

Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos

Guide to the design of elastomeric bearings

Pilar Crespo^a, Sergio Agulló^b, Miguel Ortega^c, Maria João Freitas^d, Álvaro Serrano^e,

Guillermo Blanco^f

^aICCP del Estado. Dirección General de Carreteras. MITMS. Jefe del Área de Estructuras. pcrespo@transportes.gob.es

^bIngeniero de Caminos Canales y Puertos. INECO. Ingeniero de estructuras. sergio.agullo@ineco.com

^cIngeniero de Caminos Canales y Puertos. TYLin. Director General. miguel.ortega@tylin.com

^dMáster en Ingeniería Civil. TYLin. Jefe de Proyectos. mariajoao.freitas@tylin.com

^eIngeniero de Caminos Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería. Director Técnico. alvaro.serrano@mc2.es

^fIngeniero de Caminos Canales y Puertos. MC2 Estudio de Ingeniería. Jefe de Proyectos. guillermo.blanco@mc2.es

RESUMEN

Desde la entrada en vigor de la Orden Circular 1/2019, las estructuras de la Red de Carreteras del Estado deben proyectarse con los Eurocódigos y normas asociadas. Para el dimensionamiento de unos apoyos estructurales acorde a los Eurocódigos la norma de referencia es UNE-EN 1337, en particular, la parte 3 (UNE-EN 1337-3) si se trata de apoyos elastoméricos. Con esta guía se pretende, además de facilitar la aplicación de la normativa europea al proyecto de las estructuras de la Red de Carreteras del Estado, clarificar la equivalencia entre esta y las antiguas Recomendaciones de 1982 documento que, en las últimas décadas, se ha empleado para el cálculo de los apoyos elastoméricos.

ABSTRACT

Since the implementation of Orden Circular 1/2019, the structures of *Red de Carreteras del Estado* (Spanish highway administration) must be designed according to the Eurocodes and associated standards. In the case of structural bearings, the reference standard for its design according to the Eurocodes is UNE-EN 1337, in particular, its part 3 (UNE-EN 1337-3) if it concerns elastomeric bearings. The purpose of this guide is to ease the application of the European standards to the design of *Red de Carreteras del Estado* structures and to clarify the equivalence between those and the former *Recommendations of 1982* document which has been used for the design of elastomeric bearings in recent decades.

PALABRAS CLAVE: apoyo, elastomérico, Eurocódigos, UNE-EN 1337-3.

KEYWORDS: bearing, elastomeric, Eurocodes, UNE-EN 1337-3.

1. Introducción y antecedentes

En las últimas décadas, en España, el dimensionamiento de los apoyos elastoméricos en proyectos de puentes de carretera se ha realizado teniendo como referencia las *Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera* [1] del

año 1982, en adelante, Recomendaciones de 1982. Actualmente, y desde la entrada en vigor de la Orden Circular 1/2019 [2], las estructuras de la Red de Carreteras del Estado deben proyectarse con los Eurocódigos y normas asociadas, siendo la norma de referencia para el

dimensionamiento de unos apoyos estructurales acorde a los Eurocódigos la norma UNE-EN 1337. La norma UNE-EN 1337, Apoyos estructurales, comprende 11 partes, estando el dimensionamiento de los apoyos elastoméricos recogido en su Parte 3, UNE-EN 1337-3 [3].



Figura 1. Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos [4]

La *Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos* [4] (Figura 1) se ha redactado con el objetivo de facilitar la aplicación de la norma UNE-EN 1337-3 [3] al proyecto de las estructuras de la Red de Carreteras del Estado y, además, clarificar la equivalencia entre dicha norma y las antiguas Recomendaciones de 1982 [1]. A diferencia de las Recomendaciones de 1982 [1], cuyas comprobaciones se realizaban con fuerzas y deformaciones impuestas en Estado Límite de Servicio, UNE-EN 1337-3 [3] establece que los apoyos elastoméricos de una estructura deben cumplir con todos los límites

de deformación y estabilidad para fuerzas y deformaciones impuestas en Estado Límite Último. A pesar de esta diferencia, las comprobaciones generales de ambas son equivalentes.

Otro aspecto importante que la *Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos* [4] pretende destacar es la importancia de garantizar que tanto los apoyos como sus materiales constituyentes cumplen con la legislación europea; esta garantía viene dada por el marcado CE que, en el caso de los apoyos elastoméricos asegura el cumplimiento de los requisitos exigidos por la norma UNE EN 1337-3 [3].

