

PRESENTACIÓN DEL PRESIDENTE DE LA ACE

La *Associació de Consultors d'Estructures*, desde su constitución en 1986, ha mantenido unos valores que sigue defendiendo con plena convicción. La dignificación de la profesión de quienes se dedican al cálculo y diseño estructural con profesionalidad y cariño, es y ha sido el pilar fundamental de nuestra asociación y de todos sus asociados.

Es evidente que la figura del Consultor de Estructuras no es la única que interviene en el amplio mundo de las estructuras, ni pretende abarcar protagonismos que no le corresponden. En este sentido, pensamos que es hora de que la profesión del Consultor de Geotecnia también se dignifique. Ambas consultorías se relacionan necesariamente y se complementan tanto en la fase de diseño de proyecto como en la ejecución de la obra.

La presente guía nace por la iniciativa de un Socio Protector de la ACE (*Geoplanning Estudis Geotècnics, S.L.*), y, concretamente de su Director General, el Sr. Ramón Codina Gual que, desde el primer momento, puso a disposición del proyecto al equipo técnico de su empresa dentro de la «Comisión de Geotecnia». Esta ha estado integrada por una veintena de asociados (técnicos de empresas del sector y socios numerarios, todos ellos de la ACE), que mediante un proceso de trabajo en equipo ha elaborado la Guía que tiene en sus manos. Este esfuerzo común manifiesta que la ACE es un colectivo de profesionales con una clara voluntad de colaboración desinteresada al servicio del sector de la arquitectura y la construcción.

La Guía, eminentemente pragmática, pretende ser de utilidad de cara tanto a la redacción de proyectos de cimentaciones y contenciones, como de cara a la ejecución y dirección de las obras, en las que interaccionan la estructura y el terreno. Pero también se ha redactado, pensando en promotores, equipos y talleres de arquitectura.

Esta Guía ha sido el fruto del trabajo coordinado de Consultores de Estructuras y Consultores de Geotecnia en el que cada uno ha aportado su punto de vista: dos visiones complementarias de la relación intrínseca entre la estructura y el suelo.

Sin duda alguna, esta primera edición tendrá continuidad, con ampliación y mejora de su contenido en próximas ediciones, y a partir de las críticas y aportaciones de los lectores que la quieran utilizar.

Una vez más la ACE, con su intención de ayudar a profesionalizar todo lo relacionado con el campo del diseño estructural, ha sido capaz de crear un nuevo Monográfico gracias al esfuerzo y dedicación de sus autores, todos ellos asociados a la ACE. Desde aquí, quiero expresar mi agradecimiento a su esfuerzo y dedicación.

ENRIC HEREDIA CAMPMANY-GAUDET,
presidente de la ACE



PRESENTACIÓN DEL PRESIDENTE DEL COL·LEGI DE GEÒLEGS DE CATALUNYA

Los años en los que el estudio geotécnico para cualquier actuación constructiva era un documento voluntario que solo se redactaba en el caso de tener la percepción de que se estaba ante una obra singular que lo merecía, o bien cuando el promotor de la obra o el redactor del proyecto había tenido malas experiencias. Estos actores entendieron que la famosa frase que definía un problema geotécnico como «unos vicios ocultos del terreno» no era cierta, y que el problema, en realidad, era el «desconocimiento del terreno» y que, por tanto, se debían hacer las investigaciones requeridas de la mano de un profesional de la geotecnia.

Hoy en día, el marco normativo obliga a realizar el estudio geotécnico en casi todas las tipologías de obra, lo que ha derivado en un incremento de la seguridad, en la disminución de imprevistos y la reducción del porcentaje de modificaciones de proyecto. Asimismo, la responsabilidad ha sido repartida de acuerdo con el trabajo de cada profesional que interviene en un proyecto. Actualmente, ya no se discute que invertir en geotécnica logra un ahorro neto en el proceso constructivo. Disponer de un buen modelo del terreno se traduce en una mayor eficacia durante la fase ejecutiva, lo que ahorra recursos, evita desviaciones de presupuesto e incluso puede ayudar a acortar el plazo de ejecución.

