

BASES DE CÁLCULO PARA EL PROYECTO DE CIMENTACIONES ACORDE CON EL EUROCÓDIGO 7

Pilar CRESPO RODRÍGUEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ministerio de Fomento. Dirección General
de Carreteras
Jefa de Área de Estructuras
pcrespo@fomento.es

Álvaro PARRILLA ALCAIDE

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ministerio de Fomento. Dirección General
de Carreteras
Jefe de Área de Geotecnia. DGC
aparrilla@fomento.es

José ESTAIRE GEPP

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Laboratorio de Geotecnia del CEDEX
Jefe de Área de Geotécnica Básica y
Experimental
jose.estaire@cedex.es

Miguel ORTEGA CORNEJO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
IDEAM, S.A.
Director de Ingeniería
miguel.ortega@ideam.es

Alejandro PÉREZ CALDENTEY

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Fhecor Ingenieros Consultores
Jefe Departamento I+D+i
apc@fhecor.es

RESUMEN

El Eurocódigo 7 supone un importante cambio en la forma de abordar el proyecto de una cimentación al adoptar el método de los estados límite e introducir los coeficientes parciales en el ámbito de la geotecnia, de forma que sus bases de cálculo sean acordes con las establecidas en los demás Eurocódigos para el proyecto del resto de la estructura.

En este artículo se resumen las bases de cálculo y los diferentes estados límites a considerar para el proyecto de una cimentación acorde con el Eurocódigo 7.

PALABRAS CLAVE: Eurocódigo 7, geotecnia, cimentaciones, Estados Límite, GEO

1. Introducción

En España existe una cierta tradición en el empleo de los Eurocódigos de Bases de Cálculo, de acciones (Eurocódigo 1) y de materiales (Eurocódigos 2, 3 y 4), al ser bastante similares a las instrucciones españolas de acciones en puentes o las instrucciones o recomendaciones nacionales de materiales, sin embargo, el Eurocódigo 7, dedicado al proyecto geotécnico de las cimentaciones, ha sido hasta el momento mucho menos utilizado.

El Eurocódigo 7 [refs.1 y 2] supone un importante cambio en la forma de abordar el proyecto de las cimentaciones, respecto a la práctica tradicional en España [refs. 3, 4 y 5], al adoptar el método de los estados límite e introducir los coeficientes parciales en el ámbito de la geotecnia, de

forma que las bases de cálculo del proyecto geotécnico sean acordes con las establecidas en los demás Eurocódigos para el proyecto del resto de la estructura.

Se produce por tanto un cambio, análogo al que ya ocurrió hace décadas en el ámbito de las estructuras, pasando de los métodos basados en tensiones admisibles a los métodos de cálculo basados en los estados límite con coeficientes parciales.

La aplicación de cualquier Eurocódigo no puede entenderse sin su correspondiente Anejo Nacional, en el que cada país define los parámetros de determinación nacional.

Con vistas a aclarar y concretar las nuevas verificaciones y los métodos de cálculo acorde con el EC 7-1 [1], IDEAM y Fhecor Ingenieros Consultores están desarrollando para la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, bajo la dirección de Álvaro Parrilla y Pilar Crespo, el *“Manual de aplicación del Eurocódigo 7 (UNE-EN 1997) para el proyecto de cimentaciones de obras de carretera”* [6], en el que se explica mediante una serie de ejemplos aplicados a cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas y muros de contención, cómo aplicar el EC 7-1 [1] en España de forma compatible con el Anejo Nacional español [7].

En este artículo se resumen las nuevas bases de cálculo acordes con el EC 7-1 [1], bases que se describen con más detalle en la referencia [6 y 8].

2. El método de los estados límite y su aplicación a la geotecnia

La comprobación de la seguridad de una actuación geotécnica se hará siempre que sea posible, mediante el método denominado “proyecto geotécnico mediante cálculos” (apdo. 2.4 del EC 7-1 [1]) aunque también son admisibles otros procedimientos, como se explica con detalle en [6].

El “proyecto geotécnico mediante cálculos” se basa en el método de los “estados límite”. En un “estado límite”, la cimentación alcanzaría una situación no deseada, que debe evitarse.

Atendiendo a la gravedad de sus consecuencias, los estados límite se clasifican en dos grupos: estados límite últimos (ELU) y estados límite de servicio (ELS).

