rocks based on the Hoek-Brown failure criterion and equivalent Mohr-Coulomb limits as a contribution in natural hazards. 300th Anniversary Volcano International Conference (Congreso de vulcanología GARAVOLCAN), Session 1. Garachico, Tenerife. 22-26 de mayo de 2006.
- IGME (1986). Bases para la ordenación minera y ambiental de la extracción de picón en las Canarias (Tenerife, Lanzarote y Gran Canaria).
- IGME (1976).- Mapa Geotécnico General 1:200.000. Arrecife.
- IGME (1974).- Mapa Geotécnico General 1:200.000. Las Palmas de Gran Canaria.
- IGME (1976).- Mapa Geotécnico General 1:200.000. Puerto del Rosario.
- IGME (1986).- Mapa Geotécnico General 1:200.000. San Sebastián de la Gomera.



- IGME (1976).- Mapa Geotécnico General 1:200.000. Santa Cruz de La Palma.
- IGME (1974).- Mapa Geotécnico General 1:200.000. Santa Cruz de Tenerife.
- IGME (1986).- Registro de Datos en Sondeos de Reconocimiento.
- INCE (1982).- RTA. Estudios Geotécnicos.
- Instituto Valenciano de la Edificación (2000).- Guía para la Planificación de Estudios Geotécnicos.
- Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Anejo 20. Real Decreto 1247/2008 de 18 de julio. B.O.E 203 de 22 de agosto de 2008.
- ISRM (2007). "The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring:1974-2006", Edited by R. Ulusay and J.A. Hudson.
- Jiménez Salas, J.A. y Justo Alpañes, J.L (1975).- Geotecnia y Cimientos I. Propiedades de los Suelos y las Rocas. Editorial Rueda. Madrid. 466 pp.
- Jiménez Salas, J.A., Justo Alpañes, J.L y Serrano González, A. (1981).- Geotecnia y Cimientos II. Mecánica del Suelo y de las Rocas. Editorial Rueda. Madrid. 1188 pp.
- Lomoschitz Mora-Figueroa, A (1996).- Dpto. de Construcción Arquitectónica ULPGC. Mecánica del Suelo y Cimentaciones Nº 1. Caracterización Geotécnica del Terreno, con Ejemplos de Gran Canaria y Tenerife.
- Lomoschitz, A; Jiménez López, J.R.; Yepes, J. Pérez Luzardo, J.M.; Macías-Machin, A.; Socorro, M.; Hernández-Gutiérrez, L.E.; Rodríguez-Losada, J.A.; Olalla Marañón, C. (2006). Basaltic lapilli used for construction purposes in the Canary Islands, Spain. Environmental & Engineering Geoscience, XII(4): 327-336.
- López Jimeno, C., López Jimeno, E., Ramírez Ortega, A., Toledo Santos, J.M. (2000). Manual de Sondeos. Editor Carlos López Jimeno. Madrid. 699 pp.
- Ministerio de Fomento (2002).- R.D. 997/2002, Norma de Construcción Sismorresistente (NCSR-02)
- MOPU (1975).- NTE- CEG. Estudios Geotécnicos.



- Peiró Pator, R. (1997).- Tierra y Tecnología, números 16 y 17. Caracterización Geotécnica de los Materiales Volcánicos del Archipiélago Canario.
- Puy Huarte, Jesús (1981).- Procedimientos de sondeos. Publicaciones científicas de la Junta de Energía Nuclear. Madrid. 663 pp.
- Regueiro, M. (Editor). Varios autores (2008). Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España. 188 pp. Ministerio de Vivienda. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
- Rodríguez-Losada, J.A., Hernández-Gutiérrez, L.E. (2006). "New geomechanical data of the Canarian volcanic rocks as a contribution for geophysics applied to the research in volcanic risk". 300th Anniversary Volcano International Conference (Congreso de vulcanología GARAVOLCAN), Session 2. Garachico, Tenerife. 22-26 de mayo de 2006.
- Rodríguez-Losada, J.A., Hernández-Gutiérrez, L. E., Lomoschitz Mora-Figueroa, A. (2007). "Geotechnical features of the welded ignimbrites of the Canary Islands". International Workshop on Volcanic Rocks W2. 11 ISRM Congress . Ponta Delgada (San Miguel, Azores). 13-16 julio.
- Rodríguez-Losada, J. A., Hernández-Gutiérrez, L. E., Olalla Marañón, C., Perucho Martínez, A., Serrano González, A. Rodrigo del Potro (2007). "The volcanic rocks of the Canary Islands. Geotechnical properties". International Workshop on Volcanic Rocks W2. 11 ISRM Congress. Ponta Delgada (San Miguel, Azores). 13-16 julio.
- Rodríguez-Losada, J.A.; Hernández-Gutiérrez, L. E.; Olalla Marañón, C.; Perucho Martínez, A.; y Serrano González, A.; (2008). "Propiedades geotécnicas de las rocas volcánicas altamente cohesivas y de los macizos rocosos de las Islas Canarias". VII Congreso Geológico de España. Sesión de Ingeniería Geológica y Geotecnia. Las Palmas de Gran Canaria 14-18 julio. Geo-Temas 10: 273. Edición digital: 899-902
- Rodríguez-Losada, J.A., Hernández-Gutiérrez L.E., Olalla, C., Perucho, A., Serrano, A., Eff-Darwich, A., (2009). "Geomechanical parameters of intact rocks and rock masses from the Canary Islands: Implications on their flank stability". Journal of Volcanology and Geothermal Research 182 (2009) 67–75.
- Rodríguez-Losada, J.A.; Eff-Darwich, A.; Hernández-Gutiérrez, L.E.; Olalla, C. Perucho, A.; Serrano, A. (2010). Slope stability in the Canary volcanoes based on geotechnical criteria. Actas del 3rd International Workshop Rock Mechanics and Geo-engineering in Volcanic Environments. 30 de Mayo - 1 de Junio de 2010. Puerto de la Cruz (Tenerife). 183-188.



- Serrano, A., Perucho, A., Olalla, C., Estaire, J. (2007). Foundations in volcanic zones. 14th European Conference on Soil Mechanics and Geot. Eng. Madrid. Pp 2121-2126. Spain.
- Serrano, A., Olalla, C. (2004). Foundations on rock using a non linear failure criterium. Artículos publicados en el International Journal of Rock Mechanics and Mining Science de 1994 a 2004 por A. Serrano y C. Olalla. Laboratorio de Geotecnia CEDEX. Ministerio de Fomento.
- Serrano, A., Olalla, C. Perucho, A. (2002). Evaluation of non-linear Strength Laws for Volcanic Agglomerates. EUROCK 2002. Madeira (Portugal).
- Serrano, A., Olalla, C. (2002). Carga de Hundimiento por Punta de Pilotes Roca“. Monografía M-71 CEDEX. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid.
- Serrano, A., Olalla, C. (1998). Carga de Hundimiento en un Macizo Rocosó Anisótropo con un criterio de Rotura no lineal. Monografía M-60 CEDEX. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid.
- Serrano, A., Olalla, C. (1998). Propiedades geotécnicas de los materiales canarios y problemas de cimentaciones y estabilidad de laderas en obras viarias. III Encuentro Nacional de la Carretera, Islas Canarias, pp. 175–212.
- Serrano, A., Olalla, C. (1996). Cargas Admisibles de Cimentaciones en Macizos Rocosos. Monografía M-54 CEDEX. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid.
- Serrano, A., Olalla, C. (1994). Carga de hundimiento en macizos rocosos. Monografía M-36 CEDEX. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid. 98 pp.