Tradicionalmente, en nuestro país, la geotecnia ha sido asumida en gran parte por los geólogos y geólogas. Este hecho puede deberse, en parte, a la complejidad geológica del territorio; la Geología aporta una visión contextualizada y completa que es esencial para comprender el modelo del terreno sobre el que se van a construir las obras. Por eso, nos complació gratamente el hecho de que la *Associació de Consultors d'Estructures* propusiera al *Col·legi de Geòlegs de Catalunya*, participar en la elaboración, revisión de contenidos y en la promoción y difusión de la guía de geotecnia, por lo que no dudamos en sumarnos a la iniciativa. No en vano, el Colegio representa una buena parte de los Consultores en Geotecnia, y es nuestra función trabajar y velar para que esta se realice de forma sistematizada, rigurosa y que se le otorgue el reconocimiento que se merece. Sin embargo, para conseguirlo, es necesaria la complicidad de todos los actores que participan en el proceso constructivo, entre los que destacan los consultores de estructuras.

Seguro que la Guía que la ACE ha promovido ayudará a que la figura del Consultor de Geotecnia sea una realidad en todos los proyectos, y que desde las fases iniciales de una obra hasta su puesta en servicio, se considere la tarea del susodicho consultor, como imprescindible para las exigencias de calidad y seguridad actualmente requeridas.

Agradecemos haber sido invitados a participar del proyecto e invitamos a los Consultores de Estructuras que hagan uso de este documento que tiene hoy en sus manos.

RAMON PÉREZ MIR,

presidente del Col·legi de Geòlegs de Catalunya





PRÓLOGO

Cuando apenas hacíamos las primeras reuniones de la Comisión de Geotecnia de la ACE de cara a enfocar la orientación y el alcance de la Guía de Geotecnia, formulamos lo que creíamos que debía ser su contenido y cuál debía ser el objetivo a alcanzar a partir de la situación actual, heredada de una larga historia de la construcción especialmente en nuestro país.

Ahora, con la Guía completada, resulta adecuado recordar aquellos primeros planteamientos, con la satisfacción de ver que lo que entendíamos que había que hacer, se ha logrado con creces, y ofrecemos, pues, a la consideración del lector valorar si es así.

INTRODUCCIÓN

Cuando nos planteamos una nueva situación, siempre es necesaria una reflexión previa sobre lo que está bien, lo que está mal y lo mejorable. Lo mismo ocurre en la información geotécnica y en la relación entre los nuevos agentes sobrevenidos recientemente a la construcción, donde el asesor en geotecnia toma un protagonismo considerable.

Esta introducción se redacta con un único objetivo: poner de manifiesto alguna de las incoherencias que lastran la forma que tiene la técnica actual de acceder y coordinarse de cara al proyecto de edificios, y que, aunque apunta directamente a temas relativos al suelo, pueden aplicarse a otras especialidades.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Si se hace una cierta reflexión sobre el estado actual de una técnica antigua, una técnica tan antigua como el arte de construir, es importante recordar de dónde venimos y de cómo ha condicionado el momento actual su particular forma de evolucionar.

Desde sus inicios, la evolución de la construcción fue esencialmente empírica. En este contexto, en el siglo xv, en pleno Renacimiento, Leon Battista Alberti hizo dos propuestas importantes:

La primera es una exposición muy interesante de los sistemas de prospección de los suelos y de los métodos de cimentación a su alcance. Los métodos de informarse sobre las características del suelo de Alberti no son tan diferentes a los actuales: se basaba en la observación de la sección del suelo mediante pozos, que proporcionan, a poca profundidad, una lectura a una escala mucho mejor que los sondeos.

