

JORNADA TÉCNICA SOBRE EXPERIENCIAS RECIENTES EN ESTRUCTURAS DE TIERRA PARA INFRAESTRUCTURAS VIARIAS

APROXIMACIÓN A LA CAMPAÑA GEOTÉCNICA EN LOS PROYECTOS DE CARRETERA

Rebeca Carabot Moreno
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos del Estado
Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento

1. INTRODUCCIÓN

La geología y la geotecnia imponen fuertes condicionantes al trazado de las vías de comunicación, que deben dilucidarse en la fase del estudio informativo para que las decisiones en ese sentido sean acertadas. Asimismo, extienden su influencia a la hora de escoger las soluciones de los diferentes problemas que se plantean en las fases del proyecto de trazado y del proyecto de construcción.

Los mayores problemas y desviaciones de los proyectos de carreteras originales, a la hora de llevar a cabo su ejecución, suelen estar condicionados por las incertidumbres del terreno: patologías asociadas a deslizamientos, desprendimientos, complejidad en el reconocimiento y estudio de las zonas urbanas, diferencias en la calidad precisa de los materiales que modifican su aprovechamiento, asientos no previstos, etc.



Figura 1.- Estado inicial de obra en desmonte en la carretera N-232

Para tratar de mejorar el conocimiento previo sobre dichos aspectos en la fase de redacción de los proyectos de construcción, en la Dirección General de Carreteras se han puesto en marcha una serie de trabajos con los que se pretende estandarizar el tratamiento de la geología y la geotecnia, y que tienen dos vertientes:

- Por una parte, la revisión del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para la redacción de Proyectos (en adelante Pliego de redacción o PPTPRP). El Pliego de redacción, junto con el Pliego de Cláusulas Administrativas, es la

herramienta que sirve de base para licitar los contratos de servicios para la redacción de los proyectos de trazado y construcción de carreteras.

- Por otra parte, la fijación de unos criterios que posibiliten el desarrollo de una aplicación informática que permita el cálculo de la campaña geotécnica previa a la redacción de un proyecto, como herramienta de ayuda al Director del Contrato responsable del proyecto.

El objetivo de estos trabajos es la definición y la realización de una buena campaña geotécnica durante la fase de redacción de proyecto.

El PPTPRP tiene por objeto describir los trabajos y enumerar las materias que son objeto de estudio, definir las condiciones y los criterios técnicos que sirven de base para dicho estudio y concretar la redacción y la presentación de los proyectos que debe elaborar el Consultor para que el trabajo pueda ser aceptado por la Administración. En este sentido, junto con el grueso del texto del Pliego, es de destacar su Anexo 1 “Presupuesto del Contrato”.

El Anexo 1 recoge, como claramente describe su título, el presupuesto del contrato, donde se incluyen tanto los precios unitarios de los trabajos de prospección geotécnica y ensayos de laboratorio, como el precio del resto de los trabajos de redacción del proyecto valorados a tanto alzado. Se trata, por lo tanto, de un contrato de servicios mixto.

La parte de precios unitarios se adjunta como Anejo en el Pliego de redacción y debe ser completada, en lo referente al número de unidades necesarias, por el Director del Contrato. Por ello, es preciso que el Director del Contrato maneje unos órdenes de magnitud básicos para la ejecución de una campaña geotécnica, y que éstos sean comunes a toda la Dirección General de Carreteras.

Los Documentos que integran un Proyecto de construcción vienen establecidos en la legislación vigente, es decir, el Reglamento General de Carreteras (artículo 27 del R.D. 1812/1884) y la Ley de Contratos del Sector Público (artículo 107 de la Ley 30/2007), y son los siguientes:

- Memoria descriptiva, justificativa de la solución adoptada.
- Anejos a la Memoria. En relación con la geología y la geotecnia, el PPTPRP contempla tres Anejos “Geología y procedencia de materiales”, “Estudio geotécnico del corredor” y “Estudio geotécnico de la cimentación de estructuras y túneles”.
- Planos.
- Pliego de prescripciones técnicas particulares.
- Presupuesto.
- Proyecto de medidas correctoras y protectoras de impacto ambiental.
- Proyecto de seguridad e higiene en el trabajo.

De acuerdo con el artículo 27 del Reglamento General de Carreteras, en los Anejos a la Memoria, se debe incorporar el “*Estudio de yacimientos y procedencia de materiales*”. Y, según el artículo 107.3. de la Ley de Contratos del Sector Público

“Salvo que ello resulte incompatible con la naturaleza de la obra, el proyecto deberá incluir un estudio geotécnico de los terrenos sobre los que ésta se va a ejecutar, así como los informes y estudios previos necesarios para la mejor determinación del objeto del contrato”.