## APÉNDICE 1

### CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES VOLCÁNICOS DE CANARIAS

El objeto de esta clasificación es facilitar al ingeniero y arquitecto, con conocimientos limitados de geología, un medio para asignar un nombre a una roca, que tal vez no sea estrictamente correcto desde el punto de vista geológico, pero que permitiría situar a la misma dentro de una familia, y por tanto, ayudar a la identificación de problemas ingenieriles asociados con esa familia. Los nombres se han seleccionado principalmente entre aquellos que se utilizan en los libros no especializados en geología, y no se utilizan en sentido estricto, sino en término general para un amplio grupo de tipos de rocas (litotipos) relacionadas.

Los materiales rocosos altamente cohesivos se han clasificado en litotipos en función de los siguientes criterios:

- 1) Criterio litológico. Basado en la composición químico-mineralógica de las rocas. En el Archipiélago Canario la litología dominante es mayoritariamente basáltica en todas las islas. A esto hay que añadir la extraordinaria complejidad geológica de las islas centrales (Gran Canaria y Tenerife) donde además de los materiales mencionados, afloran en una proporción muy importante rocas de composición intermedia (traquibasaltos) y sálicas (traquitas y fonolitas). Así mismo, es también muy destacable en estas dos islas la existencia de ignimbritas de composición fonolítica y con texturas muy variadas.
- 2) Criterio textural. Basado en las características de los minerales que constituyen las rocas volcánicas, así como de sus tamaños. Los tipos de texturas presentes en los distintos tipos litológicos son los que se definen a continuación:
  - a) *Afanítica*: Sin cristales visibles. Presente en materiales basálticos, traquibasálticos, traquíticos y fonolíticos.
  - b) *Porfídica*: Con cristales visibles rodeados por una matriz micro o criptocristalina. Presente también en materiales basálticos y en los que los cristales visibles, pueden ser de augita y olivino (basaltos olivínico-piroxénicos) o de plagioclasa (basaltos plagioclásicos). También se puede encontrar olivino como mineral principal observable (picritas), si bien a efectos de definir litotipos, éstas pueden quedar integradas en el grupo de los olivínico-piroxénicos.
  - c) *Traquítica*: Propia de los términos traquíticos y fonolíticos, así llamada porque es el tipo de textura dominante en la mayoría de rocas de composición traquítica. Se caracteriza por la presencia de cristales visibles, fundamentalmente de feldespato sódico-potásico, piroxeno o anfíboles, rodeados por una matriz de pequeños cristales orientados o dispuestos al azar (afieltrados), de similar naturaleza.
- 3) Vesicularidad. Basado en la presencia o ausencia de vacuolas en el material rocoso. Dichas vacuolas se corresponden con burbujas de gas contenidas en la lava y que durante su desarrollo y migración hacia la superficie de la colada, quedaron atrapadas tras completarse el proceso de solidificación.

Los materiales piroclásticos débilmente cementados, pueden aparecer completamente sueltos o bien con una cierta cohesión entre los fragmentos debido a procesos de soldadura débil. En este caso, los criterios utilizados para su división en litotipos son:



- 1) Criterio litológico. Basado en la composición químico-mineralógica de los piroclastos. Se han diferenciado dos grandes grupos, los basálticos, de tonalidades oscuras o rojizas y los sálcos, de tonalidades más claras.
- 2) Tamaño de los piroclastos. De mayor a menor tamaño, los piroclastos se clasifican en escorias, lapilli o cenizas en el caso de los basálticos o en pómez o cenizas en el caso de los sálcos.
- 3) Estado de cementación. Conduce a materiales piroclásticos con los fragmentos débilmente cohesionados o completamente sueltos.

A partir de dichos criterios se estableció la siguiente clasificación de litotipos:

**Tabla A-1.1. LITOTIPOS DE LAS ISLAS CANARIAS**

ROCAS	BASALTOS (B)	OLIVÍNICO-PIROXÉNICOS (OP)	VACUOLARES (V)	B-OP-V
			MASIVOS (M)	B-OP-M
		PLAGIOCLÁSICOS (PL)	VACUOLARES (V)	B-PL-V
			MASIVOS (M)	B-PL-M
		AFANÍTICOS (AF)	VACUOLARES (V)	B-AF-V
			MASIVOS (M)	B-AF-M
	ESCORIÁCEOS (ES)			B-ES
	TRAQUIBASALTOS (TRQB)	TRQB		
	TRAQUITAS (TRQ)	TRQ		
	FONOLITAS (FON)	FON		
IGNIMBRITAS (IG)	SOLDADAS			IG-S
	NO SOLDADAS			IG-NS
PIROCLASTOS	PIROCLASTOS BASALTICOS	LAPILLI (LP)	SUELTO (S)	LPS
			CEMENTADO (T)	LPT
		ESCORIAS (ES)	SUELTO (S)	ESS
			CEMENTADO (T)	EST
		CENIZAS BASÁLTICAS (CB)	SUELTO (S)	CBS
			CEMENTADO (T)	CBT
	PIROCLASTOS SÁLICOS	PÓMEZ (PZ)	SUELTO (S)	PZS
			CEMENTADO (T)	PZT
		CENIZAS SÁLICAS (CS)	SUELTO (S)	CSS
CEMENTADO (T)			CST	



Las Ignimbritas son materiales de naturaleza piroclástica. Se han incluido en el grupo de las rocas por tratarse de materiales altamente cohesivos que, desde el punto de vista geotécnico, se estudian en el ámbito de la mecánica de rocas.

Para identificar los litotipos rocosos dentro de las unidades geotécnicas definidas en las Islas Canarias es necesario tener en cuenta cada caso particular a la hora de definir parámetros geotécnicos en cada unidad, considerando el estado de alteración que puedan presentar las rocas. Sin embargo, con carácter orientativo se puede establecer una correspondencia entre los litotipos BOPM, BOPV, BPLM, BPLV, BAFV, BAFM, BES, TRQB con las unidades III y IV. Los litotipos TRQ y FON con la unidad II. Los litotipos IGS, IGNS con la unidad Va. El conjunto de litotipos de materiales piroclásticos LPS, LPT, ESS, EST, CBS, CBT, PZS, PZT, CSS, CST se relaciona con la unidad geotécnica Vb.