La segunda, trivial en principio, pero que ha lastrado la aplicación de los principios de la mecánica del suelo hasta el momento actual: haber establecido el criterio que los cimientos no forman parte del edificio. Está claro que, en su momento, esto venía justificado por la rigurosa modulación y por el riguroso catálogo de soluciones constructivas y formales que aplicaban los clásicos. En este contexto cultural, introducir un elemento no predefinido formalmente que debía hacer de almohada entre el suelo y la construcción implicaba una distorsión importante de unos principios compositivos, siempre vinculados a criterios de proporción y no a unas medidas de libre determinación (dimensionadas a partir del peso del edificio y de la resistencia del terreno).

Los cimientos siempre han sido considerados como algo aparte, más cercano al suelo que al edificio y, hoy, en muchos aspectos, todavía seguimos así. No con el mismo motivo, pero sí estamos anclados por una excesivamente rigurosa separación entre especialidades. Puede que los geólogos tengan que saber un poco más de construcción y los constructores tengan que saber un poco más de geotecnia o deban crearse personajes intermedios destinados a resolver este callejón sin salida.

El tema de las especialidades (en detrimento de los generalistas) se pone en marcha con el racionalismo, con el cientifismo: hasta Descartes y sus acólitos, la evolución de la construcción fue básicamente empírica y contaba con un pequeño volumen de experiencias que podían ser alcanzadas por un solo hombre. En las primeras épocas, los letraheridos del racionalismo, se dedicaron a criticar duramente esta forma de evolucionar. La construcción, en parte despreciada y en parte «deslumbrada» por las nuevas ideas, empezó a mirar hacia la ciencia, hacia las teorías, hacia representaciones numéricas de los fenómenos observados (los cartesianos estaban tan convencidos de su verdad que creían, incluso, en la representación numérica de Dios) y, aunque la construc-

ción siguió siendo fundamentalmente empírica, adoptó, hasta la fecha, una posición intermedia entre el empirismo y el «cientismo».

Las teorías, más o menos desarrolladas, serán la base del cuerpo normativo universal. A partir de aquí y a medida que la experimentación fue comprobando la realidad de las teorías, se iban haciendo patentes desajustes entre los modelos numéricos y la realidad observada. En buena parte, estos desajustes son consecuencia de la cantidad de parámetros que se fueron dejando a un lado en el desarrollo matemático necesario para conseguir la formulación de una cierta teoría (muy a menudo, se ha supeditado una mejor representación del fenómeno a una expresión matemática brillante).

La realidad es que los investigadores actuales casi nunca han cuestionado la bondad de estas expresiones ya admitidas en el colectivo técnico, lo que han hecho ha sido corregirlas en función de cierta cantidad de parámetros, normalmente relacionados con el entorno, tales como temperatura, humedad, etc. Esto ha generado una situación extraña, nos parece que somos los máximos valedores de un cuerpo teórico-racional cuando, en la realidad, somos nuevos empíricos, ya que hemos tenido que ir corrigiendo la racionalidad con la experiencia.

Pero lo cierto es que el conocimiento de la construcción se ha complicado mucho y ha generado una muchedumbre de especialistas que favorecen la compartimentación del conocimiento que genera la compartimentación de su aplicación y hay que hacer verdaderos esfuerzos para conseguir su coordinación, dirigida a la máxima eficiencia de un objeto único: el edificio.

Se pueden citar muchos ejemplos que manifiestan la discordancia entre lo que se hace y lo que debería hacerse. Cuando se calcula una pantalla, se tiene un cierto criterio sobre las deformaciones que se producen (en el frente y en la superficie). La deformación en ninguna pantalla suele ser inferior a los 10 mm (a la cual debería añadirse la deformación —no despreciable— que se origina durante la excavación de los pozos). Si introducimos este desplazamiento en el edificio vecino nos daremos cuenta de su poca capacidad de absorberlos sin lesiones aparentes. Visto que la deformación de la pantalla hace que sea altísima la probabilidad de dañarlas, nos preguntamos: ¿cuántos proyectos de pantallas de contención de tierras se ha visto que cuenten con una partida para la reparación de las casas cercanas? Si vamos un poco más allá, cabe preguntarse: ¿cómo es que en la gran mayoría de pantallas no se presenta este problema que a nivel numérico es tan evidente? Bien pues, porque los cálculos se han hecho partiendo de la plena independencia entre pantalla y los edificios del entorno y en la realidad hay una interacción entre pantalla-suelo-estructura del vecino edificio que no ha sido analizada en su complejidad real.

