

COLEGIO OFICIAL DE APAREJADORES
Y ARQUITECTOS TÉCNICOS DE MADRID

**b
i
a**

Nº 233 SEPTIEMBRE-OCTUBRE 2004

P.V.P. 6,00 €



- **EDIFICIO SINGULAR: TORRES ÁGORA**
- **ENTREVISTA: JULIÁN NÚÑEZ, DIRECTOR GERENTE DE SEOPAN**
- **MATERIALES: ÁRIDOS RECICLADOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN**
- **SEGURIDAD: LA GESTIÓN DE SEGURIDAD DURANTE EL PROYECTO Y LA EJECUCIÓN**

El estudio geotécnico (La visión del Arquitecto Técnico)

Por **Jesús H. ALCANIZ MARTÍNEZ**
Arquitecto Técnico

Introducción

Desde la entrada en vigor de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), la figura del Director de Ejecución de la Obra ha tomado mayor relevancia y se ha clarificado su intervención en el proceso constructivo.

La existencia de los Organismos de Control Técnico (OCT) y su especial interés en conocer los resultados del ya obligatorio Estudio Geotécnico, por un lado, y la necesaria interpretación por parte del Director de la Ejecución, por sus repercusiones en la propia ejecución de las cimentaciones, de los muros y de otras estructuras en contacto con el terreno, nos ha obligado a los arquitectos técnicos, reconociendo que no somos especialistas en geotecnia, a reciclarnos en esta materia, colaborando así en la mejora de la calidad del proceso constructivo.

Todo ello nos ha obligado a estudiar seriamente el asunto y a conocer los distintos tipos de estudios geotécnicos que pueden realizarse, y sobre todo, a profundizar en la interpretación del Informe Geotécnico y de sus conclusiones y recomendaciones, para tenerlas en cuenta en nuestra actuación como Directores de la Ejecución.

En este trabajo se pretende exponer una serie de pautas claras y muy prácticas de cómo debe ser un Estudio Geotécnico y como debemos tratar sus resultados, estableciendo un modelo de interpretación y aplicación concreta en nuestras obras.

Esquema general del desarrollo

El esquema general para el desarrollo de trabajo es el siguiente:

Generalidades

-Antecedentes / Obligatoriedad / Quien lo encarga.

-Para que nos sirve / Quien lo va a utilizar / Normativa en vigor.

Contenido del Documento

-La parcela y su entorno / Criterios a seguir / Descripción de los trabajos.

-Entorno Geológico / Ensayos de Campo y de Laboratorio.

-Cálculo de la tensión del terreno / Cálculo de asentamientos / Documentación en Anejos.

Interpretación de los Resultados

-Interpretación de resultados de los ensayos / Utilización de parámetros de ensayos.

-Justificación de los cálculos realizados y de las conclusiones / Interpretación de las recomendaciones.

Aplicaciones a las obras

-Tipo de cimentación recomendada / Precauciones en la ejecución.

-Presencia de agua / Agresividad del terreno

-Pendientes, taludes, etc.

-Influencia en los edificios colindantes.

Desarrollo del proceso

Profundizando en el esquema anterior, planteamos el siguiente desarrollo de cada una de las partes citadas frente a un Estudio Geotécnico.

Generalidades

Desde hace ya mucho tiempo y cada vez con mayor incidencia, se están realizando Estudios Geotécnicos en los solares, como paso previo a la redacción del proyecto de las edificaciones y como inicio de nuestro trabajo como arquitectos técnicos, en las labores propias de



Directo
Ya en e
zo (B.C
menta
te "una
ticas d
sa el c
cios",
encarg
exigir
sario,
formu
aporta
Con la
lógica
NTE-
nicos,
rificar
dios C
Camp
cie de
ción a
a real



Director de la Ejecución de la Obra.

Ya en el Real Decreto 462/1971 del 11 de Marzo (B.O.E. 24.03.71) se exigía que en la documentación del proyecto constara expresamente "una exposición detallada de las características del terreno y de la hipótesis en que se basa el cálculo de las cimentaciones de los edificios", así como que "a estos efectos, el técnico encargado de la redacción del proyecto podrá exigir previamente, cuando lo considere necesario, un estudio del suelo y del subsuelo, que formulado por técnico competente, deberá ser aportado por el propietario o promotor."