El concepto de seguridad se introduce mediante la incorporación de los coeficientes parciales aplicados a las acciones, a los parámetros geotécnicos y a las resistencias del terreno, los cuales en general serán diferentes para cada estado límite. El EC 7-1 [1] propone unos valores para dichos coeficientes parciales en su Anexo A, siendo el Anejo Nacional de cada país el encargado de establecer los valores definitivos a emplear (ver ref. [7]).

2.1. Estados límite últimos

Los estados límite últimos (ELU) en el proyecto de una cimentación se clasifican en los tipos (identificados por sus iniciales en inglés), acorde con el apartado 2.4.7.1 del EC 7-1 [1]:

- **Estado Límite Último EQU:** pérdida de equilibrio de la estructura o del terreno, considerado como un sólido rígido, en el que la estructura y el terreno proporcionan una resistencia despreciable.

El ejemplo clásico de pérdida del equilibrio es el vuelco como sólido rígido de una estructura, considerando la estructura y el terreno indeformables, lo que implica que no fallan ni la estructura, ni el terreno, sino que se produce la pérdida del equilibrio estático. En la figura 1 se representan dos ejemplos de vuelco rígido.

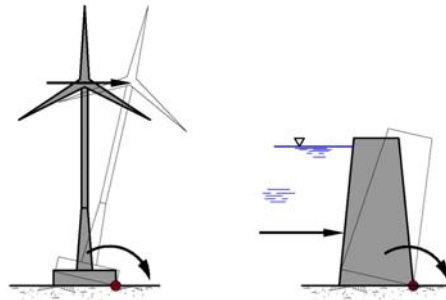


Figura 1. Ejemplos de estado límite de pérdida de equilibrio EQU por vuelco rígido

- **Estado Límite Último STR:** fallo interno o deformación excesiva de la estructura o los elementos estructurales, incluyendo zapatas, pilotes o muros en el que la resistencia de los materiales estructurales proporciona una resistencia significativa.

Se trata de los estados límite último de rotura por, flexión, cortante y punzonamiento, entre otros, y son los que se emplean para dimensionar los elementos estructurales, incluyendo el armado de las cimentaciones, y verificar su resistencia.

Estos estados límite se desarrollan en los Eurocódigos 2, 3 y 4 de materiales.

- **Estado Límite Último GEO:** fallo o deformación excesiva del terreno, en el que el terreno proporcionan una resistencia significativa.

Posibles fallos de rotura tipo GEO serían, entre otros, el deslizamiento de un muro o cimentación, el hundimiento de una cimentación o el fallo general por inestabilidad de la zona de apoyo de la estructura.

La figura 2 ilustra distintos ELU tipo GEO o STR. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: hundimiento de una zapata (GEO); hundimiento de un muro (GEO); rotura por deslizamiento (GEO); rotura del alzado de un muro por flexión (STR); inestabilidad global de una ladera (GEO); rotura lateral del terreno (pilote o pantalla) (GEO).

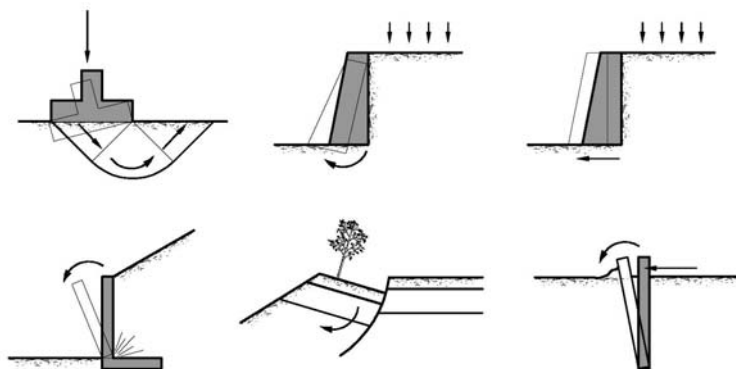


Figura 2. Ejemplos de diferentes estados límite último STR y GEO

- **Estado Límite Último UPL:** pérdida de equilibrio de la estructura o del terreno por levantamiento debido a la presión de agua (subpresión) u otras acciones verticales.
- **Estado Límite Último HYD:** implica un fallo ocasionado por la filtración de agua en el terreno. Ejemplos de este tipo de ELU son la inestabilidad hidráulica por sifonamiento (flotación de partículas de suelo) y la erosión interna o tubificación (arrastre de partículas), provocadas por gradientes hidráulicos suficientemente elevados.

