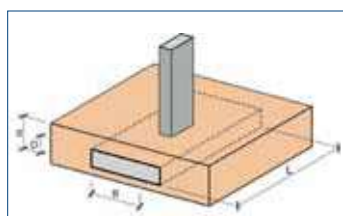


La Serie *Guías Eurocódigos* de la Dirección General de Carreteras: Primeros Títulos Publicados



Eurocode Guides Series by Dirección General de Carreteras: first available titles

Pilar Crespo Rodríguez

Jefe del Área de Estructuras

Álvaro Parrilla Alcaide

Jefe del Área de Geotecnia

Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos del Estado

Dirección Técnica, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento

La Dirección General de Carreteras acaba de editar los primeros títulos de una nueva serie editorial, que pretende contribuir a la difusión y el conocimiento de los Eurocódigos estructurales entre la comunidad ingenieril española. Se presentan los dos primeros documentos, que son relativos a la aplicación del Eurocódigo 7 Proyecto geotécnico, tanto en sus aspectos más generales: *Bases del proyecto geotécnico* como en las particularidades de las *Cimentaciones superficiales*.

Dirección General de Carreteras has just published first titles of a new editorial series devoted to the spreading and better knowledge of *Structural Eurocodes* among Spanish engineering community. This article introduces the first two documents about practical use of *Eurocode 7 Geotechnical Design*, in both their general aspects: *Basis of Geotechnical Design* and the specificities of *Shallow Foundations*.

Introducción a los Eurocódigos Estructurales

La Comisión Europea puso en marcha en 1981 la redacción de un código estructural europeo que culminó con la aparición en 1984 de los primeros Eurocódigos. En las dos décadas transcurridas entre la publicación de esos primeros textos y los actuales, se produjo una evolución muy significativa, no sólo en su contenido, sino en el grado de aceptación y reconocimiento por parte de la comunidad técnica europea y mundial.

En la década de los 90, hizo su aparición una segunda generación de Eurocódigos, elaborados en el seno del Comité Europeo de Normalización (CEN) por mandato de la Comisión Europea. Estos textos, conocidos como normas ENV, se publicaron con carácter experimental. Fue entre los años 2002 y 2007, cuando tuvo lugar la publicación de los *Eurocódigos Estructurales* como normas EN. Desde entonces, el organismo nacional español de normalización UNE, ha traducido paulatinamente estos textos a nuestro idioma, publicándolos como normas UNE-EN.

Estas normas tienen carácter voluntario por su propia naturaleza, salvo que una disposición reglamentaria las declare obligatorias. Hay que destacar que sucesivas Directivas y Recomendaciones de la Unión Europea han hecho referencia expresa a los Eurocódigos y a la importancia de su adopción por los Estados miembro como forma de “facilitar la provisión de servicios en el campo de la construcción creando un sistema armonizado de reglas generales”, lo que ha dado lugar a que en los últimos años la gran mayoría de los países europeos los hayan adoptado como código estructural único.

En el caso concreto de las obras públicas, la *Directiva de contratación pública*, tras puesta al ordenamiento jurídico español por la *Ley de contratos del sector público*, establece la preemi-

nencia de las normas nacionales que incorporen normas europeas (UNE-EN, en el caso español) sobre cualquier otra especificación nacional a la hora de fijar las condiciones técnicas en los pliegos de contratación para la redacción del proyecto de dichas obras (sin perjuicio de los reglamentos obligatorios).

Además, existe reglamentación europea, de obligado cumplimiento de forma directa en los Estados miembro, que declara los Eurocódigos como normas de proyecto.

La relación completa de Eurocódigos es la que sigue:

- *Eurocódigo 0: Bases de cálculo de estructuras*
- *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras*
- *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón*
- *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero*
- *Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón*
- *Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera*
- *Eurocódigo 6: Proyecto de estructuras de fábrica (albañilería)*
- *Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico*
- *Eurocódigo 8: Proyecto para la resistencia al sismo de las estructuras*
- *Eurocódigo 9: Proyecto de estructuras de aleación de aluminio*

Los diez Eurocódigos se dividen a su vez en varias partes, dando lugar a un total de cincuenta y ocho partes.