De forma complementaria a esta guía de carácter teórico, se ha redactado la *Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos. Ejemplo de aplicación* [5], en la que se recoge un ejemplo práctico del cálculo de los apoyos elastoméricos de un paso superior de carretera (guía pendiente de publicación).

2. Contenido de la *Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos*

En la *Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos* [4] se recogen, en primer lugar y a nivel conceptual, algunos aspectos generales relativos a la concepción de los sistemas de apoyo. En los capítulos siguientes (4 y 5) se identifican, por un lado, las principales características establecidas por UNE-EN 1337-3 [3] para los elementos constituyentes de los apoyos elastoméricos a nivel de dimensiones en planta, espesores y tipo de material, además de un resumen de los requisitos que deben cumplir tanto los apoyos como sus materiales constituyentes para garantizar la atribución del marcado CE y, por otro lado, se recogen también las comprobaciones relativas a deformaciones y estabilidad exigidas por la misma norma.

El objetivo de clarificar la equivalencia entre UNE-EN 1337-3 [3] y las Recomendaciones de 1982 [1] se cumple en el capítulo 6, en el que se comparan las

comprobaciones exigidas por las dos normas.

Por último y con un carácter más práctico, en los capítulos 7 y 8 se dan directrices para la realización del predimensionamiento de unos apoyos elastoméricos y se da un ejemplo de la información que deberá contener el plano de apoyos de un proyecto.

3. Apoyos elastoméricos contemplados por UNE-EN 1337-3

Los apoyos elastoméricos de una estructura deben corresponder a uno de los tipos o combinación de tipos contemplados en la Tabla 2 de UNE-EN 1337-3 [3]:

- Tipo A: apoyo laminado completamente recubierto con elastómero que comprende solo una placa de zunchado de acero.
- Tipo B: apoyo laminado completamente recubierto con elastómero que comprende al menos dos placas de zunchado de acero (Figura 2).
- Tipo C: apoyo laminado con placas de acero externas (encastrado en hormigón o que permite su fijación (anclado)) (Figura 2).
- Tipo D: tipo B con lámina de PTFE unida al elastómero.
- Tipo E: tipo C con una placa de acero externa unida al elastómero y la lámina de PTFE encastrada en la placa de acero.
- Tipo F: apoyos planos sin burbujas y apoyos de tira.

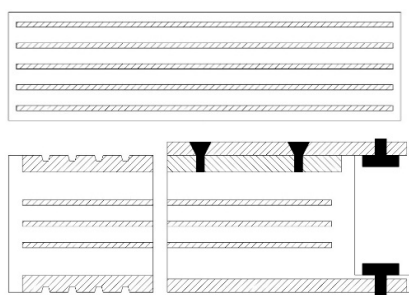


Figura 2. Arriba: apoyo tipo B; abajo: apoyo tipo C

Los criterios y comprobaciones incluidos en este artículo y guía son de aplicación para apoyos elastoméricos tipo B, C, D y E, rectangulares o circulares en planta, que corresponden a los aparatos de apoyo más comúnmente empleados en España en puentes de carretera.

Para el proyecto de apoyos elastoméricos tipo B, la norma UNE-EN 1337-3 [3] recomienda, en su apartado 5.3.2, que se tengan en cuenta los tamaños normalizados incluidos en su Tabla 3, en lo relativo a las dimensiones en planta, espesor y número de capas de elastómero y espesor y número de placas de zunchado. A continuación, se incluyen algunas características que, adicionalmente a las indicadas en la Tabla 3 de UNE-EN 1337-3 [3], deben cumplir las capas de elastómero y las placas de acero de un apoyo elastomérico. En la guía se incluyen, además, las características a cumplir por las superficies deslizantes.