La tabla 1 resume los estados límite último GEO y EQU que hay que considerar en cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas y en muros de contención (ver [6]).

Tabla 1. Resumen de estados límite últimos GEO y EQU en estructuras de cimentación.

Caso	ELU Descripción	Tipo de ELU
Cimentación Superficial (Cap. 6)	Hundimiento (6.5.2)	GEO
	Deslizamiento (6.5.3)	GEO
	Vuelco rígido (2.4.7.2 y 6.5.4)	EQU
Cimentación Profunda (Cap. 7)	Hundimiento (compresión) (7.6.2)	GEO
	Arranque (tracción) (7.6.3)	GEO
	Rotura horizontal (7.7)	GEO
Estructuras de contención (Cap. 9)	Deslizamiento (9.2 y 6.5.3)	GEO
	Hundimiento (9.2 y 6.5.2)	GEO
	Vuelco rígido (9.2, 2.4.7.2 y 6.5.4)	EQU
Los capítulos y apartados se refieren al EC 7-1 [1]		

2.2. Estados límite de servicio

Los estados límite de servicio (ELS), son aquellos estados que, de ser excedidos, pueden dar lugar a una pérdida de la funcionalidad para la que la estructura fue proyectada, aunque ello no conlleve un fallo inminente de la misma.

En la figura 3 se incluyen algunos ejemplos de ELS: asientos por deformaciones excesivas del terreno, asientos diferenciales entre apoyos contiguos, deformaciones excesivas de una pantalla de contención, vibraciones o capacidad insuficiente de bombeo.

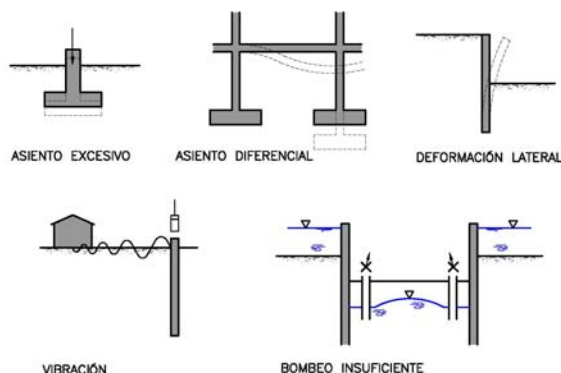


Figura 3. Ejemplos de estado límite de servicio ELS

Las estructuras podrían dejar de cumplir el cometido para el que se proyectan por razones vinculadas al normal funcionamiento de la misma, de durabilidad o estéticas.

En general, los estados límite de servicio que se consideran habitualmente en los procesos de cálculo de las cimentaciones son los provocados por los movimientos o asientos excesivos.

3. Proyecto geotécnico mediante cálculos

Las verificaciones de los diferentes estados límite en una cimentación pueden realizarse mediante cálculos (acorde con 2.1 (4) del EC 7-1 [1]), procedimiento recomendado, o bien mediante la adopción de medidas prescriptivas, mediante el empleo de modelos experimentales y ensayos de

carga, o bien mediante un método observacional. Este artículo se centra en el primero de ellos, el resto se desarrollan con detalle en [6].

El proyecto geotécnico mediante cálculos, debe ser conforme a la UNE-EN 1990 [refs.9 y 10] y el apdo. 2.4 del EC 7-1 [1]. En general será el método de aplicación para el proyecto de las estructuras habituales de cimentación en los casos en los que los exista suficiente información del terreno y se pueda caracterizar con unos parámetros geotécnicos suficientemente fiables.

El proyecto geotécnico mediante cálculos, debe incluir los siguientes aspectos:

- Acciones, que pueden ser tanto cargas como desplazamientos impuestos.
- Propiedades del terreno.
- Datos geométricos.
- Valores límite de algunos parámetros como deformación, abertura de fisuras, vibraciones, etc.
- Modelos de cálculo.

Para ello, son necesarios los valores de cálculo de: las acciones, los parámetros geotécnicos, los datos geométricos y las resistencias del terreno. Debe tenerse en cuenta que los valores de cálculo de las acciones y las resistencias de los materiales, así como sus combinaciones, son diferentes para las situaciones persistentes, transitorias, accidentales y sísmicas correspondientes a estados límite últimos, así como para los estados límite de servicio.

Los métodos mediante cálculo podrán ser directos o indirectos, y el modelo de cálculo puede ser: analítico, semi-empírico o numérico. La ref. [6] describe con detalle los diferentes métodos de cálculo y los modelos que pueden emplearse en el caso de zapatas, pilotes o muros.