A fecha de hoy se trabaja, desde el Comité Europeo de Normalización, en una nueva versión de los Eurocódigos coloquialmente denominados de “segunda generación” (aunque como ha podido deducirse se trataría ya de la

tercera o incluso cuarta versión de algunas de las normas) cuya finalización está prevista para 2022.

Eurocódigo 7

El EC7 (norma UNE-EN 1997) titulado Proyecto geotécnico, trata los aspectos geotécnicos del proyecto de estructuras, de edificación y obra civil, estableciendo las reglas para determinar las acciones geotécnicas, así como el planteamiento de las comprobaciones. Consta de dos partes:

- *UNE EN 1997 1 Proyecto geotécnico: Reglas generales*
- *UNE EN 1997 2 Proyecto geotécnico: Investigación y ensayos del terreno.*

UNE-EN 1997 es un caso singular dentro del conjunto de los Eurocódigos. A diferencia de lo que ocurre con el resto, dedicados al cálculo estructural, el EC7 no recoge métodos y modelos de comportamiento del terreno o procedimientos de cálculo (sólo incluye algunas formulaciones en anejos informativos, sugeridas con carácter de ejemplo). Esta circunstancia, que suele producir un cierto desconcierto entre los usuarios neófitos, se comprende si se tienen en cuenta dos de los objetivos principales perseguidos por los redactores del EC7:

- Establecer unas bases de cálculo para las comprobaciones geotécnicas completamente homogéneas y compatibles con las bases del cálculo estructural, clarificando la aplicación de la teoría de los estados límite en las comprobaciones geotécnicas e introduciendo el uso de los coeficientes parciales
- Dar cabida en esas nuevas bases del proyecto geotécnico a las diferentes particularidades y criterios nacionales

El punto de partida era la geotecnia que podría denominarse clásica, con

una larga tradición, basada fundamentalmente en el empleo de coeficientes de seguridad globales de valores numéricos relativamente altos y que comprenden las incertidumbres derivadas no sólo del comportamiento del terreno, sino incluso de las acciones o los materiales estructurales. La empresa era, por tanto, suficientemente compleja como para que todo el contenido del EC7 estuviera dedicado a las bases de cálculo, asumiéndose que los modelos de comportamiento del terreno pueden encontrarse en tratados geotécnicos o bibliografía especializada.

Actualmente, el EC7 está en uso en casi todos los países europeos. En todos ha supuesto un cambio en la forma de abordar las comprobaciones geotécnicas; más en unos países que en otros según lo adaptados que sus procedimientos estuvieran al método de los estados límite y a los coeficientes parciales. En España, su implementación requiere un cierto esfuerzo de adaptación, aunque ya se ha recorrido una buena parte del camino: en la última década, los diferentes textos normativos relativos al proyecto geotécnico de estructuras han ido evolucionando y aproximándose a la filosofía recogida en el EC7.

A fecha de publicación de este artículo, el *Eurocódigo 7* se halla inmerso en una fase de revisión profunda por más de doscientos cincuenta expertos de casi todos los países europeos, que le hará pasar de dos a tres partes multiplicando la extensión de sus contenidos por dos o incluso por tres.

Los títulos de los borradores de las partes en que se trabaja son:

- *Parte 1 Reglas generales*
- *Parte 2 Investigación del terreno*
- *Parte 3 Estructuras (o construcciones) geotécnicas*

No obstante lo anterior y dado que la versión vigente del EC7 nos acompañará, al menos, durante unos años

más y que los borradores de las nuevas partes brotan de los textos actualmente vigentes, se ha creído conveniente poner los documentos objeto de este artículo a disposición de la comunidad ingenieril en este momento, en que los anejos nacionales españoles de todos los Eurocódigos han sido ya publicados por el organismo nacional de normalización UNE.

Introducción a la serie *Guías Eurocódigos*

El uso creciente y generalizado de los Eurocódigos en los países de nuestro entorno ha dado lugar a la publicación de manuales, guías y ejemplos de aplicación de estas normas. En España, desde hace ya algunos años, los Eurocódigos se han convertido en textos de referencia en la enseñanza universitaria y han ido apareciendo publicaciones diversas relativas a los mismos, entre las que cabe citar algunos números monográficos en revistas especializadas.