3.1 Características de las capas de elastómero

El material elastómero utilizado en la fabricación de los apoyos deberá especificarse en la documentación del proyecto, y sus propiedades físicas y mecánicas deberán cumplir con los requisitos recogidos en la Tabla 1 de UNE-EN 1337-3 [3]. La norma UNE-EN 1337-3 [3] no cubre apoyos elastoméricos fabricados con otros materiales elastoméricos que no tengan el caucho natural (NR) o caucho de cloropreno (CR) como polímero de base. Según el apartado 5.3.2 de UNE-EN 1337-3 [3], todas las capas internas de material elastómero deben tener el mismo espesor, comprendido entre 5 y 25 milímetros, y deberán recubrir lateralmente las placas de zunchado con un espesor igual o superior a 4 milímetros. Las capas externas (superior e inferior) de elastómero en apoyos tipo B, D y E deben tener un espesor igual o superior a 2.5 milímetros.

Según el apartado 5.3.3.2 de

UNE-EN 1337-3 [3], a efectos de cálculo, el valor del módulo de deformación transversal, G , debe ser uno de los valores definidos en la Tabla 1 de la misma norma. Dicha tabla remite al apartado 4.3.1.1 donde se indica que, para una temperatura nominal de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, el valor del módulo de elasticidad transversal convencional aparente obtenido en los ensayos, G_g , debe cumplir con el valor de $0.9 \text{ MPa} \pm 0.15 \text{ MPa}$. Por ello, 0.9 MPa sería un valor adecuado para el módulo de elasticidad transversal a asumir en los cálculos. Este valor deberá ser, posteriormente, confirmado por el fabricante.

En su apartado 5.3.3.7, UNE-EN 1337-3 [3], indica que el valor del módulo de compresibilidad volumétrica, E_b , utilizado generalmente es de 2000 MPa .

3.2 Características de las placas de acero

Un apoyo elastomérico puede tener dos tipos de placas de acero: las placas de zunchado de acero interiores, que controlan la deformación del apoyo bajo cargas verticales, y, en el caso de apoyos anclados, las placas externas (o de extremo, (Figura 2)).

Como se indica en el apartado 4.4.3.1 de UNE-EN 1337-3 [3], las placas de zunchado internas de acero de los apoyos laminados deben ser de acero de clase S235, u otro acero con un alargamiento a la rotura mínimo equivalente. El espesor de estas placas deberá ser siempre igual o superior a 2 milímetros.

Si los apoyos empleados son tipo C, y las capas internas de material elastómero tienen un espesor igual o inferior a 8 milímetros, las placas de acero externas (o placas de extremo) deben tener un espesor igual o superior a 15 milímetros; si las capas internas de elastómero tienen un espesor superior a 8 milímetros, las placas de acero externas deben tener un espesor igual o superior a 18 milímetros, según lo indicado en el apartado 4.4.3.2 de la misma norma.

3.3 Conformidad de los apoyos elastoméricos con la norma

UNE EN 1337-3 – el mercado CE

La garantía de que un producto cumple con la legislación europea viene dada por el mercado CE; en el caso de los apoyos elastoméricos, la posesión del mercado CE garantiza el cumplimiento de los requisitos exigidos por la norma UNE-EN 1337-3 [3] y confiere al apoyo una presunción de aptitud para los usos previstos en la norma. Al tratarse de un producto incluido en una norma armonizada, los apoyos elastoméricos deben llevar obligatoriamente el mercado CE.

Las condiciones a cumplir para la obtención del mercado CE se establecen en el Anexo ZA de la norma UNE-EN 1337-3 [3], donde se define cuáles son las prestaciones del apoyo a controlar y cómo se evalúa la conformidad de los apoyos en lo relativo a dichas prestaciones (ensayos e inspecciones a realizar, etc.).

La información sobre las prestaciones del producto se deberá recoger en la Declaración de Prestaciones, documento emitido por el fabricante, que siempre deberá acompañar el propio mercado CE, y con el que asume la responsabilidad de la conformidad del producto con las prestaciones declaradas.

La evaluación de la conformidad de los apoyos elastoméricos se detalla en el apartado 4.3 de la guía.

4. Dimensionamiento de apoyos elastoméricos según UNE-EN 1337-3

Según UNE-EN 1337-3 [3] la resistencia y estabilidad de los apoyos elastoméricos se debe verificar en Estado Límite Último y mediante las comprobaciones incluidas en su apartado 5.3.3, recogidas a continuación. En este artículo se incluyen de forma general y resumida las expresiones correspondientes a cada comprobación; la explicación detallada de los parámetros que conforman cada una de las expresiones puede consultarse en el Capítulo 5

de la guía.