El objetivo de esta Guía, entre otros, es poder evaluar correctamente los riesgos estructurales de una construcción, en función de su ubicación, de la tipología de los edificios del entorno y del terreno que debe soportarla, y definir unos protocolos que nos permitan desarrollar los distintos documentos necesarios en cada momento para conocer las características del suelo.

Confío en que el lector o estudioso de la Guía, pueda encontrar una ayuda en estas páginas que ahora ponemos a su disposición y se haga cargo de la importancia que tiene el hecho de entrar en lo que se propone, como en una «nueva cultura» en cuanto a la forma de entender la relación entre la Propiedad o Promotor y el Equipo Proyectista y de Dirección de Obra, en la que debería integrarse tanto el Consultor de Estructuras como el Consultor de Geotecnia desde el primer momento y hasta la puesta en servicio del edificio.

FRUITÓS MAÑÀ I REIXACH

*Dr. Arquitecto.
Catedrático ETSAB (jubilado)
Socio de Honor de la ACE*

CONTENIDO: GUÍA DE LECTURA

Para facilitar la lectura de la Guía se ha organizado su contenido en tres partes dado el interés que cada una de ellas pueda despertar a los usuarios del documento. A continuación se describen los ámbitos de recepción considerados, la organización de la Guía y la descripción de cada una de las diferentes partes:

ORGANIZACIÓN Y ÁMBITOS DE RECEPCIÓN DE LA GUÍA

I. Marco de referencia. Agentes relacionados con la edificación → Quienes contratan

- Organismos públicos o privados.
- Empresas constructoras.
- Talleres de Arquitectura.

II. Geotecnia y Estructura. Técnicos de la edificación → Quienes proyectan y dirigen

- Equipos de Arquitectura e Ingeniería.
- Los directores de ejecución de las obras.

III. Consultoría Geotécnica. Los especialistas → Quienes calculan y analizan

- Consultores de Geotecnia.
- Consultores de Estructuras.

DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DE LA GUÍA

I. PRIMERA PARTE

MARCO DE REFERENCIA → Quienes contratan

La primera parte de la Guía interesa no solo a los especialistas en Geotecnia y Estructuras, sino a todos los agentes relacionados con la edificación: equipos técnicos de los organismos públicos o privados; empresas constructoras; despachos de Arquitectura, etc. Incluye los siguientes aspectos:

- Marco legal.
- Equipo proyectista: integración de los Consultores de Geotecnia y los Consultores de Estructuras.
- Criterios básicos de enfoque de los informes geotécnicos.
- Presencia del Consultor de Geotecnia: Anteproyecto + Proyecto Básico + Proyecto Ejecutivo + Fase de Obra + Fase de Servicio.
- Criterios de contratación en función de las fases de actuación.
- Criterios de control y de inspección.

Se habla del marco legal, del equipo proyectista y de cómo debe estar integrado tanto el Consultor de Estructuras como el Consultor de Geotecnia. Se describen los criterios básicos para poder enfocar acertadamente un estudio geotécnico sin entrar en detalles y, finalmente, se mencionan los aspectos que a menudo no se contemplan, y que están relacionados con el control y la inspección del comportamiento del terreno y de la estructura.

Se pondera un aspecto «transversal» que como cultura es necesario ir implementando. Nos referimos a la descripción del servicio del Consultor de Geotecnia, que no debe limitarse a redactar un informe geotécnico, sino que debe hacerse extensivo a la fase de planeamiento, anteproyecto, proyecto básico y ejecutivo, en fase de obra e incluso, en algunos casos, en la fase de servicio del edificio.