Es decir, la legislación vigente impone la necesidad del estudio de los terrenos por los que discurre la traza y de los materiales necesarios para la ejecución del proyecto. No se trata, por tanto, de un simple capricho, sino de una exigencia legal fundamentada en la importancia que, para la seguridad y la economía de la obra, tiene el conocimiento geológico-geotécnico de la zona de estudio, basado en la realización de una buena campaña geotécnica.



Figura 2.- Estado final del desmonte de la Figura 1 en la carretera N-232

2. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE LA CAMPAÑA GEOTÉCNICA

Los trabajos de estandarización de los aspectos geológicos y geotécnicos de los proyectos, que están siendo llevados a cabo por la Dirección General de Carreteras, se están centrando en el caso de un proyecto tipo de carretera, absolutamente genérico, que cubra un porcentaje relativamente significativo de las actuaciones llevadas a cabo en las Demarcaciones de Carreteras del Estado. En concreto, se focalizan en una autovía de nuevo trazado que discurra en campo abierto por una zona de dificultad orográfica media. Por tanto, la aplicación de los resultados y las conclusiones que se obtengan para duplicaciones de calzada, ensanches y mejoras, obras exclusivamente urbanas, estructuras u otras obras singulares, etc., en general, no resultará adecuada por la especificidad y la particular problemática de estas últimas.

Dichos resultados y conclusiones tampoco resultarán de aplicación directa, en general, cuando se conozca de antemano que los terrenos por los que discurre el trazado son singulares o tienen una especial dificultad, desde los puntos de vista geológico y geotécnico. Como relación abierta de casos de especial dificultad geotécnica, suelen encontrarse áreas con paleodeslizamientos y otras zonas geomorfológicamente

inestables, suelos blandos, zonas cársticas o con subsidencias, zonas con predominio de sales solubles, materiales expansivos o colapsables, zonas inundables o susceptibles de sufrir problemas de socavación, rellenos y obras diversas apoyadas, embebidas o con algún grado de dependencia del estado de otras obras geotécnicas más antiguas, etc.

En el proyecto se deberá realizar una caracterización completa y suficiente de cada uno de los desmontes, rellenos y préstamos, no debiendo quedar ninguno, independientemente de su longitud y volumen, sin reconocer y clasificar. Dicha caracterización debe referirse en todos los casos a los siguientes aspectos:

- Evaluación de la calidad y la cantidad de los materiales necesarios para la ejecución de la traza o derivados de la misma:
 - Caracterización y procedencia de los materiales necesarios para la ejecución de los rellenos o tratamientos de integración.
 - Caracterización y destino de los excedentes de excavación de desmontes o saneos, en su caso.
- Condiciones de estabilidad de los rellenos y los desmontes.
- Condiciones de excavabilidad de los desmontes y de ejecución de los rellenos.
- Condiciones resistentes y deformacionales del terreno de apoyo: características de los fondos de los desmontes y los cimientos de los rellenos.

Deberá tratar de obtenerse la máxima información posible de cada una de las prospecciones o los ensayos que se realicen, siendo válidos, la mayoría de ellos, para más de uno de los fines enumerados en la relación anterior.

3.1. RELLENOS, DESMONTES Y PRÉSTAMOS

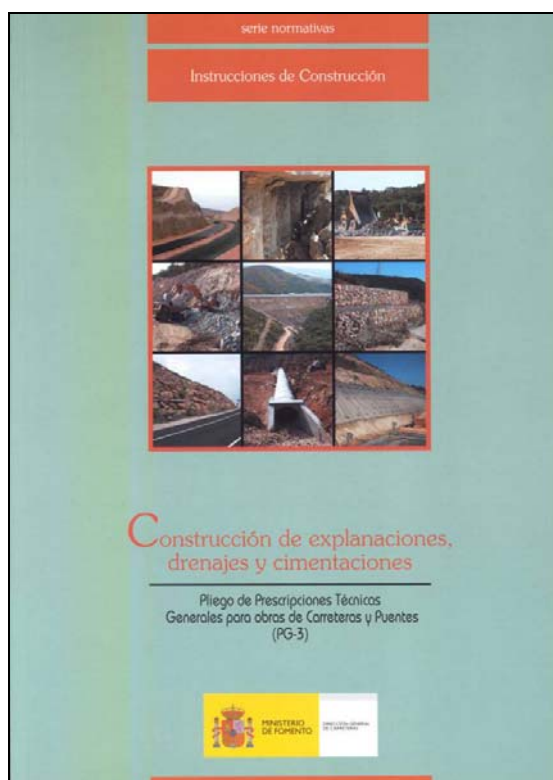
3.1.1. Materiales

La caracterización de los materiales para rellenos no podrá omitir ninguno de los ensayos que especifica el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), por lo que deberá ser siempre una caracterización completa, de acuerdo con los criterios especificados en el mismo.