## APÉNDICE 2

### PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LOS LITOTIPOS CANARIOS Y CORRELACIONES MÁS SIGNIFICATIVAS

#### SÍNTESIS DE LAS PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LAS UNIDADES ROCOSAS CON SUS LITOTIPOS

En este apartado y con carácter orientativo se presentan las propiedades geomecánicas de los materiales rocosos agrupados por litotipos correspondientes a materiales rocosos altamente cohesivos y las unidades geotécnicas que los agrupan. Estos valores se han obtenido como resultado de una primera campaña de toma de muestras de manera sistemática y generalizada en todas las Islas Canarias. Es de esperar que con futuras investigaciones se disponga de una mayor información que permita confirmar y matizar los resultados obtenidos.

Los valores que se ofrecen se refieren a muestras ensayadas en laboratorio con las fracciones sanas de los testigos.

**Tabla A-2.1. Peso específico aparente de las rocas de las Islas Canarias**

Peso específico aparente (kN/m <sup>3</sup> )					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
<b>BOPM</b>	27	1.88	<b>III, IV</b>	<b>23</b>	<b>2.78</b>
<b>BOPV</b>	22	3.35			
<b>BPLV</b>	23	1.72			
<b>BPLM</b>	24	1.93			
<b>BAFV</b>	20	3.79			
<b>BAFM</b>	26	1.86			
<b>BES</b>	21	4.31			
<b>TRQB</b>	24	3.39	<b>Ila</b>	<b>24</b>	<b>2.52</b>
<b>TRQ</b>	24	2.7			
<b>FON</b>	24	2.34			
<b>IGNS</b>	16	4.66	<b>Va</b>	<b>18</b>	<b>3.70</b>
<b>IGS</b>	21	2.74			
<b>Conjunto</b>	24	4.21	<b>Conjunto</b>	<b>22</b>	<b>3.00</b>



Tabla A-2.2. Velocidad de transmisión de ondas ultrasónicas de las rocas de las Islas Canarias

Velocidad de transmisión de ondas ultrasónicas (m/s)					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
<b>BOPM</b>	5040	842.9	<b>III, IV</b>	4198	870.30
<b>BOPV</b>	4435	900.9			
<b>BPLV</b>	3052	713.4			
<b>BPLM</b>	4071	739.3			
<b>BAFV</b>	4752	975			
<b>BAFM</b>	4752	975			
<b>BES</b>	2964	911.6			
<b>TRQB</b>	4513	904.3	<b>Ila</b>	4672	898.85
<b>TRQ</b>	4485	887.3			
<b>FON</b>	4858	910.4	<b>Va</b>	3121	817.55
<b>IGNS</b>	2592	896.8			
<b>IGS</b>	3649	738.3	<b>Conjunto</b>	3997	862.23
<b>Conjunto</b>	4377	1106.9			

Tabla A-2.3. Índice de carga puntual de las rocas de las Islas Canarias

Índice de carga puntual, $I_{s,50}$ (MPa)					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
<b>BOPM</b>	7	2.6	<b>III, IV</b>	5	2.39
<b>BOPV</b>	5	2.2			
<b>BPLV</b>	2	1.2			
<b>BPLM</b>	5	2.6			
<b>BAFV</b>	5	3.2			



<b>BAFM</b>	7	2.6			
<b>BES</b>	2	1.9			
<b>TRQB</b>	6	2.8			
<b>TRQ</b>	5	2.4	<b>Ila</b>	5	2.30
<b>FON</b>	5	2.2			
<b>IGNS</b>	2	2	<b>Va</b>	3	1.90
<b>IGS</b>	4	1.8			
<b>Conjunto</b>	5	2.8	<b>Conjunto</b>	4	2.20

Tabla A-2.4. Tracción indirecta de las rocas de las Islas Canarias

Tracción indirecta (Ensayo Brasileño) (MPa)					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
<b>BOPM</b>	48	16.25	<b>III, IV</b>	33	14.36
<b>BOPV</b>	28	16.1			
<b>BPLV</b>	22	4.2			
<b>BPLM</b>	25	11.7			
<b>BAFV</b>	22	11.4			
<b>BAFM</b>	50	21.3			
<b>BES</b>	23	16.5			
<b>TRQB</b>	47	17.4			
<b>TRQ</b>	42	17.7	<b>Ila</b>	44	17.45
<b>FON</b>	45	17.2			
<b>IGNS</b>	22	18.1	<b>Va</b>	28	16.20
<b>IGS</b>	33	14.3			
<b>Conjunto</b>	39	18.7	<b>Conjunto</b>	35	16.00

**Tabla A-2.5. Resistencia a compresión simple de las rocas de las Islas Canarias**

Resistencia a compresión simple (MPa)					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
<b>BOPM</b>	114	59.8	<b>III, IV</b>	<b>63</b>	<b>38.04</b>
<b>BOPV</b>	48	35.7			
<b>BPLV</b>	36	14.8			
<b>BPLM</b>	61	27.9			
<b>BAFV</b>	31	16			
<b>BAFM</b>	104	54.8			
<b>BES</b>	31	34.2			
<b>TRQB</b>	75	61.1	<b>Ila</b>	<b>107</b>	<b>69.80</b>
<b>TRQ</b>	95	62.8			
<b>FON</b>	119	76.8	<b>Va</b>	<b>32</b>	<b>24.30</b>
<b>IGNS</b>	16	19.5			
<b>IGS</b>	48	29.1	<b>Conjunto</b>	<b>67</b>	<b>44.05</b>
<b>Conjunto</b>	81	61.6			

**Tabla A-2.6. Módulo de Young dinámico de las rocas de las Islas Canarias**

Valores del módulo de Young dinámico (GPa)					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
<b>BOPM</b>	69	25.337	<b>III,IV</b>	<b>42</b>	<b>19.35</b>
<b>BOPV</b>	44	20.484			
<b>BPLV</b>	21	9.517			
<b>BPLM</b>	40	16.654			
<b>BAFV</b>	31	18.904			





<b>BAFM</b>	59	24.703			
<b>BES</b>	20	15.372			
<b>TRQB</b>	50	23.815			
<b>TRQ</b>	49	20.925	<b>Ila</b>	53	21.00
<b>FON</b>	58	21.076			
<b>IGNS</b>	13	12.369	<b>Va</b>	21	13.86
<b>IGS</b>	29	15.353			
<b>Conjunto</b>	49	27.802	<b>Conjunto</b>	39	18.07

Tabla A-2.7. Módulo de Young estático de las rocas de las Islas Canarias

Valores del módulo de Young estático (GPa)					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
<b>BOPM</b>	31	5.61	<b>III, IV</b>	30	7.31
<b>BOPV</b>	16	5.73			
<b>BPLV</b>	25	-			
<b>BPLM</b>	-	-			
<b>BAFV</b>	17	3.27			
<b>BAFM</b>	65	-			
<b>BES</b>	4	0.57			
<b>TRQB</b>	51	21.39			
<b>TRQ</b>	33	17.84	<b>Ila</b>	40	16.56
<b>FON</b>	48	15.28			
<b>IGNS</b>	8	6.15	<b>Va</b>	29	3.08
<b>IGS</b>	50	0.00			
<b>Conjunto</b>	29	19.18	<b>Conjunto</b>	33	8.98



## SÍNTESIS DE LAS PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LOS MATERIALES PIROCLÁSTICOS EN FUNCIÓN DE LOS LITOTIPOS

Con carácter orientativo se muestran las siguientes propiedades geotécnicas: densidad de partículas, peso específico aparente, peso específico aparente seco, porosidad, resistencia a compresión simple, presión isotropa de colapso y módulo de Young. Al igual que en el apartado anterior, es de esperar que en futuras investigaciones se disponga de una mayor información que permita confirmar y matizar los resultados obtenidos.