II. SEGUNDA PARTE GEOTECNIA Y ESTRUCTURA → Quienes proyectan y dirigen

La segunda parte de la Guía está dirigida especialmente a los despachos de Arquitectura e Ingeniería, a los Consultores de Estructuras y, evidentemente, a los Consultores de Geotecnia. Incluye los siguientes aspectos:

- Punto de vista del Arquitecto Proyectista.
- Punto de vista del Consultor de Estructuras en fase de proyecto.
- Mirada sobre el terreno donde se debe realizar el edificio:
 - Posibles riesgos (físicos y/o legales).
 - Requerimientos geotécnicos (básicos) para enfocar el diseño con acierto.

En esta segunda parte, la guía se sitúa básicamente en la óptica del Arquitecto (no especialista ni en estructuras ni en geotecnia) y también en el punto de vista del Consultor de Estructuras, en fase de proyecto.

Una mirada sobre el terreno en el que se quiere proyectar un edificio o elemento de contención, para tomar conciencia de los posibles riesgos (tanto físicos como legales) y de los requerimientos a adoptar para poder enfocar bien el diseño del Proyecto.

III. TERCERA PARTE CONSULTORÍA GEOTÉCNICA → Quienes calculan y analizan

Unos capítulos dirigidos especialmente al Consultor de Estructuras (CdE) y también al Consultor de Geotecnia (CdG). Incluye los siguientes aspectos:

- Requerimientos para el Consultor de Geotecnia.
- Requerimientos para el Consultor de Estructuras.
- Trabajos de campo y ensayos de laboratorio: «el qué, el cómo y el porqué».
- Bases de cálculo.
- El Consultor de Geotecnia en el proceso de edificación.

Se habla de los trabajos de campo y de los ensayos de laboratorio, dando criterios de servicio y «buenas prácticas», se hacen referencias a la normativa vigente, a los Eurocódigos y a los criterios en la redacción de informes geotécnicos.

IV. REFERENCIAS

La Guía incluye también tablas de consulta «rápida» y diversas referencias entre las tres partes que conforman la guía (Marco de referencia, Geotecnia y Estructura y Consultoría Geotécnica), con el objetivo de poder entrelazar los contenidos.

V. ANEJOS

Finalmente se incluyen los siguientes anejos:

- **Anejo A.** Glosario de términos.
- **Anejo B.** Fichas técnicas.
- **Anejo C.** Tabla de contención y cimentación.
- **Anejo D.** Tabla de riesgos presumibles.
- **Anejo E.** Tabla resumen: técnicas de prospección, ensayos in situ y ensayos de laboratorio.
- **Anejo F.** Sello de calidad COLGEOCAT.

PRIMERA PARTE. MARCO DE REFERENCIA	17
1. ANTECEDENTES EN GEOTECNIA	17
2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	19
3. MARCO LEGAL	20
3.1. REFLEXIONES SOBRE LA NORMATIVA VIGENTE	20
3.1.1. SEGÚN LA LOE	21
3.1.2. SEGÚN EL CTE. PARTE 1	21
3.1.3. SEGÚN EL DOCUMENTO BÁSICO «DB-SE. SEGURIDAD ESTRUCTURAL»	22
3.1.4. SEGÚN EL DOCUMENTO BÁSICO «DB-SE-C. SEGURIDAD ESTRUCTURAL CIMIENTOS» (DB-SE-C)	22
3.1.5. SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE	27
3.2. ATRIBUCIONES, OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES	28
3.3. SEGUROS Y VISADOS	28
4. EQUIPO PROYECTISTA	29
4.1. EQUIPO MULTIDISCIPLINAR	29
4.2. EQUIPO TÉCNICO	29
4.3. CONSULTOR DE GEOTECNIA (CdG): PROYECTISTA EN GEOTECNIA	29
4.4. CONTRATACIÓN DE SERVICIOS TÉCNICOS	30
4.4.1. SITUACIÓN ACTUAL	30
4.4.2. NUEVA PERSPECTIVA	31
5. CONSULTORÍA GEOTÉCNICA	31
5.1. NUEVO PLANTEAMIENTO	31
5.1.1. ACTUACIÓN DEL CdG	31
5.1.2. LA PROPIEDAD: COORDINACIÓN CON EL EQUIPO TÉCNICO	31
5.2. EL CdG EN LAS FASES DE PROYECTO Y OBRA DE EDIFICIOS	32
5.2.1. ANTEPROYECTO	33
5.2.1.1. Nota técnica	33