En este artículo se describe la forma de proceder para las verificaciones de los estados límite últimos GEO, STR y EQU. El resto de estados límite últimos (HYD y UPL), junto con las verificaciones de ELS se describen con detalle en [6 y 8].

3.1. Comprobación de los ELU STR y GEO en situaciones persistentes y transitorias.

3.1.1. Enfoques de Proyecto

Las diferentes formas de tener en cuenta las interacciones entre las acciones y sus efectos, las resistencias del terreno y los modos de aplicar los diferentes coeficientes parciales (o lo que es lo mismo, la manera de incluir el concepto de seguridad en el cálculo) con el fin de comprobar los estados límite últimos STR y GEO, han conducido al EC 7-1 [1] a definir tres posibles Enfoques de Proyecto diferentes (en inglés "Design Approach", DA de forma reducida), para así dar cabida a la gran diversidad de tradiciones geotécnicas existentes en Europa.

La potestad de elección del Enfoque de Proyecto es una decisión abierta al Anejo Nacional [7], al tratarse de un Parámetro de Determinación Nacional (2.4.7.3.4 (1) P Nota 1 del EC 7-1 [1]).

Con el fin de ayudar a entender la manera de aplicar los diferentes coeficientes parciales en cada situación y Enfoque de Proyecto, el EC 7-1 [1] realiza una simplificación en la nomenclatura utilizando la siguiente simbología (apdo 2.4.7.3.4 del EC 7-1 [1]).

Se denomina combinación de conjunto de coeficientes parciales al conjunto de:

$$A_i "+" M_j "+" R_k \quad (1)$$

Donde:

- El símbolo A representa los coeficientes parciales de las acciones γ_F (o de sus efectos γ_E)
- El símbolo M representa los coeficientes parciales de los parámetros del terreno γ_M
- El símbolo R representa los coeficientes parciales de las resistencias γ_R
- Los índices i (1 ó 2), j (1 ó 2) ó k (1,2,3 ó 4) corresponde con el número de alternativa definida en el EC 7-1 [1] para ese coeficiente parcial, definido en su Anexo A
- El signo “+” se refiere a la expresión “combinado con”.

Así:

- Una acción geotécnica involucrará los conjuntos de coeficientes parciales A_i “+” M_j
- Una resistencia geotécnica involucrará los conjuntos de coeficientes parciales M_j “+” R_k

En función del Enfoque de Proyecto, los coeficientes parciales de algún conjunto (A , M ó R) podrán o no ser iguales a la unidad.

El apartado A.3 del Anexo A del EC 7-1 [1] define en las tablas A.3 a A.14 los valores recomendados para cada uno de los diferentes conjuntos de coeficientes (A_i , M_j , R_k) para cubrir los tres enfoques de proyecto para los distintos estados límite últimos GEO y STR. Estos coeficientes parciales del Anejo A del EC 7-1 [1] son Parámetros de Determinación Nacional, y por lo tanto se deben aplicar los definidos en el Anejo Nacional [7].

Dentro de la comprobación de los estados límite último STR y GEO se distinguen, además, diferentes tablas de coeficientes parciales de resistencia según la cimentación sea directa o mediante pilotes, así como para anclajes, estructuras de contención y taludes y estabilidad global.

La decisión adoptada por el Anejo Nacional español [7] es el empleo del Enfoque de Proyecto 2 (en adelante DA-2), salvo para la estabilidad global, que se ha elegido el Enfoque de Proyecto 3 (DA-3).

Tabla 2. Resumen de coeficientes parciales según el enfoque de proyecto

ENFOQUES DE PROYECTO (DA)		Combinación	(A): Coef. Parc. de las acciones γ_F (o sus efectos ** γ_E)	(M): Coef. Parc. Parámetros geotécnicos γ_M	(R): Coef. Parc. Resistencias del terreno γ_R
DA-1	Comb.1	$A1$ “+” $M1$ “+” $R1$	Si	No	No
	Comb.2	$A2$ “+” $M2$ “+” $R1$	Sólo a acciones variables	Si	No
	Comb.2 *	$A2$ “+” ($M1$ ó $M2$) “+” $R4$	Sólo a acciones variables	Si *	Si
DA-2		$A1$ “+” $M1$ “+” $R2$	Si **	No	Si
DA-3		($A1$ ó $A2$) “+” $M2$ “+” $R3$	Si **: $A1$ acciones estructurales $A2$ acciones geotécnicas (sólo acciones variables)	Si	No (***)

Notas: Comb. 2 *: Combinación para pilotes y anclajes con carga axil.