**Tabla A-2.8. Densidad de partículas de los piroclastos de las Islas Canarias**

Densidad de partículas (kN/m <sup>3</sup> )					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
CST	25	0.27	Vb	27	2.10
EST	28	1.92			
LPT	29	2.04			
PZT	25	0.67			

**Tabla A-2.9. Peso específico aparente de los piroclastos de las Islas Canarias**

Peso específico aparente (kN/m <sup>3</sup> )					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
CST	12	3.79	Vb	11	2.50
EST	12	1.67			
LPT	12	4.03			
PZT	7	3.20			

**Tabla A-2.10. Peso específico aparente seco de los piroclastos de las Islas Canarias**

Peso específico aparente seco (kN/m <sup>3</sup> )					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
CST	11	3.53	Vb	11	2.60
EST	12	1.60			
LPT	13	4.57			
PZT	7	2.97			

**Tabla A-2.11. Porosidad de los piroclastos de las Islas Canarias**

Porosidad (%)					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
CST	57	12.09	Vb	60	8.00
EST	58	1.53			
LPT	54	14.25			
PZT	72	6.84			

**Tabla A-2.12. Resistencia a Compresión Simple de los piroclastos de las Islas Canarias**

Resistencia a Compresión Simple (MPa)					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
CST	1	0.37	Vb	1.50	0.58
EST	2	0.75			
LPT	2	1.54			
PZT	1	0.20			

**Tabla A-2.13. Presión Isótropa de Colapso de los piroclastos de las Islas Canarias**

Presión Isótropa de Colapso (MPa)					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
CST	3	0	Vb	4.50	3.00
EST	7	-			
LPT	7	3.72			
PZT	1	1.51			

**Tabla A-2.14. Módulo de Young de los piroclastos de las Islas Canarias**

Módulo de Young (MPa)					
Litotipo	Promedio	Desviación estándar	Unidad	Promedio	Desviación estándar
CST	297	251.0	Vb	242	165.43
EST	240	113.1			
LPT	412	272.8			
PZT	18	7.8			



## CORRELACIONES MÁS SIGNIFICATIVAS

### Litotipos rocas

En los materiales rocosos, es posible estimar determinados parámetros geomecánicos a partir de otros obtenidos mediante ensayos de bajo coste y fácil ejecución. Este es el caso del valor de la resistencia a compresión simple, la resistencia a tracción o el módulo de deformación elástica.

Para estimar en una primera aproximación el valor de la resistencia a compresión simple ( $\sigma_c$ ) a partir de la resistencia deducida del esclerómetro ( $\sigma_{cSchmidt}$ ) se recomienda utilizar la expresión:

$$\sigma_c = K \sigma_{cSchmidt}$$

donde K vale para el conjunto de litotipos 1.18

Para cada litotipo específico, los valores de K son:

Litotipo	BOPM	BOPV	BPLM	BAFV	BAFM	BES	TRQB	TRQ	FON	IGNS	IGS
K	1.40	1.00	1.50	0.50	1.30	0.90	1.00	1.20	1.40	0.55	0.75

La resistencia a compresión simple puede ser también estimada a partir del rebote con esclerómetro y el peso específico según la fórmula de Miller (1965) y Deere y Miller (1966), adaptándola a la población de rocas volcánicas de las Islas Canarias, donde  $\sigma_c$  está expresado en MPa y  $\gamma$  (peso específico aparente) en KN/m<sup>3</sup> de la siguiente forma:

$$\log \sigma_c = 0.00034 \mathcal{R} + 0.0426 \gamma - 0.0017 R + 0.41$$

A partir del ensayo de carga puntual (PLT) se recomienda, para obtener el valor de la resistencia a compresión simple, utilizar la expresión:

$$\sigma_c = k_1 I_s$$

con un valor para el parámetro  $k_1$  en conjunto de 15.

Por litotipos los valores a utilizar son los siguientes:

Litotipo	BOPM	BOPV	BPLM	BPLV	BAFV	BAFM	BES	TRQB	TRQ	FON	IGNS	IGS
K <sub>1</sub>	17	9	12	14	5	16	10	12	18	22	9	13

Para obtener en una primera aproximación el valor de la resistencia a tracción indirecta se recomienda utilizar la expresión:



$$\sigma_t = \sigma_c / k_2$$

donde  $k_2$  se deduce de

$$k_2 = 0.0133\sigma_c + 0.95 \quad (\sigma_c \text{ en MPa})$$

No obstante, considerando litotipos de manera individualizada, se puede aplicar los siguientes valores de  $k_2$ :

Litotipo	BOPM	BOPV	BPLM	BPLV	BAFV	BAFM	BES	TRQB	TRQ	FON	IGNS	IGS
$K_2$	2.5	1.9	2.6	1.9	1.1	2	1.6	1.5	2.3	2.9	1.5	1.2

Para obtener en una primera aproximación el valor del módulo de elasticidad dinámico se recomienda utilizar la expresión

$$E_d = k_{3d} \cdot \sigma_c$$

donde  $k_{3d}$  se puede estimar a partir de la siguiente expresión

$$k_{3d} = -2.7904\sigma_c + 850.39$$

con  $E_d$  y  $\sigma_c$  en MPa. Para el conjunto de litotipos este valor se aproxima a 500.

Por litotipos, los valores de  $K_{3d}$  quedan reflejados en el siguiente cuadro:

Litotipo	BOPM	BOPV	BPLM	BPLV	BAFV	BAFM	BES	TRQB	TRQ	FON	IGNS	IGS
$K_{3d}$	540	740	640	580	900	480	460	520	400	400	700	560

En caso de tratarse del módulo de elasticidad estático  $E$  con respecto a  $\sigma_c$ , el coeficiente  $K_{3d}$  será substituido por  $K_3$ . Este coeficiente adquiere el valor de 300 para el conjunto de litotipos, mientras que para algunos de los litotipos en los que se ha podido determinar, los valores de  $K_3$  a utilizar son los siguientes :

Litotipo	BOPM	BOPV	BAFV	BES	TRQB	TRQ	FON	IGNS
$K_3$	200	240	600	100	340	280	340	440

La relación entre los módulos de elasticidad dinámico y estático  $E_d/E = k_4$  ha podido ser establecida en torno a  $K_4 = 1.7$  para el conjunto de todos los litotipos. Igualmente se ha podido determinar el valor  $K_4$  para una serie de litotipos individuales en los siguientes valores:

Litotipo	BOPM	BOPV	BAFV	BES	TRQB	TRQ	FON	IGNS
$K_4$	2.7	3.1	1.5	4.6	1.5	1.4	1.2	1.6



### Litotipos piroclastos

Respecto a los materiales piroclásticos de baja densidad y nada o débilmente cementados, se presentan como correlaciones del máximo interés, la existente entre el módulo de elasticidad  $E$  y la resistencia a compresión simple  $\sigma_c$  ( $E/\sigma_c$ ) y que en conjunto tiene un valor de  $E/\sigma_c = 180$ .