5.2.2. PROYECTO BÁSICO	33
5.2.2.1. Informe preceptivo	34
5.2.2.2. Requerimientos	34
5.2.2.3. Propuestas para estudios complementarios ulteriores	34
5.2.3. PROYECTO EJECUTIVO	35
5.2.3.1. Informe ampliado	35
5.2.3.2. Alcance del informe ampliado	35
5.2.3.3. Cimentaciones profundas en terrenos deltaicos	35
5.2.4. CONSTRUCCIÓN	36
5.2.4.1. Nota técnica	36
5.2.4.2. Monitorización	36
5.2.4.2.1. <i>Plan de auscultación</i>	36
5.2.4.2.2. <i>Proyecto de control</i>	36
5.2.4.2.3. <i>Interpretación de resultados</i>	37
5.2.5. EDIFICIO EN FASE DE SERVEI	37
5.3. EDIFICIOS Y CONSTRUCCIONES EXISTENTES	37
5.3.1. PLANTEAMIENTO	37
5.3.2. REHABILITACIÓN	37
5.3.3. PATOLOGÍAS GEOTÉCNICAS	38
6. CONTROL E INSPECCIÓN MONITORIZADA	38
6.1. MONITORIZACIÓN	38
6.2. PLAN DE AUSCULTACIÓN	39
6.3. PLAN DE CONTINGENCIAS	39
6.4. INSTRUMENTACIÓN	39
6.5. LECTURA DE DATOS	41
6.6. ÁMBITO DE ACTUACIÓN DEL CdG	41
6.6.1. CIMENTACIÓN	41
6.6.2. CONTENCIÓN	41
6.6.3. CONTROL DEL NIVEL FREÁTICO	41
6.6.4. MOVIMIENTOS DE TIERRAS (TERRAPLENES Y DESMONTES)	41
6.6.5. TERRAPLENES	41
6.6.6. DESMONTES	42
6.6.7. EXCAVACIÓN POR DAMAS (O BATACHES)	42
6.6.8. TALUDES	42
6.6.9. MEJORA DEL TERRENO	42
7. ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO	42
7.1. SITUACIÓN ACTUAL	42
7.2. PLANTEAMIENTO COMISIÓN-ACE	43
7.3. RIESGO GEOLÓGICO	43