Con la publicación de las NTE: Normas Tecnológicas de la Edificación, concretamente la NTE-CEG: Cimentaciones y Estudios Geotécnicos, de 1975, se inició una nueva etapa, al clarificar los criterios de realización de los Estudios Geotécnicos en nuestro país, definiendo la Campaña Geotécnica en función de la superficie de la parcela o solar y del tipo de construcción a ejecutar, así como el número de ensayos a realizar, interpretación de los resultados, re-

dacción del informe, etc.

En base a todo ello y por iniciativa del conocido INCE del antiguo MOPU, aparecieron las Recomendaciones Técnico Administrativas (R.T.A.) donde se especifican claramente algunos conceptos generales, como el modelo de Pliego de Condiciones y el modelo de ofertas y relación de ensayos. De interés especial son las Normas UNE (Una Norma Española), que en la Serie 7000 primero y en la 103 después, se especifica con gran detalle y precisión la relación de ensayos de laboratorio a realizar y su metodología, que, nos permitimos recordar, siempre deben ser realizados por un Laboratorio Oficialmente Acreditado (según Real Decreto 1.230/89).

Por otra parte, la publicación de la Instrucción EHE (Real Decreto 2661/1998) incorpora en su Artículo 40 "Documentos del Proyecto", la obligación de "un Estudio Geotécnico de los terrenos sobre los que la obra se va a ejecutar". Con la aplicación y puesta en marcha de esta normativa, se ha dado un importante avance en

la realización de los Estudios Geotécnicos, lo que sin duda se va a traducir en unos mayores niveles de seguridad y de calidad para nuestras edificaciones.

Todavía más reciente es la publicación de la LOE (Ley 38/1999 de 5 de noviembre de Ordenación de la Edificación), que entró en vigor efectivo el 5 de mayo de 2000, y que en su Artículo 12, apartado "b", estipula que al director de obra se le obliga a "verificar la adecuación de la cimentación proyectada a las características geotécnicas del terreno". Esta situación obliga al promotor del edificio a encargar la ejecución de un Estudio Geotécnico como paso previo a la redacción del Proyecto de Arquitectura y como documento básico para la contratación del Seguro Decenal, que protegerá la edificación durante los primeros diez años de su vida útil.

Y como novedad normativa, la próxima futura publicación del Código Técnico de la Edificación (C.T.E.), tan esperado por todos, que sin duda va a marcar una importante revolución en los aspectos técnicos relativos al terreno, a su estudio y a la interpretación de sus resultados,

Por último, en relación con los aspectos normativos, no hay que olvidar las normas de promulgación autonómica como, por ejemplo, la "Ley de Medidas para la Calidad en la Edificación" de la Comunidad de Madrid.

Con todo esto, teniendo en cuenta el estado de la cuestión, sus aspectos normativos y la necesidad de la realización del Estudio Geotécnico, nos falta tener claros los criterios para su ejecución: número de sondeos, profundidad, ensayos e interpretación.

Contenido del Documento

A continuación, vamos a enunciar unas líneas generales de actuación para facilitar al arquitecto técnico el posible encargo, supervisión e interpretación del Estudio Geotécnico.

La planificación de una Campaña de Investigación Geotécnica debe comprender los siguientes aspectos: definición de los datos necesarios para la redacción del proyecto, definición de las técnicas de reconocimiento a emplear, nú-

mero de puntos de prospección y su situación, la profundidad a alcanzar en la investigación, el muestreo y los ensayos "in situ" a realizar, y el cumplimiento, con todo ello, de la normativa en vigor.

Como es fácil intuir, resulta prácticamente imposible establecer normas fijas para la planificación de estas campañas, ya que siempre intervendrán aspectos que introducen cierto grado de indeterminación, por su difícil, cuando no imposible, cuantificación "a priori". Esto hace que una correcta planificación de una campaña de investigación geotécnica tenga que ser necesariamente flexible, para poder adaptarse a la realidad del suelo investigado y sacar el máximo rendimiento técnico de la inversión que supone su realización.

No obstante, sí hay algunos aspectos fundamentales que conviene respetar, a la hora de establecer la campaña de investigación:

-El número de puntos de reconocimiento será de uno por cada 500 m², con un mínimo de dos, para poder definir un plano de sección (localización superficie piezométrica, estrato resistente, etc.). En parcelas muy grandes se puede reducir este criterio.

-La distribución de los puntos de reconocimiento en la parcela dependerá de condicionantes propios del terreno y de la obra a construir, con una separación que no debe ser superior a 60 m, ni inferior a 20 m. Estos valores representan las distancias en las que se pueden esperar variaciones significativas en la naturaleza o propiedades del terreno.