En lo referente al valor de la resistencia a compresión simple en función de la densidad, se observa una tendencia exponencial, aumentando la resistencia y disminuyendo la deformabilidad con la densidad. Tendencia similar observada entre el módulo elástico y la densidad. No obstante, para densidades inferiores a  $10 \text{ kN/m}^3$  tal tendencia no parece tan claramente exponencial.

En gran número de muestras de piroclastos de baja densidad, se produce un colapso mecánico que se traduce en aumento elevado de la deformabilidad al alcanzar un valor crítico de la carga. Se observa un incremento de la presión isotrópica de colapso con respecto a la densidad seca, en el intervalo de densidades típicas entre los 4 y  $16 \text{ kN/m}^3$ .

La correlación entre el valor de la presión isotrópica de colapso  $p_{ci}$  y la resistencia a compresión simple  $\sigma_c$  se establece de la manera siguiente:

$$p_{ci} \approx 2.5 \cdot \sigma_c$$





## APÉNDICE 3

### GLOSARIO DE TÉRMINOS APLICADOS A LOS MATERIALES VOLCÁNICOS DE LAS ISLAS CANARIAS

**Abarrancamiento:** Incisión erosiva profunda, producida por las aguas de arroyada, procedentes de las lluvias o trombas de agua, en la superficie del terreno. Puede ser especialmente intenso en zonas de materiales blandos e impermeables.

**Afloramiento:** Área de la superficie del terreno donde aparece una masa rocosa, generalmente consolidada en el subsuelo, susceptible de ser representada en un mapa a una escala adecuada.

**Aglomerado volcánico:** Mezcla cementada de material fragmentado, angular, de origen volcánico.

**Almagre:** Niveles rojizos que corresponden a un suelo o capa fértil del terreno, que ha sido alterado al discurrir sobre el mismo una colada lávica a altas temperaturas. Este material tiene interés porque se comporta como una capa impermeable que dificulta la filtración del agua hacia zonas más profundas; de ahí que la fuente y los manantiales estén asociados a estas formaciones.

**Alteración hidrotermal:** Modificación de las propiedades mecánicas y químicas de una roca originada por la interacción con vapor de agua.

**Aluvión:** Depósito sedimentario resultante de la acción del agua de escorrentía de los barrancos.

**Andén:** Término local que se usa para designar los escalones producidos por la erosión en escarpes y acantilados.

**Ankaramita:** Basalto formado por la acumulación casi exclusiva de grandes cristales de augita y olivino.

**Ash-flow o nube ardiente:** Flujo turbulento de vapor de agua, gases y piroclastos emitidos violentamente por un volcán, que se desliza en forma de densa nube a gran velocidad y a ras del suelo (al contener gran cantidad de fragmento rocoso, no puede elevarse) hasta que se deposita de una forma caótica.

**Augita:** Tipo de piroxeno.

**Autobrecha:** brecha formada por la fragmentación de partes previamente solidificadas de una colada volcánica.

**Azulejos:** Denominación local que se aplica a determinadas rocas volcánicas en las Islas Canarias, caracterizadas por presentar coloraciones muy llamativas, entre verdoso azuladas, distintos tonos de ocre y de púrpura. Estos colores son debidos a la presencia de minerales secundarios, producidos por alteración hidrotermal de la roca volcánica. Ver vitrófido..

**Banda escoriácea:** Ver escoria.

**Basalto:** Roca volcánica básica muy común en las Islas Canarias, de grano fino y color normalmente oscuro, compuesta esencialmente por plagioclasas y piroxeno, con o sin olivino. El basalto se caracteriza por un bajo contenido en sílice y alto en minerales ferromagnéticos.

**Basanita:** Roca volcánica porfídica, poco vesicular. Posee una matriz de grano fino y sus componentes minerales principales son el olivino y la augita.

**Básico:** Término aplicado al magma pobre en sílice ( $\text{SiO}_2$ ), pero rico en magnesio, hierro y calcio, presentando una temperatura de efusión más elevada y una menor viscosidad que los magmas sílicos.

**Bomba volcánica:** Fragmento de lava expulsado al aire por la erupción de un volcán, solidificándose en su caída y adoptando forma de huso, cordada o espiral. Su tamaño es superior a diez centímetros y aparece individualizado dentro de las acumulaciones de piroclastos.



**Brecha volcánica:** Roca constituida por fragmentos rocosos angulosos englobados en una matriz de partículas más finas.

**Buzamiento:** Angulo de máxima pendiente entre un estrato rocoso inclinado y el plano imaginario horizontal de referencia.

**Caliche:** Depósito de carbonato cálcico que se acumula como una costra superficial en suelos de zonas áridas.

**Canchal:** Acumulación de piedras y bloques al pie de una ladera, desprendidos de las partes más altas de la vertiente. En las Islas Canarias se conoce como galgar.

**Ceniza volcánica:** Material piroclástico sin consolidar, de grano fino ( $< 2\text{mm}$ ), emitido por el cráter de un volcán durante una erupción volcánica.

**Cínder:** Término que se aplica a los conos volcánicos de forma más o menos cónica, constituidos por la acumulación alrededor de una boca eruptiva de productos generalmente básicos de proyección aérea (piroclastos), como cenizas, lapillis, escoria y bombas volcánicas.

**Cinerita:** Material piroplástico consolidado, de grano muy fino, emitido por el cráter de un volcán, durante una actividad eruptiva de tipo explosivo.

**Clasto:** Parte o constituyente individual de una roca de tipo brecha.

**Colada “pahoehoe”:** Colada poco accidentada que permite caminar sin dificultad sobre ella. Se trata de lavas relativamente fluidas y con poco contenido en gases.

**Colada “aa”:** Superficie de colada característica de lavas viscosas, de aspecto áspero y escoriáceo, por la cual resulta difícil transitar. En las Islas Canarias se conoce como malpaís.

**Coluvión:** Depósito sedimentario acumulado en la parte inferior de una ladera por efecto de un desplazamiento o caída gravitacional.

**Compacto basáltico:** Material constituido por la roca masiva de una colada basáltica, claramente diferenciado de las partes escoriáceas o de zonas con alto contenido en vacuolas.

**Cono de derrubios:** Formación sedimentaria caracterizada por su aspecto no uniforme y por contener materia de tamaño grueso (bloques y cantos angulosos), procedentes del desmantelamiento de una ladera.

**Culata:** Fondo abrupto de la cabecera de un barranco.

**Degollada:** Depresión suave entre montañas por donde es fácil el paso.

**Derrubios de ladera:** Formación sedimentaria caracterizada por su aspecto no uniforme y por contener materiales de tamaño grueso, (bloques y cantos angulosos), procedentes del desmantelamiento de una ladera.

**Detrítico:** Referente a fragmentos de material rocoso producidos por la meteorización y desintegración de las rocas y posterior removilización de su lugar de origen.