* Los coeficientes parciales $M1$ se emplean para el cálculo de la resistencia de los pilotes o anclajes, y los coeficientes parciales $M2$ se emplean para el cálculo de las acciones desfavorables en pilotes debidas al rozamiento o a las cargas transversales.

** Aplica a las acciones o a los efectos de las acciones.

*** No se minoran las resistencias salvo la resistencia por fuste en tracción en pilotes.

La explicación detallada del Enfoque de Proyecto 1 y del Enfoque de Proyecto 3 se realiza en las refs. [6 y 8]. Este artículo se centrará en el Enfoque de Proyecto 2 (apdo. 2.4.7.3.4.3 del EC 7-1 [1]) que es el que se debe aplicar para verificar los ELU tipo GEO y STR de una cimentación.

Según el Enfoque de Proyecto 2 se debe verificar que no se producirá un estado límite de rotura o deformación excesiva con la siguiente comprobación:

$$A1 "+" M1 "+" R2 \quad (2)$$

Los coeficientes parciales se aplican a:

- Las acciones o los efectos de las acciones (A1, con $\gamma_F \neq 1,0$ ó $\gamma_E \neq 1,0$ respectivamente).
- A las resistencias del terreno (R2, $\gamma_R \neq 1,0$).
- En cambio, los parámetros del terreno de cálculo son iguales a los característicos ($X_d = X_k / \gamma_M = X_k$ al ser M1 $\gamma_M = 1,00$).

La tabla 2 resume las características más importantes de cada enfoque de proyecto (ver [6 y 8]).

3.2.1.1 Comprobación de los estados límite STR y GEO mediante el Enfoque de Proyecto 2

En general, en la comprobación de los estados límite último mediante cálculos se aplican los siguientes principios:

- La identificación de los estados límite últimos que sean de aplicación.
- La obtención de los valores de cálculo de las acciones (o sus efectos) desfavorables, de las resistencias y de las acciones favorables, se calculan, en general, como el producto de un coeficiente parcial por su valor característico.
- Para un estado límite último particular, la suma de las acciones desfavorables (o sus efectos) no debe exceder la suma de las resistencias y acciones favorables.

En los ELU GEO y STR se debe verificar que los valores de cálculo de los efectos de las acciones (E_d) deben ser menores o iguales que los valores de cálculo de las resistencias (R_d):

$$E_d \leq R_d \quad (\text{ec. 2.5 del EC 7-1 [1]}) \quad (3)$$

a) Obtención de los valores de cálculo de los efectos de las acciones

Los valores de cálculo de los efectos de las acciones (E_d) son función de la propia acción, de las propiedades del terreno (en ocasiones) y de los datos geométricos. Para su obtención, el EC 7-1 [1] proporciona un método en su apartado 2.4.7.3.2:

En el caso de aplicar los coeficientes parciales sobre el valor representativo de la acción en el origen, se tiene:

$$E_d = E \{ \gamma_F \cdot F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d \} \quad (\text{ec. 2.6a del EC 7-1 [1]}) \quad (4)$$

Y en el caso de aplicarlos sobre los efectos de la acción y no directamente sobre la acción (en su origen), se tiene:

$$E_d = \gamma_E \cdot E \{ F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d \} \quad (\text{ec. 2.6b del EC 7-1 [1]}) \quad (5)$$

Así mismo conviene tener en cuenta que el valor de cálculo de las acciones geotécnicas puede depender del valor de cálculo de los parámetros del terreno (c , ϕ , γ , δ , etc...).

La filosofía de diferenciar entre la ponderación de acciones y efectos de las acciones, no busca cambiar el resultado final de los efectos de cálculo de las acciones (E_d , primer término de la ec. 3) ya que independientemente de que se emplee uno u otro método, el resultado debería ser el mismo (ver ref. [6]). La diferencia entre ponderar acciones o efectos sólo afecta a la forma de obtener el valor de cálculo de la resistencia (R_d , segundo término de la ec. 3).

b) Obtención de los valores de cálculo de las resistencias

En el enfoque de proyecto 2, de aplicación para el proyecto de las cimentaciones en España, el valor de cálculo de la resistencia (R_d) es función de los parámetros geotécnicos del terreno (X), de las acciones (F) y de los datos geométricos (a). Los coeficientes parciales se aplican según la ecuación general 2.7c del EC 7-1 [1] con $\gamma_M=1,0$ (y $\gamma_R > 1,0$).