8. TERRENO: RIESGOS PRESUMIBLES	44
8.1. TIPO DE TERRENO SEGÚN EL CTE	44
8.2. TIPO DE RIESGOS SEGÚN SU ORIGEN	44
8.2.1. NATURALES	46
8.2.2. SOBREVENIDOS POR ACTUACIONES SOBRE EL TERRENO	47
8.3. TIPO DE RIESGOS SEGÚN SUS EFECTOS	49
8.3.1. DEFORMACIONES	49
8.3.2. COLAPSOS	49
8.4. TIPO DE LOS RIESGOS SEGÚN LAS ASEGURADORAS	50
8.5. INFORMES REQUERIDOS POR LAS ASEGURADORAS (OCT)	52
8.5.1. OBRA NUEVA CON NECESIDAD DE <i>SEGURO DECENAL</i> (SD)	52
8.5.1.1. Informe D0: definición de riesgos/análisis de riesgos técnicos	52
8.5.1.2. Informe D1.1: unidades de obra especiales/cimentaciones	52
8.5.1.3. Informe D0.1: revisión del proyecto de estabilidad	53
8.5.1.4. Informes de ejecución	53
8.5.1.5. Informe D7: incidencias/obra iniciada y otras incidencias	53
8.5.1.6. Otros informes especiales	53
8.5.1.7. Informe D6: final de la obra	53
8.5.2. EDIFICIO A REHABILITAR CON NECESIDAD DE <i>SD</i>	54
8.5.2.1. Informe D4: preexistentes/obra nueva con preexistencias	54
8.5.2.2. Resto de informes	54
8.5.3. RIESGOS EXCLUIDOS EN LAS PÓLIZAS DE <i>SD</i>	54
9. CONTENCIÓN Y CIMENTACIÓN: DATOS GEOTÉCNICOS REQUERIDOS	56
9.1. CONTENCIÓN	56
9.2. CIMENTACIONES SUPERFICIALES	56
9.3. CIMENTACIONES PROFUNDAS	57
9.4. HIDROGEOLOGÍA	57
9.5. REHABILITACIONES	60
9.6. MEJORA DEL TERRENO	60
9.7. ESTUDIO DE CONTAMINACIÓN (O PRELIMINAR)	62
9.8. ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	63
9.9. COMPACTACIÓN DEL TERRENO	65

10. TRABAJOS DE CAMPO	67
10.1. PLANIFICACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE EMPLAZAMIENTO	67
10.1.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO DE ACUERDO CON EL CTE	68
10.1.2. SUSTITUCIÓN POR ENSAYOS DE PENETRACIÓN DINÁMICA	70
10.1.3. PROFUNDIDAD MÍNIMA A ALCANZAR	70
10.1.4. % DE SUSTITUCIÓN DE SONDEOS POR OTRAS TÉCNICAS	70
10.2. TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN	72
10.2.1. SONDEO MECÁNICO	73
10.2.1.1. Sondeo a rotación con extracción de testigo continuo	73
10.2.1.2. Sondeo a vibración con extracción de testigo continuo	74
10.2.1.3. Sondeo con barrena helicoidal	74
10.2.1.4. Tricono	76
10.2.1.5. Sondeo a rotopercusión	76
10.2.2. ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA (DP)	77
10.2.3. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁTICA (CPT-CPTU)	78
10.2.4. CATAS MECÁNICAS	82
10.2.5. GEOFÍSICA	82
10.2.5.1. Sísmica de refracción	82
10.2.5.2. Sísmica MASW (<i>Multichannel Analysis of Surface Waves</i>)	83
10.2.5.3. Resistividad eléctrica	84
10.2.5.4. Georradar	85
10.3. TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS IN SITU	87
10.3.1. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO	87
10.3.1.1. Categorías de métodos de muestreo de suelos (A-B-C)	88
10.3.1.2. Técnicas de muestreo de suelos	88
10.3.1.3. Clases de calidad de muestras de suelos	88
10.3.2. TOMA DE MUESTRAS DE ROCAS	88
10.3.2.1. Categorías de toma de muestras de rocas (A-B-C)	88
10.3.2.2. Identificación visual de la roca	89
10.3.2.3. Técnicas de muestreo de rocas	89
10.3.3. ENSAYOS IN SITU	89
10.3.3.1. Ensayo de penetración estándar (SPT)	90
10.3.3.2. Muestra inalterada (MI)	91
10.3.3.3. Ensayo presiométrico	91
10.3.3.4. Penetrómetro de bolsillo	92
10.3.3.5. «Vane test» o ensayo de molinete	93
10.3.3.6. Ensayo Lefranc	94
10.3.3.7. Ensayo Lugeon	94
10.4. EL CdG DE CAMPO	95