**Diaclasas:** Fractura que no supone desplazamiento de los bloques afectados. Generalmente se origina por el enfriamiento y solidificación del magma, dando lugar a fisuras de retracción, originando una disminución del volumen de la roca, tal y como ocurre al enfriarse las coladas de lava.

**Diques:** Son los conductos de emisión de magma. En dichos conductos, el magma se enfría y solidifica sin llegar a la superficie, quedando atrapado al cesar la erupción en las grietas que comunican la cámara magmática con las bocas eruptivas. En general se corresponden con fracturas lineales. Por ello, los diques descarnados por la erosión aparecen resaltados como paredes que cortan a los materiales volcánicos emitidos con anterioridad. Ver taparucha.

**Dique-capa o Sill:** Dique dispuesto de forma horizontal.

**Discordancia:** Ruptura de una secuencia estratigráfica que separa los estratos superiores, más jóvenes, de los inferiores.



**Disyunción columnar:** Es la estructura adquirida por las masas lávicas al combinarse el efecto de retracción por enfriamiento con los fenómenos de alteración y meteorización. La forma que adquiere esta estructura es de tubo prismático. También conocida como disyunción en órganos.

**Disyunción esferoidal:** Es la estructura adquirida por las masas lávicas al combinarse el efecto de retracción por enfriamiento con los fenómenos de alteración y meteorización. La forma que adquiere esta estructura es esférica. También conocida como disyunción en bolas o en cáscaras de cebolla.

**Domo:** Conducto de emisión que se caracteriza por presentar una estructura similar a un cono volcánico pero carente de cráter. Sus derrames lávicos son por lo general sálicos, muy viscosos y de gran espesor, por lo que no suelen alejarse demasiado del centro emisor. Ofrece también una morfología muy variada (domo-pitón, dique-domo, domo-colada, etc.).

**Erosión diferencial:** Desgaste que se realiza sobre materiales incoherentes o más deleznales, poniendo de manifiesto los contrastes de resistencia que ofrecen las rocas a la erosión. Este hecho favorece la aparición de espectaculares formas erosivas.

**Escoria:** Material piroclástico procedente de una erupción volcánica en forma de fragmentos de lava de tamaño y forma diversa.

**Eutaxita:** Nombre con el que se conoce a un tipo de ignimbrita caracterizada por la presencia de fragmentos alargados de manera ondulante a modo de flamas que tienen su origen en la deformación dúctil y soldadura de los fragmentos de pómez. Es por ello que a las eutaxitas también se les denomina como ignimbritas soldadas. En general tienen composición traquítica o fonolítica.

**Falla:** Rotura o fractura de un estrato rocoso debido a un esfuerzo. En la falla se puede observar el desplazamiento de los bloques.

**Fonolita:** Roca volcánica de grano fino, compuesta de feldespatos y feldespatoide, de color gris azulado y textura compacta. Es una roca muy impermeable y presenta una típica disyunción en lajas. Recibe este nombre por su sonido cuando es golpeada.

**Galgar:** Ver canchal.

**Glacis coluvial:** Acumulación sedimentaria de suave inclinación situada a pie de vertiente de relieves más pronunciados.

**Haüyna:** Componente feldespatoide de algunas rocas volcánicas.

**Hawaita:** Roca traquibasáltica augítica-olivínica de textura microcristalina.

**Ignimbrita no soldada:** Término alternativo para la toba cementada formada por la emisión de piroclastos sálicos arrojados por un volcán en forma de nube ardiente. Ver toba y tosca.

**Ignimbrita soldada:** Roca de origen piroclástico altamente cohesiva, generalmente de tonos desde grisáceos hasta ocre, caracterizada por presentar los fragmentos de pómez deformados dúctilmente, alargados a favor de la dirección de flujo a modo de flamas y soldados entre sí. Esta textura de flamas se conoce como textura eutaxítica por lo que a estas rocas también se las conoce como eutaxitas. Ocasionalmente, el grado de soldadura de los fragmentos de pómez es tan extremo que confiere a la roca un aspecto de lava y entonces resulta muy difícil establecer su origen clastogénico. En general tienen composición traquítica o fonolítica.

**Interfluvio:** Línea divisoria de aguas situada en la parte culminante de un relieve que separa dos barrancos o valles.

**Jable:** Arena blanca silíceas muy extendida formando campos de dunas en la isla de Fuerteventura. En Lanzarote y El Hierro es el equivalente al lapilli o picón.

**Lapilli:** Piroclastos de pequeño tamaño (2 - 64 mm). Picón (10 – 30 mm aprox.).

**Maar:** Término alemán que describe un cráter de explosión formado por una erupción volcánica muy violenta. Generalmente, esta depresión de terreno suele estar ocupada por agua.

**Malpaís :** Término canario con el que se conoce las coladas “aa”.



**Mesa volcánica:** Elevación aislada tubular de superficie plana y pendientes escarpadas, formada por coladas horizontales.

**Neck:** Pitón .

**Nefelina:** Mineral del grupo de los feldespatoides. Forma parte de rocas como fonolitas, sienitas, etc.

**Obsidiana:** Roca volcánica de color oscuro y con una gran proporción de sílice. Su textura es similar al vidrio.

**Olivino:** Silicato de color verde oscuro. Es un mineral esencial en rocas básicas como el basalto y el gabro.

**Peleano:** Erupción volcánica cuyo nombre deriva del “Monte Pelé” en Martinica, con explosiones muy violentas y emisión de lavas viscosas que se solidifican en el cráter en forma de domo. Son características de este tipo de erupciones las emisiones de nubes ardientes con gran poder devastador.

**Picón:** Piedras pequeñas y porosas, de naturaleza piroclástica basáltica (lapilli) con el que se cubren suelos para la agricultura o se emplea como árido en la construcción. Su tamaño oscila entre 1 y 3 cm.

**Piedra chasnera:** Ignimbrita típica de la zona de Chasna-Granadilla (Tenerife).

**Piedra molinera:** Basalto poroso (vacuolar) de grano más o menos grueso. Se denomina piedra molinera por haberse usado en la construcción de algunos útiles como el molino de gofio.

**Piroclastos:** Materiales volcánicos de proyección aérea, de tamaño variado, eyectados a gran distancia del foco emisor (volcán o domo). Según su tamaño se denominan cenizas, lapillis, escorias o bombas volcánicas.

**Piroxeno:** Mineral del grupo de los inosilicatos rico en calcio, magnesio y hierro, de color oscuro, densidad relativamente alta; por ejemplo la augita.

**Pitón:** Forma del relieve de fuerte pendiente que resalta sobre la topografía general del terreno. Se corresponde con un antiguo centro de emisión de carácter puntual. Su origen está relacionado con procesos de erosión diferencial. Los de coloración clara son de naturaleza sálica (traquitas-fonolitas), mientras los de color oscuro son de naturaleza básica (basaltos). También llamado roque.

**Polimíctica:** Que tiene clastos líticos y minerales de distinta naturaleza y origen, transportados, mezclados y depositados en una misma zona.

**Polígono GIS:** Área cartográfica cerrada utilizada en este estudio con propiedades geológicas y geotécnicas homogéneas.