$$R_d = R \{ \gamma_F \cdot F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d \} / \gamma_R \quad (\text{ec. 2.7c del EC 7-1 [1]}) \quad (6)$$

O lo que es lo mismo según la ecuación:

$$R_d = R \{ \gamma_F \cdot F_{rep}; X_k; a_d \} / \gamma_R \quad (\text{ec. 2.7b del EC 7-1 [1]}) \quad (7)$$

Con $\gamma_R > 1,0$ (y $\gamma_M=1,0$ implícito en la fórmula)

En cualquiera de estas dos expresiones $\gamma_R > 1,0$ y los valores de cálculo de los parámetros geotécnicos iguales son iguales a los valores característicos ($X_d=X_k/\gamma_M=X_k$ con $\gamma_M=1,0$).

Es necesario tener en cuenta que el valor de cálculo de la resistencia (R_d) puede depender de los parámetros del terreno, de la geometría, pero también del valor de cálculo de las acciones.

La nota 1 de la cláusula 2.4.7.3.3 del EC 7-1 [1] afirma de forma explícita que, en los procedimientos de cálculo en los que los coeficientes parciales se apliquen a los efectos de las acciones (es decir, aplicando los coeficientes parciales al final justo antes de la verificación del ELU, ec. 3) la obtención de la resistencia se realice empleando $\gamma_F=1,0$ en las ecs. 6 y 7 o, lo que es lo mismo, que la resistencia de cálculo se obtenga a partir de la combinación de ELS característica de acciones. Es decir:

$$R_d = R \{ F_{rep}; X_k; a_d \} / \gamma_R \quad (8)$$

Aunque el EC 7-1 [1] no diferencia de forma explícita de ninguna manera el Enfoque de Proyecto 2 en función de si se aplican los coeficientes parciales a las acciones o a los efectos de las acciones, por simplicidad, la bibliografía técnica relacionada con el Eurocódigo 7 suele diferenciar entre el Enfoque de Proyecto 2 (en inglés "Design Approach" 2 ó DA-2) cuando se aplican los coeficientes parciales a las acciones, antes de obtener la resistencia, y el Enfoque de Proyecto 2* ("Design Approach" 2* ó DA-2*), cuando se aplican los coeficientes parciales a los efectos de las acciones, al final del cálculo, justo antes de la verificación del ELU GEO, calculando la resistencia con acciones sin ponderar (con la combinación de ELS característica de acciones).

La única diferencia por tanto entre el DA-2 y el DA-2* es que en el DA-2 se obtiene la resistencia característica (R_k) a partir de los valores de cálculo de las acciones, mientras que en el DA-2* la resistencia característica (R^*_k) se obtiene a partir de la combinación de ELS característica de acciones. En general $R_k(\text{DA-2}) \neq R^*_k(\text{DA-2}^*)$ y, por tanto, $R_d(\text{DA-2}) \neq R^*_d(\text{DA-2}^*)$ (ver refs. [6 y 8]).

De acuerdo con el Anejo Nacional español, se adopta el Enfoque de Proyecto 2 (y no el 2*) y, por tanto, la obtención del valor característico de la resistencia debe realizarse a partir de los valores de cálculo de las acciones. Así, únicamente son aplicables las ec. 6 y 7 pero nunca la ec. 8.

La figura 4 resume el proceso a seguir en el caso del Enfoque de Proyecto 2 (y 2*), y el esquema de la figura 5 aclara el proceso del Enfoque de Proyecto 2 (DA-2) aplicando los coeficientes parciales $\gamma \neq 1,0$ a las acciones previamente al cálculo de la resistencia.