La serie denominada *Guías Eurocódigos*, puede considerarse sin embargo pionera en nuestro país y más aún, en nuestra lengua. Su objeto es contribuir a que la comunidad técnica española tenga un conocimiento más profundo de los distintos Eurocódigos y, en última instancia, a facilitar su aplicación en los proyectos de la Dirección General de Carreteras.

La serie está planteada como un conjunto abierto de publicaciones que irá creciendo en función de las carencias o inquietudes técnicas que puedan surgir a medida que los Eurocódigos se impongan como código estructural español y se conviertan en textos de uso general.

En su elaboración se ha supuesto que el lector está familiarizado con los Eurocódigos correspondientes y es conocedor de los conceptos ingenieriles en los que se sustentan. Para evitar



Figura 1. Portada de la parte 1 de la versión española del EC7 (norma UNE EN 1997-1)

en lo posible la repetición de cláusulas, las Guías necesitarán ser leídas junto con los propios Eurocódigos y con sus respectivos anejos nacionales españoles.

A fecha de publicación de este artículo, la serie consta de cuatro títulos publicados, en formato pdf de descarga libre a través de la página web del Ministerio de Fomento¹, si bien se encuentran en preparación algunos más. Los títulos ya publicados son:

- *Guía para el proyecto de cimentaciones en obras de carretera con Eurocódigo 7: Bases del proyecto geotécnico*
- *Guía para el proyecto de cimentaciones en obras de carretera con Eurocódigo 7: Cimentaciones superficiales*
- *Guía para el proyecto sísmico de puentes de carretera*

¹ En el momento de publicación de este artículo, las Guías pueden descargarse desde la siguiente página de internet:

<http://apps.fomento.gob.es/CVP/listapublicaciones.aspx?c=Carreteras>

Dado que estas direcciones/enlaces suelen variar con el tiempo, con carácter general se encuentra disponible en el espacio web del Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento y en el de la Dirección General de Carreteras.



Figura 2. Algunos delegados en la última reunión de expertos del Eurocódigo 7 celebrada en la Universidad de Nápoles en diciembre de 2018

- *Guía para el proyecto frente a fatiga de puentes metálicos y mixtos de carretera*

Este artículo se centra en los dos títulos referidos en primer lugar, relativos al *Eurocódigo 7: Proyecto Geotécnico*, que deben leerse, precisamente por el orden en que se citan, es decir, en primer lugar, el documento dedicado a las Bases del proyecto geotécnico y cuando se trate de proyectar cimentaciones superficiales, el segundo de dichos títulos.

La guía para el Proyecto de Cimentaciones en Obras de Carretera con EC7

La Guía para el proyecto de cimentaciones en obras de carretera con *Eurocódigo 7* ha sido redactada con las dos premisas básicas siguientes:

- Asumir íntegramente la filosofía del EC7 y las bases para el proyecto geotécnico establecidas en dicha norma
- Incluir procedimientos y formulaciones allí donde el EC7 plantea únicamente principios, para disponer así de un documento autosuficiente en la medida de lo posible, manteniendo siempre una estricta coherencia con el EC7.

En el texto de la Guía se especifica qué formulaciones están de alguna manera recogidas en el EC7 y cuáles son propuestas de este documento. Es posible encontrar otros procedimientos, no contemplados por el EC7 ni por la Guía que serán perfectamente válidos como alternativa, siempre que estén suficientemente avalados por la práctica y que se asegure que el tratamiento de la seguridad es coherente con los principios del EC7.

Aunque la mayor parte de los criterios y procedimientos recogidos en la Guía pueden ser aplicables cualquiera que sea el tipo de estructura analizada, su ámbito de aplicación son las obras de carretera, como se indica inequívocamente en su título.

Inicialmente, la Guía se planteó con un índice parecido al del propio EC7, es decir, la intención primera fue la preparación de un documento en el que se desarrollaran todos los aspectos tratados por el EC7. Sin embargo, a medida que se fue avanzando en el trabajo, se comprobó que no todos los temas tenían en el EC7 el mismo grado de desarrollo y que las diferencias con la práctica tradicional española eran mayores o menores según el capítulo de que se tratara, lo que requería un tratamiento diferente para cada uno.