-La densidad de puntos de reconocimiento debe ser mayor en las zonas donde se sepa o se sospeche de la existencia de algún problema geotécnico o en las zonas donde mayores sean las cargas a transmitir al terreno, pudiéndose reducir en caso de existencia de datos previos.

-La profundidad final de los reconocimientos se debe fijar en base a las dimensiones de los elementos de cimentación proyectados, de las cargas a transmitir, y en base a las características del terreno.

-El muestreo y los ensayos "in situ" a realizar en el interior del sondeo debe ser, como mínimo, de una prueba en cada estrato atravesado, y no más espaciadas de 2,5 m en el caso de es-



tratos de mayor potencia (espesor). En el caso de suelos expansivos, se deben tomar muestras, a partir de 0,5 m de profundidad, cada metro de avance y hasta unos 5 m por debajo del apoyo previsible de la cimentación.

-Los ensayos de laboratorio a realizar serán: Humedad, densidad, granulometría, plasticidad, compresión simple, hinchamiento (expansividad), resistencia al corte (cohesión y ángulo de rozamiento interno), edómetro (cálculo de asentamientos diferenciales), contenido de sulfatos (posibles ataques al hormigón).

Por otra parte, al recibir y estudiar el documento, debemos saber que el Informe Geotécnico debe contener como mínimo la siguiente información:

-Un índice o guión del contenido general del Informe.

-Antecedentes, indicando el cliente, el encargo, localización del solar, topografía, características del edificio (alturas, tipo de estructura, luces, sótanos, etc.), el entorno, cimentaciones próximas, edificios colindantes, rellenos, accidentes naturales o artificiales (ramblas, pozos, etc.) y otros datos previos.

-Posible emplazamiento en zona sísmica, adecuadamente justificado y documentado, indicando aceleración sísmica básica y coeficiente de contribución.

-Información del entorno geológico de la zona y su interrelación con los aspectos geotécnicos concretos.

-Descripción detallada de la investigación realizada, fechas de ejecución y de los resultados de los ensayos, tanto de campo como de laboratorio.

-Sección geotécnica del terreno: Columna litológica o estratigráfica del subsuelo del solar.

-Cuadro con los parámetros geotécnicos, obtenidos de los ensayos realizados.

-Indicación sobre la existencia o no de nivel freático y su cota de aparición

-Expansividad y colapsabilidad de los suelos arcillosos o limoarcillosos.

-Conclusiones finales, con cálculos justificativos.

-Recomendaciones de excavación: Dureza, excavabilidad, estabilidad de taludes, maquinaria a emplear, medios de contención, otros medios auxiliares, drenajes, etc.

-Recomendaciones de cimentación, debidamente justificadas, como tipología, capacidad portante, estimación de asentamientos previsibles, agresividad al hormigón de las cimentaciones, alternativas de cimentación, cota de apoyo, etc.

-Para cimentaciones profundas (pilotes), resistencia por punta y por fuste, profundidad de empotramiento, posibilidad de alcanzar el tope

estructural. En losas: tensión admisible, coeficiente de balasto, módulo de deformación del terreno y estimación de asentos.

-Recomendaciones para los muros perimetrales o de contención, indicando los parámetros de cálculo necesarios (cohesión, ángulo de rozamiento interno, empuje hidrostático, etc.)

-Recomendaciones respecto a las soleras; indicando tipología, tratamiento del fondo del vaciado (escarificación, compactación, posible sustitución del material, sobrecargas, etc.)

-Posibles afecciones a cimentaciones de edificios colindantes.

-Otras recomendaciones que pudieran resultar de interés para el autor del proyecto o para el director de la ejecución.

-Anejos al Informe, presentando las Actas de Resultados de los ensayos de laboratorio, planos geológicos de la zona, planos de localización de puntos de reconocimiento, esquemas, columnas litológicas, documentación fotográfica, etc.

-Todo ello deberá ir VISADO por el Colegio Profesional del técnico o de los técnicos que suscriban y firmen el Informe Geotécnico objeto de estudio,

Interpretación de los Resultados

En cuanto a los resultados de los Trabajos de Campo se debe comprobar que son suficientes para el tipo de terreno y edificación proyectada. Deberá ir claramente definido el tipo de trabajo que se ha realizado: Sondeos Mecánicos (S.M.), Penetraciones Dinámicas (P.D.), Catas de Reconocimiento (C. R.), etc.