11. LABORATORIO DE GEOTECNIA.	
INTRODUCCIÓN A LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN	97
11.1. INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN	97
11.2. CONCEPTOS PREVIOS	98
11.2.1. SUELOS	98
11.2.2. ROCAS	100
11.3. TIPO DE MUESTRA	102
11.4. NÚMERO DE ENSAYOS A REALIZAR Y REPRESENTATIVIDAD	104
11.5. CONDICIONES DE ENSAYO	105
11.5.1. RECEPCIÓN, MANIPULACIÓN Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS	105
11.5.2. PREPARACIÓN DE MUESTRAS	106
11.5.3. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS	106
11.6. TIPOLOGÍA DE ENSAYOS DE LABORATORIO	106
11.6.1. ENSAYOS EN SUELOS	106
11.6.1.1. Ensayos de estado y de clasificación (suelos)	106
11.6.1.2. Ensayos de consolidación, deformabilidad e hinchamiento (suelos)	107
11.6.1.3. Ensayos de resistencia (suelos)	109
11.6.1.4. Ensayos de permeabilidad (suelos)	111
11.6.2. ENSAYOS EN ROCA	111
11.6.2.1. Ensayos de resistencia (roca)	112
11.6.2.2. Ensayos de abrasividad y dureza (ripabilidad) (roca)	113
11.6.2.3. Durabilidad (alterabilidad) y rocas evolutivas	113
11.6.3. ENSAYOS QUÍMICOS	114
11.6.3.1. Ensayos químicos en muestras de suelos	114
11.6.3.2. Ensayos químicos en muestras de agua	114
11.6.4. ENSAYOS PARA VIALES	115
11.6.5. ENSAYOS MINERALÓGICOS	117
12. BASES DE CÁLCULO	120
12.1. CRITERIOS DE CÁLCULO SEGÚN EL EC-7	120
12.1.1. CATEGORÍAS GEOTÉCNICAS	122
12.1.2. ESTADOS LÍMITES	122
12.1.3. ENFOQUE DE PROYECTO (<i>DESIGN APPROACH</i> -DA)	122
12.1.4. COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD	124
12.1.5. VERIFICACIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS STR Y GEO	125
12.2. CÁLCULOS HABITUALES	125
12.2.1. CIMENTACIONES SUPERFICIALES: ZAPATAS	125
12.2.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS: PILOTES	134
12.2.3. ASIENTOS EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES	137

13. EL CONSULTOR DE GEOTECNIA EN EL PROCESO DE EDIFICACIÓN	139
13.1. NOTA TÉCNICA: ANTEPROYECTO (AP)	139
13.2. INFORME PRECEPTIVO: FASE DE PROYECTO BÁSICO (PB)	140
13.2.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	140
13.2.2. FUENTES DOCUMENTALES Y BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS	140
13.2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS GEOTÉCNICOS EJECUTADOS	140
13.2.4. MARCO DE REFERENCIA	141
13.2.5. RIESGOS PREVISIBLES	141
13.2.5.1. Riesgo sísmico	141
13.2.5.2. Riesgo por gas radón	142
13.2.6. RECONOCIMIENTO DEL TERRENO	143
13.2.7. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA	143
13.2.8. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS	144
13.2.9. CONCLUSIONES	145
13.2.10. ANEJOS	145
13.3. INFORME AMPLIADO: FASE DE PROYECTO EJECUTIVO (PE)	146
13.4. NOTAS TÉCNICAS: FASE DE CONSTRUCCIÓN (CRT)	147
13.5. SEGUIMIENTO: FASE DE SERVICIO (SR)	147
14. REFERENCIAS TÉCNICAS	148
NORMATIVA	148
BIBLIOGRAFÍA	150
WEBGRAFÍA	151
15. ANEJOS	152
ANEJO A. GLOSARIO DE TÉRMINOS	152
ANEJO B. FICHAS TÉCNICAS	153
ANEJO C. TABLA DE CONTENCIÓN Y CIMENTACIÓN	170
ANEJO D. RIESGOS PRESUMIBLES	178
ANEJO E. TABLA RESUMEN. TÉCNICAS DE PROSPECCIÓN, ENSAYOS IN SITU Y ENSAYOS DE LABORATORIO	183
ANEJO F. SELLO DE CALIDAD COLGEOCAT	188