**Pómez:** Piedra volcánica frágil y esponjosa, de composición traquítica o fonolítica. También llamada pumita.

**Pumita:** Material volcánico de naturaleza sálica y color blanquecino. Tiene su origen en fases volcánicas explosivas. Contiene numerosas cavidades por su alto contenido en gases.

**Riolita:** Roca ígnea extrusiva de composición granítica, clasificada como roca ácida.

**Rocas filonianas:** Rocas originadas por la intrusión de diques.

**Roque:** Ver pitón.

**Rubefacción:** Proceso térmico que origina un enrojecimiento del suelo, cuyo origen está vinculado al contacto de éste con una colada lávica a alta temperatura.

**Sálico:** Término aplicado al magma con alto contenido en aluminosilicatos (principalmente feldespatos alcalinos). Presenta una baja temperatura de efusión, lo que contribuye a una mayor viscosidad.

**Sienita:** Roca ígnea de grano grueso, con feldespatos alcalinos. Es el equivalente plutónico de las fonolitas.

**Taparuchas:** Diques descarnados por la erosión. Aparecen resaltados a modo de paredes que cortan a los materiales volcánicos emitidos con anterioridad.



**Tefra:** Término genérico que engloba todos los grados de tamaños de partículas del magma solidificado, previamente arrojadas bajo presión gaseosa desde una grieta volcánica.

**Tefrita:** Es uno de los tipos más frecuentes de las rocas de composición intermedia o traquibasálticas.

**Toba:** Depósitos piroclásticos cementados y/o soldados que dan como resultado una roca porosa y permeable. Se utiliza para cantería.

**Tosca:** Roca ligera, porosa, formada por la acumulación de ceniza u otros materiales volcánicos muy pequeños y vacuolares, con alto contenido en gases. Es el resultado de la acumulación y posterior compactación de coladas piroclásticas de nube ardiente.

**Traquibasaltos:** Rocas de composición intermedia (entre basaltos y traquitas). Son muy abundantes y variadas, por lo que resulta muy útil agruparlas bajo esta denominación genérica.

**Traquita:** Roca eruptiva efusiva sálica, compuesta principalmente de feldespato, piroxeno alcalino y/o anfíbol.

**Vitrófico:** Roca de tonos verdosos, ocres o púrpura originada por procesos de alteración hidrotermal. Ver azulejos.

**Zahorra:** Grava muy vesiculada de origen volcánico (pómez de proyección aérea) usada en construcción, agricultura y decoración.



## APÉNDICE 4

## FICHA DE VALIDACIÓN DEL RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO

## A.- DATOS DE IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Edificio	Denominación			
	Dirección			

Promotor	Razón comercial			
	Representado por		Tlf/Fax	
	Dirección		E-mail	

Proyectista	Nombre		Tlf/Fax	
	Dirección		E-mail	

Técnico Autor del Estudio Geotécnico	Nombre		Tlf/Fax	
	Dirección		E-mail	

Laboratorio	Nombre		Tlf/Fax	
	Dirección		E-mail	

## B.- DATOS DE DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Tipo de edificio (CTE)	C-			
Dimensiones (m): B x L (B<L)		Área de contacto con el terreno	S=	m <sup>2</sup>
Profundidad final de cimentación	Z= m			
Superficie construida	m <sup>2</sup>	Número de plantas		
Cargas transmitidas y solución prevista				



Solución provisional y dimensiones estimadas de cimentación	Zapatas		Cargas de la Estructura	Concentradas sobre soportes	
	Losa			Tensión repartida sobre el terreno	
	Pilotaje				

### C.- DATOS DE IDENTIFICACIÓN DE LA UNIDAD GEOTÉCNICA

Unidad geotécnica (Mapas de Zonificación Geotécnica)	Unidad		
	Subunidad		
Zonas singulares que requieren una investigación geotécnica particularizada (potencial presencia de cavidades, susceptibles de deslizamiento o colapso)	SI	NO	Descripción:
Grupo de terreno (CTE)			

### D.- DATOS DE ESTADO DE LA PARCELA

Plano de emplazamiento urbanístico y solar		SI		NO	
Topografía	Llana		Accidentada		Muy accidentada
Rellenos existentes, espesor (m)			R=		
Acceso	Libre		Con permiso		Difícil
Disponibilidad de agua	SI		NO		
Conducciones de agua o eléctricas	SI		NO		
Cimentaciones próximas, tipología, patologías, etc.					
Movimientos de tierra previstos (excavaciones, terraplenes)					
Máximo desnivel previsto (m)					
Otros, edificios colindantes, etc.					
Edificio con cimentación a diferente cota (diferencia cota m)					
Nivel freático			SI (prof. m)		NO




**E.- DATOS DE PATIDA PARA LA DEFINICIÓN DE LA CAMPAÑA**

UNIDAD GEOTÉCNICA										
Tipo de edificio (nº plantas)	C-0 (1-3) < 300 m <sup>2</sup> sup. construida		C-1 (1-3)		C-2 (4-10)		C-3 (11-20)		C-4 (monumental o > 20)	
Área de contacto con el terreno (S)	m <sup>2</sup>		m <sup>2</sup>		m <sup>2</sup>		m <sup>2</sup>		m <sup>2</sup>	

**F.- TRABAJOS DE CAMPO**

Distancias máxima entre puntos de reconocimiento (m)		Nº inicial de sondeos (N)	
--	--	---------------------------	--

Profundidad sondeos P (m)	Potencia de rellenos superficiales R (m)		Altura de sótanos Z (m)	
	Con recubrimientos, rellenos superficiales (R) o sótanos (Z)	C-0 y C-1 ( $P_{\min} + \text{Máx R o Z}$ ) C-2 ( $P_{\min} + \text{Máx R y/o Z}$ ) C-3 ( $P_{\min} + \text{Máx R y/o Z}$ ) C-4 ( $P_{\min} + \text{Máx R y/o Z}$ )	Profundidad final ( $P_{\text{total}}$ )	
	Sin rellenos superficiales ni sótanos	Valores mínimos ( $P_{\min}$ )		

Otras técnicas	Porcentaje máximo de sustitución de sondeos por penetrómetros (redondeado a nº inmediato inferior)			
	Sondeos a rotoperCUSión (edificios C-2, C-3 y C-4 sobre Unidades III y IVb)			
	Otras técnicas	Descripción:		

Nº definitivo de sondeos	Nº sondeos ( $N_{\text{sondeos}}$ )		Profundidad (m) $P_{\text{total}}$		Longitud total sondeos $L_{\text{sondeos}} = N_{\text{sondeos}} \times P_{\text{total}}$	m
-----------------------------	--	--	--	--	---	---



Muestras Inalteradas y SPT	Muestras de categoría A	Muestras de categoría B	Muestras de categoría C	SPT
Testigos parafinados. Nº muestras (1 cada 3 m de sondeo, mínimo 2)				

Tubería piezométrica	Presencia de nivel freático	Si		No		
	Oscilaciones de nivel freático o ascenso capilar próximo a cota de cimentación. (Colocar en la mitad de los sondeos, redondeando por defecto al número inmediato inferior) (mínimo 1 sondeo)				Metro lineal de tubería piezométrica	

Se adjunta plano con localización de los puntos de reconocimiento y la profundidad de los mismos, firmado con VºBº del Proyectista y del Técnico Autor del Estudio Geotécnico.