En cada uno de los rellenos en que se divida la traza se determinará la procedencia de los materiales que lo constituyen, identificando de modo expreso los desmontes de la traza o los préstamos de donde provengan.

En ningún caso una muestra podrá clasificarse conforme a los criterios de aptitud especificados en el PG-3, si previamente no se han efectuado en la misma todos y cada uno de los ensayos referidos en dicho Pliego, según el tipo de relleno de que se trate (artículos 330 a 333). Con la versión vigente del PG-3 (Orden FOM/1382/2002), los criterios para la clasificación de los materiales para la ejecución de rellenos, son los que se muestran en la Tabla 1.

Figura 3.- Portada del PG-3



Los excedentes de excavación, tanto si se trata de tierras sobrantes provenientes de la ejecución de los desmontes, como si se trata de saneos de la traza, se identificarán, asimismo, de acuerdo con los mismos criterios definidos para los rellenos.

En el caso de desmontes y préstamos, el número mínimo de clasificaciones completas a efectuar en cada uno de ellos se determinará considerando su volumen útil, de acuerdo con una serie de criterios tabulados que oscilan entre 25.000 y 200.000 m³ por caracterización. Se han considerado unas alturas medias de desmontes y explotación de préstamos acordes a la práctica habitual de los últimos años en obras de carretera.

Tabla 1.- Clasificación de los materiales según el PG-3

Artículo	Apartado	Criterio de clasificación
330 Terraplenes	330.3.3.1/3.3.2	Granulometría
	330.3.3.4	Plasticidad (límites de Atterberg)
	330.3.3.4/4.4.5	Contenido de materia orgánica
	330.3.3.3/4.4.1	Colapsabilidad
	330.3.3.4/4.4.2	Expansividad (hinchamiento libre en edómetro)
	330.3.3.3/4.4.4	Contenido de sales solubles
	330.4.4.3	Contenido de yeso
	330.4.1.3	Índice CBR
331 Pedraplenes 333 Rellenos todo-uno	331.4.4	Curvas Próctor normal y modificada
	333.4.3	Inadecuación de forma (granulometría)
		Calidad del material:
		▪ Rocas evolutivas (estabilidad frente al desmoronamiento en agua y ciclos humedad-sequedad) ▪ Rocas con sulfuros oxidables (propiedades químicas: sulfatos) ▪ Rocas con minerales solubles (contenido de sales solubles y de yeso) ▪ Rocas con minerales combustibles (materia orgánica)

3.1.2. Estabilidad de rellenos y desmontes

Para determinar la estabilidad de los taludes de los rellenos y desmontes se ejecutarán una serie de reconocimientos de campo, que serán complementados con la realización de ensayos de laboratorio, que permitan determinar los parámetros geotécnicos para la realización de los cálculos de estabilidad.

Los rellenos tipo terraplén deberán ejecutarse, con carácter general, con taludes 3H:2V ó 2H:1V, teniendo en cuenta que:

- Los rellenos con núcleo confinado (suelos marginales en el interior) adoptarán un talud 2H:1V.
- En los rellenos tipo terraplén ubicados sobre suelos blandos, tanto para el talud de los espaldones como el interno de la zona encapsulada, en su caso, se adoptará el talud obtenido de los cálculos de estabilidad realizados:
 - Con un máximo limitado al 2H:1V en suelos blandos sin tratamientos específicos de mejora de terreno.
 - Con un máximo limitado al 3H:2V en suelos blandos con tratamientos específicos de mejora de terreno.
- Los rellenos tipo pedraplén o todo-uno podrán tener un talud más vertical que el 3H:2V, previo estudio específico.