Por este motivo, para conseguir mayor flexibilidad, se decidió hacer una publicación estructurada en diferentes partes, de aparición temporal sucesiva, de las que en este artículo se presentan las dos primeras.

Hay que señalar que existen dos documentos² que explican las bases del EC7, redactados por algunos de los ponentes de dicha norma, que han sido una referencia básica en la preparación de la Guía: *Designers's Guide to EN 1997-1* y *Decoding Eurocode 7*.

En lo que sigue nos ocupamos de los dos títulos dedicados a Bases del proyecto geotécnico y Cimentaciones superficiales que han sido redactadas por un equipo pluridisciplinar de ingenieros, especialistas en estructuras y en geotecnia, formado por consultores y por funcionarios de la Dirección General de Carreteras y del CEDEX.

Bases Del Proyecto Geotécnico

En este documento se presentan los conceptos y la filosofía de proyecto con EC7, que están introducidos en su capítulo 2 e inspiran todo el contenido de la norma. Hay, lógicamente, una estrecha relación entre el capítulo 2 de UNE EN 1997-1, titulado *Bases del proyecto geotécnico*, y la norma UNE EN 1990, en la cual se establecen las bases del cálculo estructural, lo que explica las numerosas referencias a esta norma incluidas en el documento.

En los primeros capítulos de la Guía, se pasa revista a conceptos básicos del proyecto, enmarcando los aspectos geotécnicos en el contexto general de las estructuras, así el capítulo 1 se dedica a principios generales y comprende las situaciones de pro-

² Frank R., Bauduin C., Driscoll R., Kavvas M., Krebs Ovesen N., Orr T. y Schup-pener B: *Designers's Guide to EN 1997 1. Eurocode 7: Geotechnical Design-General rules*. Ed. Thomas Telford, 2005

Bond A., Harris A: *Decoding Eurocode 7*. Ed. Taylor and Francis, 2008.



Figura 3. Portada de la Guía: Bases del proyecto geotécnico

yecto, las categorías geotécnicas y los estados límite (últimos y de servicio).

El capítulo 2 es relativo a las acciones y comprende su clasificación, introduce los conceptos de valor característico, representativo y de cálculo, así como las combinaciones y efectos de las acciones.

El capítulo 3 trata sobre las propiedades del terreno, que concreta en sus valores característico y de cálculo y el capítulo 4 hace un planteamiento similar en relación con los datos geométricos.

El proyecto geotécnico mediante cálculos -el procedimiento más habitual de abordar las verificaciones- es objeto del capítulo 5, que es el más extenso del documento. En él se explican y plantean las comprobaciones correspondientes a cada uno de los estados que puede ser necesario verificar en el proyecto de una cimentación, tanto las relativas a los estados límite últimos como a los estados límite de servicio. También se analizan las diferencias entre los tres enfoques de proyecto posibles, recogidos en el EC7 y de libre elección en cada país, para abordar las verificaciones de los estados límite últimos cuando intervie-