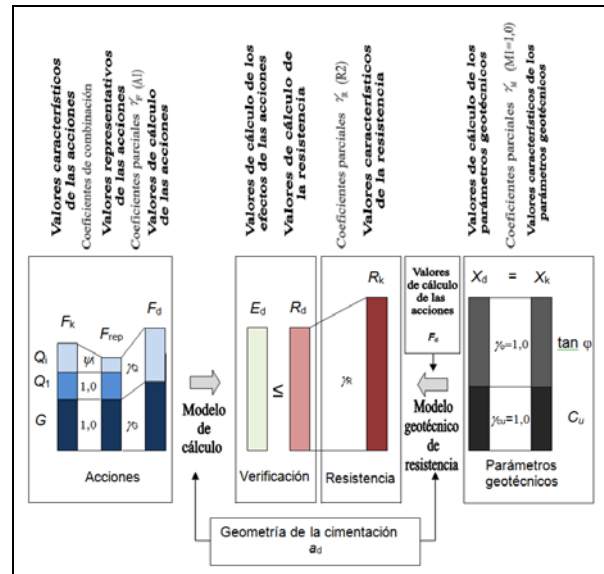
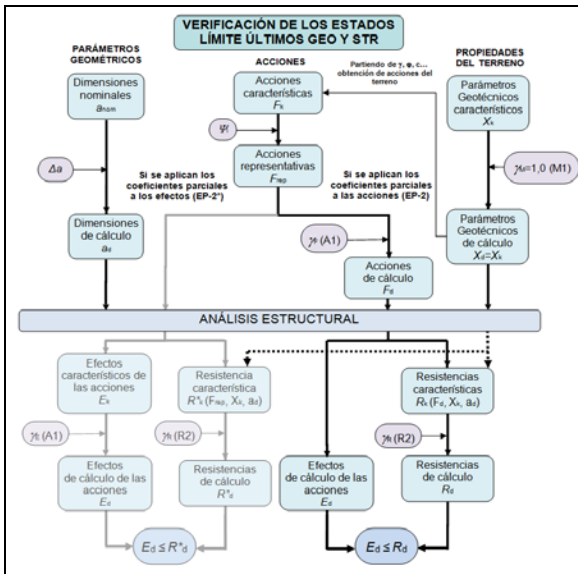


Figura 4. Diagrama de flujo para las verificaciones de los estados límite últimos STR y GEO (DA-2 y 2*)

Figura 5. Aplicación de los coeficientes parciales en el DA-2

3.2. Comprobación del equilibrio estático (EQU)

El ELU EQU implica la pérdida de equilibrio de la estructura o el terreno, considerados ambos como un sólido rígido, "en el que las resistencias de los materiales estructurales y del terreno proporcionan una resistencia despreciable". O sea, que no se deberían considerar los eventuales empujes pasivos del terreno actuando como una resistencia. En caso de que se consideren, los empujes pasivos del terreno deberán tenerse en cuenta como una acción, en general favorable.

El ejemplo clásico de pérdida del equilibrio (EQU) es el vuelco como sólido rígido de una estructura, considerando tanto la estructura como el terreno indeformables (fig. 1).

Siempre que una cimentación superficial cumpla con el ELU GEO de hundimiento de la cimentación y la excentricidad de la resultante de cálculo en la cimentación presente un margen razonable frente al extremo de la cimentación, respetando por ejemplo la recomendación de la cláusula 6.5.4 del EC 7-1 [1], el estado límite último EQU no condicionará nunca (ver ref. [6]).

En el estado límite último de pérdida de equilibrio EQU, se debe verificar que el valor de cálculo de los efectos de las acciones desestabilizadoras ($E_{dst,d}$) sea igual o menor que el valor de cálculo de los efectos de las acciones estabilizadoras ($E_{stb,d}$). Si se incluye en el segundo término alguna resistencia a cortante (T_d), esta debe ser de menor importancia.

$$E_{dst,d} \leq E_{stb,d} + (T_d) \quad (\text{ec. 2.4 del EC 7-1 [1]}) \quad (9)$$

Con:

$$E_{dst,d} = E \left\{ \gamma_F \cdot F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d \right\}_{dst} \quad (\text{ec. 2.4a del EC 7-1 [1]}) \quad (10)$$

y

$$E_{stb,d} = E \left\{ \gamma_F \cdot F_{rep}; X_k / \gamma_M; a_d \right\}_{stb} \quad (\text{ec. 2.4b del EC 7-1 [1]}) \quad (11)$$

Para el cálculo de las acciones geotécnicas en el estado límite último EQU de pérdida de equilibrio, no será en general de aplicación la tabla A.2 del anejo A del EC 7-1 [1] siendo los

coeficientes parciales $\gamma_M=1,00$. Los valores de la tabla A.2 del Anejo A del EC-7-1 (definidos en el anejo nacional [7]) sólo se deben aplicar a las resistencias a cortante (T_d) que, como se ha comentado anteriormente, deben ser de valor menor y por lo tanto suponer una proporción pequeña en el conjunto de las acciones estabilizadoras.