Las *Catas de Reconocimiento* (C.R.) permiten la observación directa del terreno, así como la toma de muestras alteradas e inalteradas y la realización de algunos ensayos "in situ". Sólo se realizarán como complemento a otros métodos de prospección, en terrenos cohesivos, sin aparición del nivel freático, en edificaciones de escasa entidad. Para no alterar el terreno, se recomienda realizar las catas, siempre que sea posible, fuera de la planta del edificio, y cuidar esta actuación para no afectar a los edificios colindantes.

Los ensayos de *Penetración Dinámica* (P.D.)

consisten en hacer penetrar en el terreno una puntaza de dimensiones normalizadas, por aplicación de una determinada energía de impacto. Proporcionan una medida indirecta, pero continua, de la resistencia, dureza y deformabilidad del terreno. Por eso, sus resultados deben evaluarse de forma cualitativa y siempre como complemento a la realización de Sondeos Rotativos. Son muy adecuadas para terrenos arenosos o limoarcillosos, no siendo aptas, para terrenos duros, capas de gravas o capas de relleno, ya que en un solo "bolo" puede dar el rechazo como resultado e invalidar la prueba.

El *Sondeo Rotativo* (S.R.) o *Sondeo Mecánico* (S.M.) es el ensayo de campo más fiable y de uso más extendido. Se utiliza una batería con una corona intercambiable de widia o de diamante, que permite perforar cualquier tipo de terreno, suelo o roca. Se obtiene un testigo continuo que permite una interpretación exacta de la estratigrafía del terreno. Del interior de los sondeos deben tornarse Muestras Inalteradas (M.I.), para realizar posteriormente en laboratorio, los ensayos de caracterización del terreno. Después de cada M.I. se realizará un Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T.), que consiste en introducir una cuchara bipartida (se puede tomar muestra del terreno atravesado) o una puntaza ciega y mediante golpeo (con una maza de 63,5 Kg a 76 cm de altura de caída) en una longitud de 45 cm, contabilizando el número de golpes, que corresponde a cada avance parcial de 15 cm. El resultado N del ensayo es la suma de los golpes de la segunda y tercera penetración parcial. En el interior del sondeo se procede a la instalación de "tubo piezométrico" para el control del nivel freático. En todos los casos, comprobaremos que la profundidad de investigación haya sido mayor o igual que:

-Para zapatas: Cota de apoyo de la cimentación más dos veces el ancho de la zapata.

-Para losas: Cota de apoyo de la cimentación más el ancho de la dimensión menor del edificio.

-Para pilotes: Cota de apoyo del pilote más cinco veces su diámetro.

Por otra parte, debemos comprobar, en todos

los casos, la correspondiente Acreditación Oficial de los equipos utilizados en los trabajos de campo y de la empresa responsable de los mismos, que puede no coincidir con los redactores del propio Informe Geotécnico. Debemos comprobar también que exista concordancia en todo momento, entre los trabajos realizados, los resultados obtenidos y las conclusiones emitidas. (Por ejemplo: no se pueden recomendar pilotes a 20 m, si se ha realizado un solo sondeo a 10 m de profundidad, en un solar de seiscientos metros cuadrados). En cuanto a los *Ensayos de Laboratorio* que se deben realizar, como ya se ha dicho, serán imprescindiblemente: humedad, densidad, granulometría, Límites de Atterberg (plasticidad), compresión simple y contenido de sulfatos (posibles ataques al hormigón). Opcionalmente, y dependiendo del tipo de terreno que nos encontremos y de las necesidades de información, por el tipo de obra de que se trate, se deberán realizar también los siguientes ensayos: hinchamiento "Lambe" (expansividad), corte directo (cohesión y ángulo de rozamiento interno) y el edométrico (cálculo de asentos), como más habituales. En los Anejos al Informe Geotécnico se presentarán, en documento original, las Actas de Resultados de los Ensayos de Laboratorio, debiéndose comprobar su Acreditación Oficial para realizar esos ensayos. Comprobaremos que los parámetros de cálculo utilizados se han tomado de las Actas de

Resultados de que disponemos, y que presentan cierta coherencia. (Por ejemplo, con un resultado de humedad natural del suelo de un 20%, nunca puede ser una grava).