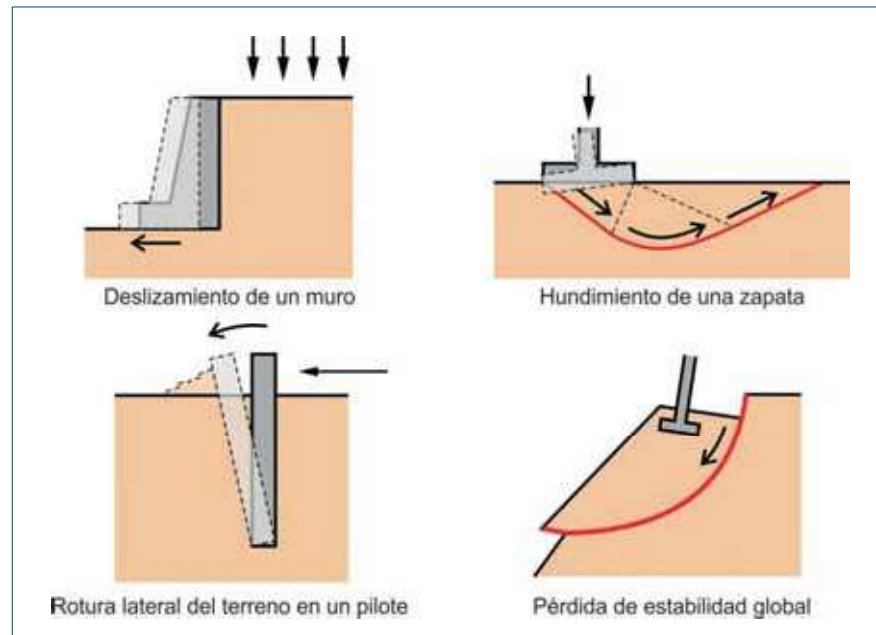


Figura 4. Ejemplos de fallo: ELU GEO

nen acciones geotécnicas o participa en las verificaciones la resistencia del terreno.

Los capítulos 6, 7 y 8 tratan de los métodos de comprobación, también recogidos por el EC7, basados en medidas prescriptivas (capítulo 6), en ensayos (capítulo 7), así como el método observacional (capítulo 8).

En el capítulo 9 se comentan las indicaciones del EC7 relativas al alcance y contenido de los dos documentos principales en los que debe quedar recogida la información geotécnica de un proyecto, así como su encaje en la organización de la información que habitualmente se emplea en los proyectos de carretera.

Por último, este documento incluye apéndices que reproducen total o parcialmente el contenido de los Anejos Nacionales de las normas UNE EN 1990 y UNE EN 1997.

Cimentaciones Superficiales

Este documento explica y complementa el capítulo 6 *Cimentaciones superficiales*, de UNE EN 1997 1, aunque para ello se incluyen también explicaciones relativas a otros capítulos

y anejos de la misma norma, a la Parte 2 del mismo Eurocódigo, así como a UNE EN 1990, *Bases de cálculo estructural*. Debe leerse a continuación del documento *Bases del proyecto geotécnico*, recién referido.

En los capítulos 1 y 2 del documento relativo a Cimentaciones superficiales, se incluye una breve introducción al concepto de la cimentación superficial propiamente dicha y se presentan los estados límite y los métodos de proyecto geotécnico, que el EC7



Figura 5. Portada de la Guía: Cimentaciones superficiales

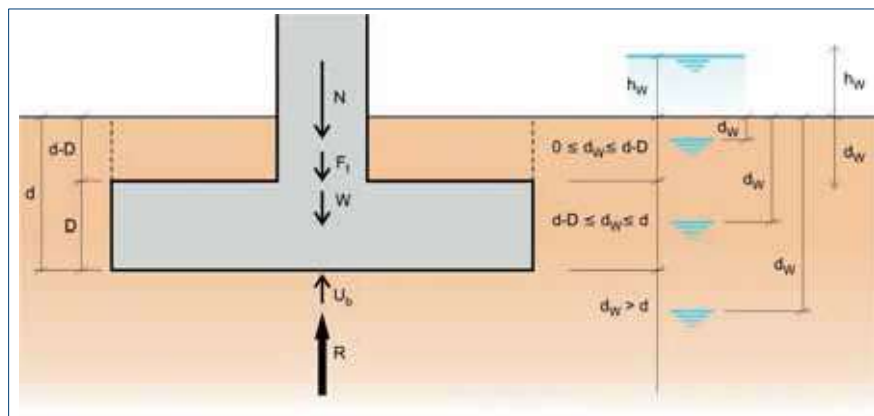


Figura 6. Definición de variables geométricas y acciones sobre una cimentación superficial sometida a carga vertical