La figura 6 representa mediante un diagrama de flujo, el proceso a seguir para verificar un estado límite último de equilibrio estático EQU y el esquema de la figura 7 aclara el proceso del cálculo a seguir.

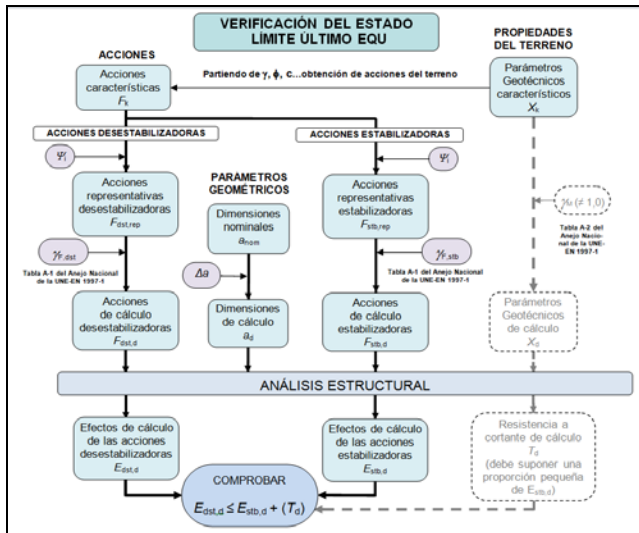


Figura 10. Diagrama para la verificación del ELU EQU

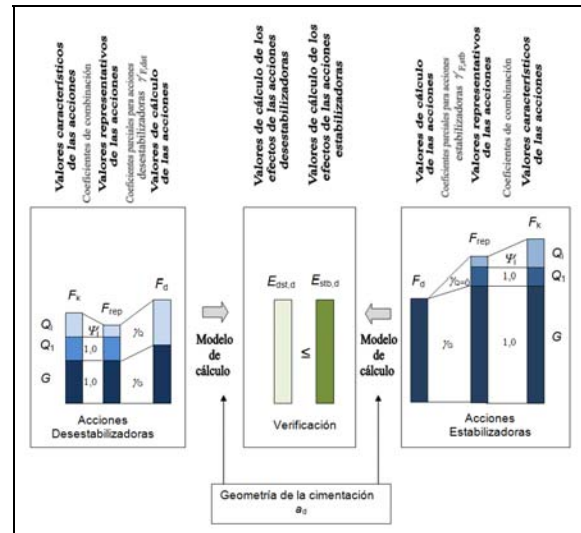


Figura 11. Esquema de aplicación de los coeficientes parciales en el ELU EQU

4. Referencias

- [1] AENOR AEN/CTN 140 (2010): Eurocódigo 7: “Proyecto geotécnico”. Parte 1: “Reglas generales”. UNE-EN 1997-1+AC.
- [2] Comité Europeo de Normalización, CEN. (2007): Eurocódigo 7 “Geotechnical design”. Part 2: “Ground investigation and testing”. EN 1997-2. (Pendiente de publicar en UNE-EN)
- [3] Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2003). “Guía de cimentaciones en obras de carreteras”.
- [4] Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente - Puertos del Estado (2005). “ROM 0.5-05. Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias”.
- [5] Ministerio de Vivienda (2006). CTE. Código Técnico de la Edificación. DB-SE C “Seguridad Estructural – Cimientos” REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo. Texto modificado por RD 1371/2007, de 19 de octubre (BOE 23/10/2007) y corrección de errores (BOE 25/01/2008).
- [6] “Manual de aplicación del Eurocódigo 7 (UNE-EN 1997) para el proyecto de cimentaciones de obras de carretera”. Ministerio de Fomento. (Pendiente de publicación)
- [7] Anejo Nacional AN/UNE-EN 1997-1:2004 Eurocódigo 7. Proyecto geotécnico Parte 1: “Reglas generales”.
- [8] PARRILLA A.; CRESPO P.; ESTAIRE J.; ORTEGA, M.; PÉREZ A. “Bases de cálculo del Eurocódigo 7. Un cambio en la metodología para el proyecto de cimentaciones”. Hormigón y Acero. ACHE. Madrid. (Pendiente de publicación)
- [9] AENOR AEN/CTN 140 (2003): Eurocódigo “Bases de cálculo de estructuras”. UNE-EN 1990.
- [10] AENOR AEN/CTN 140 (2010): Eurocódigo “Bases de cálculo de estructuras”. UNE-EN 1990/A1+AC.