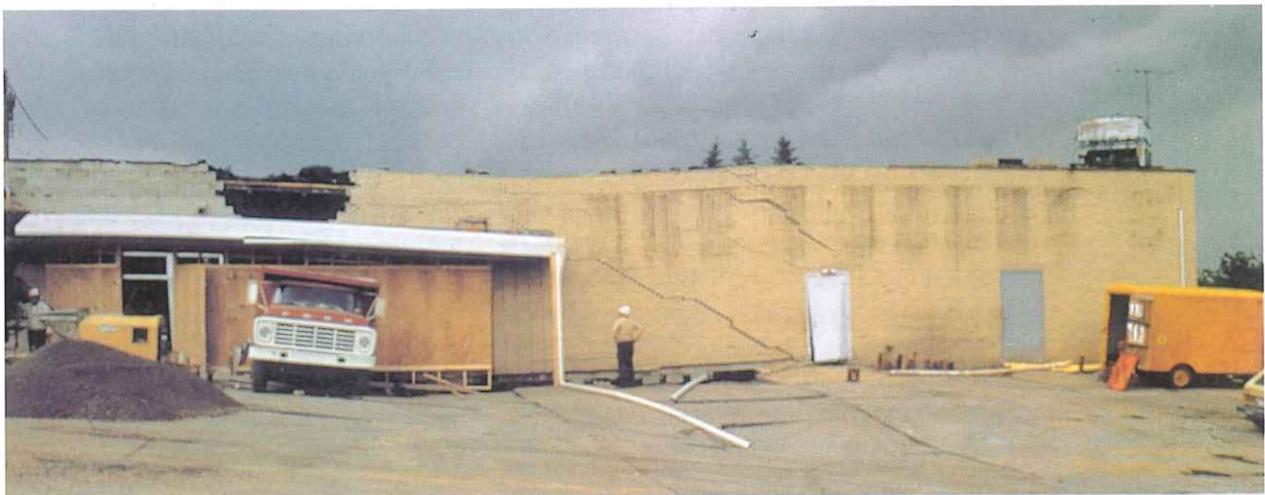
La *Humedad Natural* (H_n) de un suelo proporciona una clara idea de su comportamiento futuro. Además utilizaremos el ensayo de *Límites de Atterberg*, donde en función de su resultado podemos detectar suelos mas o menos resistentes en presencia de cambios de humedad, y su comportamiento frente a esos cambios. Se trabaja con tres parámetros claros: Límite Líquido (Ll), Límite Plástico (L_p) y el índice de Plasticidad (I_p), como diferencia entre los dos primeros. Todo ello nos va a dar idea del comportamiento plástico del terreno objeto de ensayo.

Por ejemplo, en suelos granulares, el " L_p " igual a cero es el ideal: Se trataría claramente de un material no plástico. En suelos arcillosos, sin embargo, cuando aumenta el " L_p " es mejor terreno. Cuando es menor, se trata de un terreno con mayor riesgo, ya que, con poco incremento de humedad, entramos en zona plástica. (Ver gráfico adjunto de Escala de Límites de Atterberg). Según ese gráfico se pueden dar tres claras circunstancias:

Cuando $H_n < L_p$, se trata de un terreno muy resistente.

Cuando $H_n > L_p < Ll$, se trata de un terreno menos resistente.

Cuando $H_n > Ll$, se trata de un terreno poco resistente.





Con el resultado del Ensayo de HINCHAMIENTO LAMBE (ensayo cualitativo) se obtiene la capacidad expansiva del terreno, en tres niveles: No crítico, Marginal y Crítico. El nivel de No Crítico no reviste peligrosidad alguna. Para los dos siguientes niveles que ya revisten cierta peligrosidad, es necesario complementar esa información con la realización de un Ensayo Edométrico (cuantitativo).

Con el *Ensayo de Corte Directo*, se obtienen la Cohesión y el Angulo de Rozamiento Interno, con cuyos parámetros el proyectista calculará los muros de contención de los sótanos, así como dispondrá de mayor información en el diseño de una posible cimentación profunda. Los resultados que se obtendrán de este ensayo oscilarán entre los de la Tabla anterior.

Aplicaciones a nuestras obras

En cuanto a las aplicaciones concretas a las obras, se extraen de las conclusiones y recomendaciones del Informe Geotécnico, que deben ser claras y concretas, resolviendo problemas y no creando mas dudas. Deben estar siempre adecuadamente justificadas, con los cálculos realizados, basándose en los resultados obtenidos de los Ensayos de Laboratorio, incluyendo todos los datos y parámetros de las fórmulas utilizadas. Se trata de que el proceso de cálculo seguido en el Informe sea repetible, si cambiara algún dato, la dimensión de una

zapata o incluso el sistema de cimentación.

En el Informe Geotécnico se realizará el *cálculo de asentos* por cualquiera de los métodos existentes en la bibliografía, recomendando alguno de los tres métodos siguientes: Método de Steinbrenner, Método de Schieicher, o por el Método Edométrico.