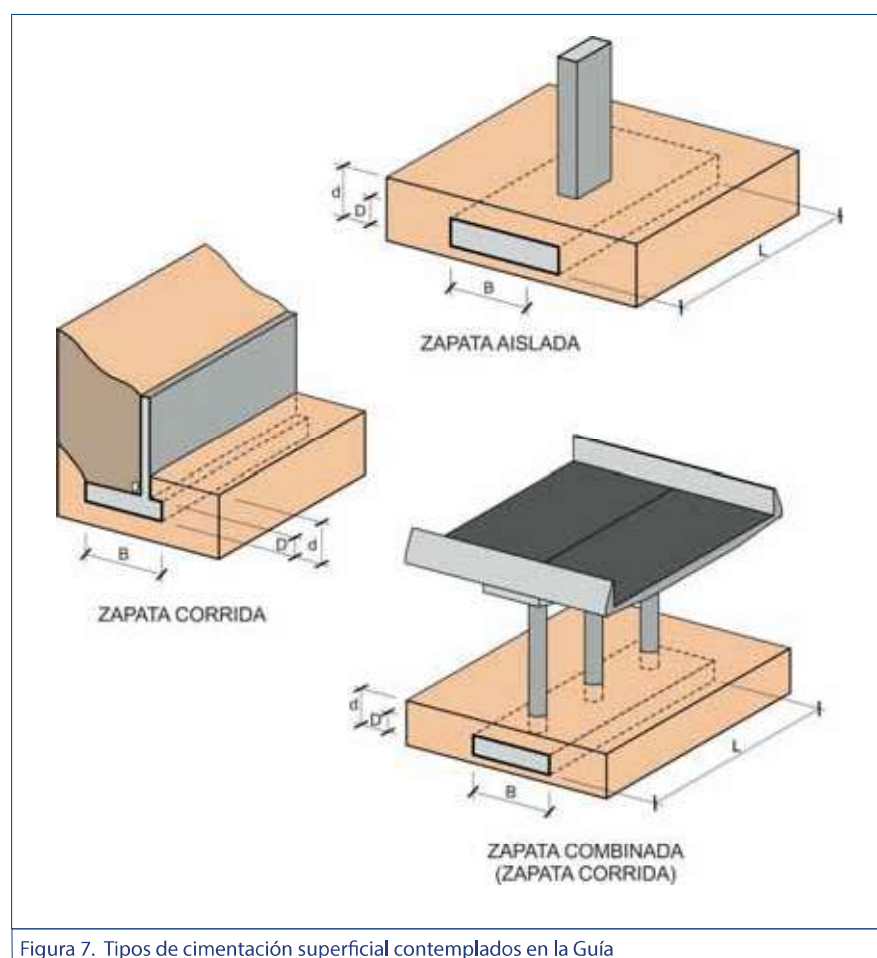


Figura 7. Tipos de cimentación superficial contemplados en la Guía

clasifica en método directo, indirecto y prescriptivo.

El capítulo 3 se dedica al análisis del estado límite último de estabilidad global, que debe abordarse, cualquiera que sea el método de proyecto, con carácter previo a cualquier otra comprobación.

En los capítulos 4 y 5, se trata por menorizadamente cada una de las comprobaciones que es necesario efectuar si la verificación de la cimentación se lleva a cabo por el método directo. El método directo, en el cual se verifican de forma independiente los estados límite últimos y los estados límite de servicio, es el que se desarro-

lla más ampliamente en el EC7 por ser de aplicación general.

A continuación, en el capítulo 6, se aborda el proyecto geotécnico por el método indirecto, cuya aplicación requiere el cumplimiento de una serie de condiciones y que permite efectuar la comprobación de las cimentaciones mediante procedimientos simplificados.

En el capítulo 7, se presenta el denominado método prescriptivo, que se basa en la aplicación de reglas de proyecto suficientemente conservadoras y en un estricto control de la ejecución, que permite presuponer una determinada resistencia al hundimiento.

Por último, en el capítulo 8, se incluyen algunas consideraciones geotécnicas que deben ser tenidas en cuenta para llevar a cabo el proyecto estructural de la cimentación.

Consideraciones Finales

Desde estas líneas animamos al lector a la descarga y lectura de las publicaciones de la serie que se acaba de presentar, no sólo de estos dos primeros títulos, sino de los que, a fecha de publicación de este artículo se encuentran ya disponibles y que abordan de forma integral temas tales como el diseño sísmico de puentes, o la fatiga estructural.

Como se ha indicado, se trata de una serie o colección bibliográfica de contenido muy amplio y abierto, tanto como la propia familia de Eurocódigos que trata de aproximar a la comunidad ingenieril de lengua española.

En la Dirección General de Carreteras se trabaja en nuevos títulos de la serie que esperamos poder presentar de nuevo en las páginas de *Rutas*. ❖