Figura 4.- Detalle de desmonte en la carretera N-260

En el caso de los desmontes, las prospecciones y los ensayos a efectuar serán diferentes en función de la altura, la longitud del desmonte y la naturaleza de los materiales que lo componen:

- Para desmontes de menos de cuatro metros de altura máxima ($H_D^{m\acute{a}x} < 4 \text{ m}$), independientemente de la longitud del mismo, la prospección podrá efectuarse mediante calicatas, o rozas a media ladera, en su caso.
- Para desmontes de altura máxima igual o superior a cuatro metros ($H_D^{m\acute{a}x} \geq 4 \text{ m}$), la prospección deberá acometerse, con carácter general, mediante sondeos mecánicos que deberán caracterizar un mínimo de unos tres metros (3 m) por debajo de la cota de fondo de excavación del desmonte, en la sección transversal de que se trate en cada caso.



Figura 5.- Sucesión de rellenos y desmontes en la
autovía A-23

Constituye una regla de buena práctica efectuar uno de los sondeos en el punto alto del desmonte (si éste destacase claramente) y comenzar a medir las distancias relativas entre sondeos a ambos lados del mismo. Por otra parte, a menos que la sección transversal presente alturas muy diferentes en ambas márgenes, los sondeos se ubicarán preferiblemente en el eje. En caso contrario, deberían ubicarse en la zona con mayor altura. Los sondeos deberán servir para caracterizar cada una de las unidades geológico-geotécnicas que conforman el desmonte, por lo que se recomienda utilizar, con carácter preferente, dicho criterio para fijar el espaciamiento y ubicación óptima de los sondeos.

Las lecturas de nivel piezométrico de los sondeos de los desmontes se efectuarán con arreglo a los siguientes criterios de periodicidad:

- Las mediciones deberán tener al menos carácter estacional, es decir, como mínimo se recomiendan cuatro (4) lecturas anuales, tomadas al final de cada estación meteorológica.
- Los sondeos deberán permanecer accesibles desde la primera lectura y permitir la realización de mediciones en su interior, el mayor número de veces posible y, en todo caso, hasta la finalización del proyecto.

A la hora de determinar las condiciones de estabilidad de las formaciones se contará con la información del inventario de taludes que se redacte, de las estaciones geomecánicas que se levanten, de la interpretación fotogeológica, etc.

En aquellos casos en que se considere conveniente, se realizarán prospecciones geofísicas tratando de apoyarse tanto en sondeos mecánicos que puedan servir como contraste, como en el reconocimiento geológico-geotécnico de campo. Así, por ejemplo, la sísmica de refracción resulta especialmente indicada para establecer, de modo aproximado, los contactos entre una zona constituida por capas suprayacentes de suelo o roca blanda, e infrayacentes de roca más o menos dura, y para determinar la potencia y excavabilidad potencial de estas formaciones. Por su parte, los sondeos eléctricos verticales resultan idóneos para definir, en la vertical de un punto, ciertos aspectos relacionados con la presencia de niveles piezométricos, cavidades (huecas o rellenas de agua), etc.

3.1.3. Excavabilidad de los desmontes

Directamente relacionada con los aspectos anteriores, y definida por la misma campaña, se encuentra la excavabilidad de los desmontes que presenta particular importancia a la hora de decidir el procedimiento constructivo, determinando la necesidad del empleo de voladuras o contribuyendo a la definición de las características mínimas de la maquinaria de excavación necesaria.

3.1.4. Condiciones resistentes y deformacionales del terreno de apoyo

En el caso de los rellenos, el tipo de prospección más adecuada en cada ubicación concreta debe determinarse en función de la altura del propio relleno en dicho punto y de las características del terreno de apoyo, de acuerdo con los siguientes criterios generales:

- Los rellenos cimentados sobre materiales tipo suelo cuya altura sea inferior o igual a diez metros ($H_R \leq 10$ m) requerirán prospecciones en forma de calicatas.
- Los rellenos cimentados sobre materiales tipo suelo cuya altura sea superior a diez metros ($H_R > 10$ m), precisarán prospecciones en forma de sondeos.
- Los rellenos cimentados sobre roca, independientemente de su altura, sólo precisarán de la determinación fehaciente de la existencia de roca sana a cierta profundidad, lo que podrá sustanciarse mediante calicatas, sondeos y sísmica de refracción, en su caso.



Figura 6.- Detalle de calicata

Estas prospecciones deberán llevarse a cabo dentro de la superficie a ocupar por el relleno, preferiblemente bajo su eje.

Complementariamente a todo lo anterior e independientemente de las resistencias a la penetración obtenidas, deberá efectuarse una estimación de los asentos en el terreno

de apoyo en formaciones tipo suelo, debidos a la ejecución de los rellenos, que se efectuará partir de las prospecciones y muestras tomadas en cada emplazamiento.