El *cálculo de la tensión* admisible se realizará por cualquiera de los métodos reconocidos y recogidos en la amplia bibliografía al respecto, recomendando alguno de los siguientes métodos, para suelos granulares:

-Método de Terzagui y Peck, para cualquier tipo de suelo en suelos arenosos, a través del resultado del Ensayo "SPT".

-Para el caso de Penetraciones Dinámicas, se pueden utilizar las denominadas formulas de los Holandeses.

Para suelos arcillosos es necesario obtener la tensión admisible en función de la carga de hundimiento, como se ha explicado anteriormente.

En cuanto a las recomendaciones, deben ser amplias y flexibles para no encasillar al proyectista. El Informe Geotécnico debe orientar al proyectista y dar recomendaciones constructivas que seguro serán de gran interés también para el Director de Ejecución de la Obra, debiendo incluir al menos:

-Dos o más alternativas de cimentación.

-Nivel al que se debe apoyar el plano de cimentación.

- Posibilidades de excavación.
- Posible zonificación del solar con distintos tipos de cimentación. Métodos de excavación, taludes, pendientes, etc.
- Maquinaria más adecuada: equipos auxiliares.
- Posibles afecciones del Nivel Freático en el desarrollo de la excavación. Precauciones con los drenajes.
- Interferencias con instalaciones.
- Afecciones a edificios o infraestructuras colindantes.

Una vez comprobado todo ello, y verificado el proceso, habremos realizado una correcta interpretación del Informe Geotécnico, que sin duda redundará en la correcta ampliación de la información sobre el terreno, antes del inicio de la obra.

Conclusiones

Como conclusiones de nuestra experiencia como arquitectos técnicos podemos decir que:

- El encargo del Estudio Geotécnico se debe hacer a una empresa especializada de confianza (no es imprescindible que sea Laboratorio Acreditado), cuyos técnicos intervinientes dispongan de suficiente experiencia en mecánica de suelos y que al menos disponga de un titulado con suficientes atribuciones (en materia de suelos y estructuras) para la firma del Informe Técnico, que deberá ir siempre visado por el Colegio profesional correspondiente, como garantía de capacitación para realizar el trabajo.
- Se debe estudiar y analizar minuciosamente el Informe Geotécnico que facilitará la propiedad, para una adecuada interpretación.
- No asustarse ni dejarse impresionar por largas y complicadas fórmulas matemáticas. Estudiarlas y aplicar los resultados obtenidos, para comprobar su adecuada utilización y si se adaptan o no a las características del terreno del solar o parcela en concreto.
- Estudiar la bibliografía existente al respecto, que ayudará a una mejor interpretación del Informe y especialmente de sus conclusiones.

-Asegurarse que se ha realizado una adecuada interpretación de los resultados obtenidos.

-Aprovechar sus conclusiones y recomendaciones, para ser utilizadas en nuestro trabajo como Director de la Ejecución de la obra.

No debemos olvidar la aparición del nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) que aportará nueva, y totalmente actualizada, información, de gran interés para una correcta interpretación del Informe Geotécnico.

Para finalizar, como Directores de la Ejecución de la Obra debemos estar pendientes del inicio de la excavación del solar o parcela, debiendo el Director de Obra verificar la realidad del terreno en comparación con el resultado del Informe Geotécnico que se ha facilitado, y en caso contrario tomar las decisiones oportunas.

Si el lector desea ampliar esta información, puede recurrir a la amplia bibliografía de que se dispone, recomendando el libro de *Geotecnia y Cimientos* del Profesor Jiménez Salas, el de *Ingeniería Geológica* de Luis I. González de Vallejo, el *Curso aplicado de Cimentaciones* del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid (autores: Rodríguez Ortiz y Carlos Oteo) y el *Eurocódigo 7: Proyecto de Geotecnia* (1997).

Teniendo en cuenta estas recomendaciones será fácil interpretar cualquier Informe Geotécnico que se nos presente y plantear su aplicación en la Dirección de Ejecución de la Obra, de la que somos responsables. □

NOTA:

Este trabajo se ha confeccionado en base a la experiencia como Director de un Laboratorio de Ensayos, como técnico de una Organización de Control que realiza Estudios Geotécnicos, como Inspector Técnico colaborador de un Organismo de Control Técnico (OCT) y como Arquitecto Técnico, conocedor de nuestra actuación y de nuestras necesidades de formación e información, en relación con la geotecnia, en el ejercicio libre de la profesión.