#### G.- ENSAYOS DE LABORATORIO

Categoría de Edificio			Tipo de Terreno							
Ensayos de Identificación	Humedad natural		Densidad aparente		Granulometría		Límites de Atterberg			
Ensayos de Resistencia	Compresión simple		Carga Puntual		Corte directo		Triaxial			
Ensayos de deformabilidad	Ensayo edométrico									
Ensayos de expansividad y colapso	Presión máxima de hinchamiento		Hinchamiento libre		Ensayo de colapso					
Ensayos químicos	Acidez Baumann-Gully		Contenido en sulfatos		Materia orgánica		Contenido en carbonatos		Aguas	
Otros ensayos	Densidad relativa de partículas de un suelo		Densidad máxima		Densidad mínima		Porosidad de un suelo		Estudio petrográfico	
	Proctor Modificado		CBR		Desgaste Los Ángeles		Tracción Indirecta (Brasileño)		Límite de Retracción	

**H.- DATOS DEL TÉCNICO AUTOR DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO**

<b>Técnico Autor del Estudio Geotécnico</b>	<b>Nombre:</b>	
	<b>DNI:</b>	
	<b>Titulación</b>	
	<b>Empresa:</b>	
	<b>Dirección:</b>	
	<b>Localidad:</b>	
	<b>Tlf/Fax</b>	
	<b>E-mail</b>	
		<b>VºBº</b>
		<b>Fdo.:</b>

**I.- DATOS DEL AUTOR DEL PROYECTO DE EDIFICACIÓN**

<b>Proyectista</b>	<b>Nombre:</b>	
	<b>DNI:</b>	
	<b>Titulación</b>	
	<b>Empresa:</b>	
	<b>Dirección:</b>	
	<b>Localidad:</b>	
	<b>Tlf/Fax</b>	
	<b>E-mail</b>	
		<b>VºBº</b>
		<b>Fdo.:</b>



## APÉNDICE 5

### MODELO DE OFERTA PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO

#### A.5.1. Objeto

La presente oferta se refiere a la realización de un Estudio Geotécnico para un edificio que se localiza en ..... término municipal ....., provincia de ....., a petición de .....

#### A.5.2. Datos del proyecto

Promotor:	
Proyectista:	
Dimensiones del edificio:	
Número total de plantas:	
Superficie construida:	
Área de contacto con el terreno:	

El edificio se clasifica como tipo de construcción ....., según el CTE.

#### A.5.3. Datos del terreno

La parcela objeto de estudio se localiza sobre la Unidad Geotécnica ....., de los Mapas Geotécnicos de las Islas Canarias, clasificada como grupo de terreno ....., según el CTE.

#### A.5.4. Requisitos del adjudicatario

D. ...., con DNI ....., expedido en ....., con fecha ....., actuando en nombre de ....., inscrito en el Registro Mercantil de ....., hoja número ....., folio ....., tomo ....., y sección ....., con domicilio social en ..... y con el número .....de identificación fiscal, manifiesta estar capacitado legalmente para contratar como ..... y cumplir los requisitos exigidos en la normativa vigente, por lo que formula la siguiente oferta para la realización de este Estudio Geotécnico que será llevado a cabo por el técnico competente cualificado D....., cuya titulación es ..... y con nº de colegiado ....., en el Colegio Oficial de .....



### A.5.5. Presentación de los resultados

Los resultados de este Estudio Geotécnico se emitirán mediante un documento denominado Informe Geotécnico, cuyo contenido se ajustará a lo establecido en la "Guía para la Planificación y la Realización de Estudios Geotécnicos para la Edificación en la Comunidad Autónoma de Canarias".

### A.5.6. Previsión de los trabajos a realizar

La realización del Estudio Geotécnico a que hace referencia esta oferta precisará, previsiblemente, de un conjunto de actividades (reconocimiento del terreno) de prospección, ensayos de campo y de laboratorio, cuya definición y especificación se desarrolla a continuación de acuerdo con la forma y criterios establecidos por el CTE y la "Guía para la Planificación y la Realización de Estudios Geotécnicos para la Edificación en la Comunidad Autónoma de Canarias".

#### 1º Prospección:

.....

En las realización de estos trabajos regirán las siguientes prescripciones:

.....

#### 2º Ensayos de campo:

.....

En las realización de estos trabajos regirán las siguientes prescripciones:

.....

#### 3º Ensayos de laboratorio:

.....

En las realización de estos trabajos regirán las siguientes prescripciones:

.....

### A.5.7. Plazo de ejecución.

El plazo previsto de ejecución de los trabajos ofertados será de .....

La fecha prevista para el inicio de los trabajos es ..... y la fecha de entrega del Informe Geotécnico será .....



La oferta económica para la realización del Estudio Geotécnico asciende a la cantidad de .....(en letra)..... euros con .....(en letra)..... céntimos de euro (00.000,00 €), cuyo desglose detallado se expresa a continuación:

Unidad de medición	Designación del trabajo	Número de unidades	Precio unitario €	Precio de la unidad €
	TOTAL CAPÍTULO I.....			

Unidad de medición	Designación del trabajo	Número de unidades	Precio unitario €	Precio de la unidad €
	TOTAL CAPÍTULO II.....			



## Capítulo III. Accesos y plataformas de trabajo

Unidad de medición	Designación del trabajo	Número de unidades	Precio unitario €	Precio de la unidad €
	TOTAL CAPÍTULO III.....			

## Capítulo IV. Otros servicios

Unidad de medición	Designación del trabajo	Número de unidades	Precio unitario €	Precio de la unidad €
	TOTAL CAPÍTULO IV.....			

**A.5.9. Resumen del presupuesto**

Importe capítulo I. Trabajos de campo: .....

Importe capítulo II. Ensayos de laboratorio: .....

Importe capítulo III. Accesos y plataformas de trabajo: .....

Importe capítulo IV. Otros servicios: .....

TOTAL: .....

Asciende este presupuesto a la cantidad de .....(en letra)..... euros, con .....(en letra)..... céntimos de euro.



**A.5.10. Presupuesto de asistencia técnica para la confirmación del Informe Geotécnico.**

Adicionalmente se presupuestan los servicios de asistencia técnica para la confirmación del Informe Geotécnico antes de la ejecución de la cimentación, que podrán ser solicitados, en su caso, por el Director de Obra.

Unidad de medición	Designación del trabajo	Número de unidades	Precio unitario €	Precio de la unidad €
Horas	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Visita a obra de Técnico Autor del Estudio Geotécnico.</li><li>○ Emisión de informe adenda al Informe Geotécnico.</li><li>○ Otros.</li></ul>			
	TOTAL.....			

Los desgloses detallados de los presupuestos de los apartados A.5.8. y A.5.10., se exponen únicamente a título orientativo, pudiéndose modificar el formato.