En el caso de los desmontes, se debe determinar, igualmente, la capacidad de soporte del fondo de cada uno de ellos, siguiendo los mismos criterios para determinar la frecuencia en el número de ensayos que los que se emplean para definir las condiciones de estabilidad de sus taludes.

3. BASES PARA UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA DE ESTIMACIÓN INICIAL DE LA CAMPAÑA GEOTÉCNICA

Como ya se ha indicado anteriormente, el PPTPRP debe adjuntar, como Anejo, una previsión de la campaña geotécnica a efectuar durante el desarrollo de cualquier proyecto, adaptada a las particularidades de la zona por la que vaya a discurrir la traza.

El Anejo consta de una serie de unidades relacionadas con los reconocimientos de campo y ensayos de laboratorio más habituales y de sus elementos complementarios, como, por ejemplo, el transporte y emplazamiento de los equipos.

En la actualidad, el número de unidades necesarias de cada uno de dichos ensayos debe ser completada por el Director del Contrato. Por ello, la Dirección General de Carreteras está desarrollando una aplicación informática como ayuda para llevar a cabo la estimación previa de dichas unidades de manera estandarizada.

En primer lugar, se tendrán en cuenta las características geológico-geotécnicas de la zona en la que se ubique la actuación. Se aprovechará para ello:

- La información geológico-geotécnica recogida en el Estudio Informativo sobre la solución definitivamente aprobada.
- Las prescripciones de la Declaración de Impacto Ambiental.
- La experiencia previa en otros proyectos y obras realizados en la zona para estimar y ajustar los resultados.

Es necesario tener presente, a la hora de utilizar la aplicación, que el objetivo se ha dirigido al tratamiento de proyectos genéricos, es decir, autovías de nuevo trazado que discurran en campo abierto por zonas de dificultad orográfica media. Asimismo, es de destacar que los resultados obtenidos con el uso del programa informático constituyen unos mínimos, estando el Director del Contrato en disposición de aumentar los valores de la campaña siempre y cuando lo considere necesario y justificado. A lo largo del desarrollo del Proyecto, un mejor conocimiento geológico-geotécnico de la zona puede llevar aparejada la necesidad de modificación de la campaña, aspecto que corresponde, igualmente, al Director del Contrato estimar y autorizar.

De hecho, la aplicación informática incluye unidades (ensayos y prospecciones) más específicas para terrenos con condiciones geológico-geotécnicas particulares que permiten, según las peculiaridades de dichas zonas, disponer de cierto margen para solicitar la realización de reconocimientos específicos para cada caso.

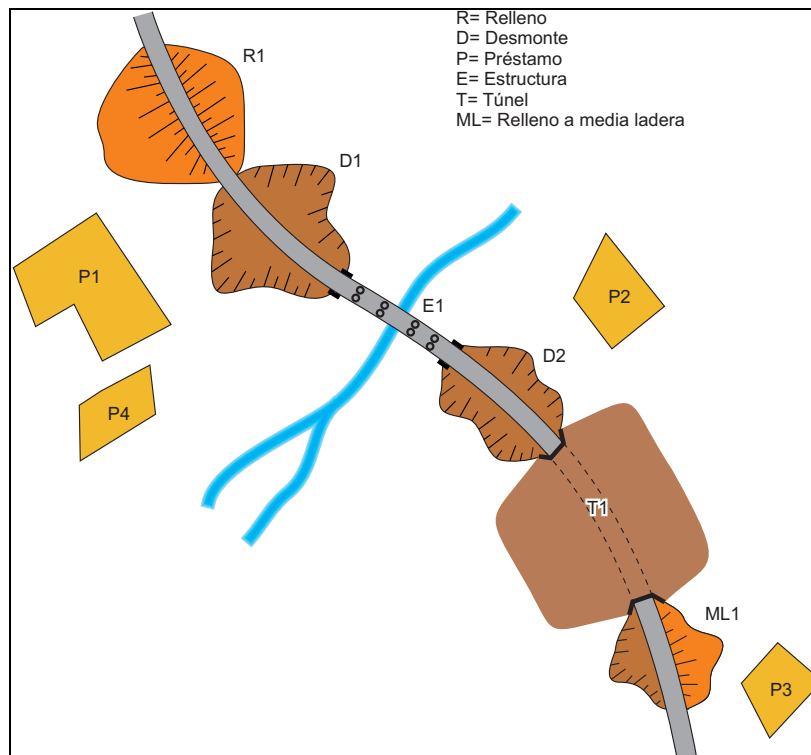


Figura 7.- Tramificación de un proyecto

Para proceder con el uso del programa, la totalidad de la traza se tramificará en desmontes, rellenos y secciones a media ladera. Asimismo, se identificarán los préstamos próximos a la traza. Los túneles y las estructuras requieren un estudio específico, siendo también considerados en la aplicación.

Los datos de entrada son simples y parten del conocimiento de las magnitudes geotécnicas básicas procedentes del estudio informativo, siendo para el caso de rellenos, desmontes y préstamos:

- L_D (m) = Longitud total de desmontes
- L_R (m) = Longitud total de rellenos
- V_D (m³) = Volumen de material en desmonte
- V_{TP} (m³) = Volumen de préstamos para terraplén
- V_{PP} (m³) = Volumen de préstamos para pedraplén o todo-uno

El programa emplea un factor local (K_r) que tiene en cuenta, para cada proyecto concreto, la naturaleza de los terrenos atravesados expresada como proporción relativa aproximada entre materiales tipo roca y tipo suelo presentes en la zona. Su valor se encuentra siempre comprendido entre cero (si el 100 % de los terrenos atravesados fuesen suelos) y uno (si el 100 % de los terrenos atravesados fuesen rocas), es decir, $0 \leq K_r \leq 1$. Dicho valor puede obtenerse por defecto a escala regional, o bien introducirse manualmente por el Director del Contrato.

Se han realizado una serie de simplificaciones que, aunque frecuentes, no tienen por qué cumplirse necesariamente en la realidad. Así, por ejemplo, se han supuesto entre otros aspectos básicos los que siguen:

- El trazado, en general, no discurre sobre suelos “blandos”.
- Las zonas correspondientes a secciones a media ladera se equiparan a desmontes o rellenos, según presenten una proporción mayor o menor, expresada en volumen, de material a desmontar o terraplenar, respectivamente.
- La excavación correspondiente a los saneos se computará como volumen de excavación en desmonte (V_D), y el material para efectuar el relleno de saneo, en general y por defecto de tipo terraplén, como material procedente de préstamos (V_{TP}).



Figura 8.- Pantalla inicial de la aplicación para el cálculo de la campaña geotécnica de la Dirección General de Carreteras

Los datos básicos procedentes del estudio informativo, las simplificaciones enumeradas anteriormente, entre otras, y una serie de fórmulas polinómicas sencillas permiten calcular, con la aplicación informática, las mediciones de cada uno de los ensayos y prospecciones más habituales. El presupuesto de la campaña geotécnica, necesaria para licitar el contrato de servicios para la redacción del proyecto de construcción, puede obtenerse simplemente multiplicando dichas mediciones por precios unitarios de aplicación a cada una de ellas.

No se debe olvidar que siempre que se traten los aspectos geológicos y geotécnicos de un proyecto se pondrá especial énfasis en la justificación explícita de las decisiones técnicas que se adopten, tanto en la Memoria como en los correspondientes Anejos.

4. CONSIDERACIONES FINALES

La naturaleza de los problemas geológicos y geotécnicos tiene un marcado carácter local o regional, no extrapolable, que viene dado por la conjunción las diversas circunstancias que componen el entorno de una actuación. La importancia que debe darse a la geología y la geotecnia en la fase de redacción de proyectos de carretera se pone de manifiesto, especialmente, cuando se comprueba la abundante y variada patología de índole geotécnica y su enorme trascendencia económica.

El Anejo 1 “Presupuesto del Contrato”, del Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para la redacción de Proyectos de la Dirección General de Carreteras, tiene por finalidad conseguir que, durante la redacción de los proyectos, se realice una campaña geotécnica que permita: conocer verdaderamente el terreno atravesado por la traza, abonar exactamente la parte de los reconocimientos que sea llevada a cabo de acuerdo con el Pliego y acotar, en la medida de lo posible, las incidencias que pudieran producirse en fase de obra en relación con la geotecnia.

La Dirección General de Carreteras está, por tanto, haciendo un importante esfuerzo por establecer criterios acerca de cómo diseñar y calcular los aspectos geotécnicos de sus proyectos, tratando de aprovechar su fase de elaboración para conocer con la mayor exactitud factible el terreno y los materiales que en él se encuentran, reconocerlo realmente, analizar los resultados de dicho reconocimiento e interpretar adecuadamente la realidad geológico-geotécnica que se mostrará en el momento de ejecutar la obra.