4.1 Límite de deformación tangencial de cálculo máxima

Según el apartado 5.3.3 de UNE-EN 1337-3 [3], la deformación tangencial de cálculo máxima, $\epsilon_{t,d}$, suma de las deformaciones tangenciales de cálculo debido a las cargas de compresión, $\epsilon_{c,d}$, a los desplazamientos horizontales, $\epsilon_{q,d}$, y a la rotación angular del apoyo, $\epsilon_{\alpha,d}$, no debe superar el límite $\epsilon_{u,d}$ (expresión (1), conforme a las expresiones (1) y (2) de UNE-EN 1337-3 [3]):

$$\epsilon_{t,d} = K_L (\epsilon_{c,d} + \epsilon_{q,d} + \epsilon_{\alpha,d}) \leq \epsilon_{u,d} \quad (1)$$

donde:

- K_L es un factor del tipo de carga.
- $\epsilon_{u,d} = \epsilon_{u,k} / \gamma_m = 7$.

4.1.1 Deformación tangencial de cálculo debida a la carga de compresión

Según el apartado 5.3.3.2 de UNE-EN 1337-3 [3], la deformación de cálculo debido a cargas de compresión se determinará mediante la expresión (2), conforme a la expresión (8) de UNE-EN 1337-3 [3].

$$\epsilon_{c,d} = \frac{1.5 \cdot F_{z,d}}{G \cdot A_r \cdot S} \quad (2)$$

- $F_{z,d}$ es la carga vertical de cálculo.
- G es el módulo de elasticidad transversal del elastómero.
- S es el factor de forma del apoyo.
- A_r es el área en planta efectiva reducida del apoyo.

UNE-EN 1337-3 [3] no define un límite explícito para la deformación tangencial producida por las cargas de compresión.

4.1.2 Deformación tangencial de cálculo por desplazamientos horizontales

Como indica el apartado 5.3.3.3 de UNE-EN 1337-3 [3], la deformación tangencial de cálculo debido a los desplazamientos

horizontales se determinará mediante la expresión (3), conforme a la expresión (10) de UNE-EN 1337-3 [3].

$$\epsilon_{q,d} = \frac{v_{xy,d}}{T_q} \leq 1.00 \quad (3)$$

donde:

- $v_{xy,d}$ es el desplazamiento máximo horizontal relativo de cálculo de las partes del apoyo.
- T_q es el espesor total de las capas de material elastómero que se deforman a cortante.

Esta deformación no debe exceder el valor de 1.00 en ELU.

4.1.3 Deformación tangencial de cálculo debida a la rotación angular

Según el apartado 5.3.3.4 de UNE-EN 1337-3 [3] la deformación tangencial de cálculo debida a la rotación angular se determinará mediante la expresión (4), conforme a la expresión (11) de UNE-EN 1337-3 [3].

$$\epsilon_{\alpha,d} = \frac{(a'^2 \cdot \alpha_{a,d} + b'^2 \cdot \alpha_{b,d}) \cdot t_i}{2 \sum t_i^3} \quad (4)$$

donde:

- $\alpha_{a,d}$ y $\alpha_{b,d}$ es el ángulo de rotación a lo largo de las dimensiones a y b del apoyo, respectivamente.
- t_i es el espesor de una capa individual de elastómero.
- a' y b' son las dimensiones efectivas del apoyo.

UNE-EN 1337-3 [3] no define un límite para la distorsión producida por la rotación del apoyo.

4.2 Espesor mínimo de las placas de zunchado

Según el apartado 5.3.3.5 de UNE-EN 1337-3 [3] el espesor mínimo de las placas de zunchado se determinará mediante la expresión (5), conforme a expresión (12) de UNE-EN 1337-3

[3].

$$t_s = \frac{K_p \cdot F_{z,d} \cdot (t_1 + t_2) \cdot K_h \cdot \gamma_m}{A_r \cdot f_y}, \quad (5)$$

$$t_s \geq 2mm$$

donde:

- K_p es un factor de corrección de la tensión.
- K_h es un factor para las tensiones de tracción inducidas en la placa.
- t_1 y t_2 es el espesor de las capas de elastómero a cada lado de la placa de zunchado.
- γ_m es el coeficiente parcial del acero.
- f_y es el límite elástico del acero.

4.3 Comprobación de la estabilidad relativa a la rotación

Según lo indicado en el apartado 5.3.3.6 de UNE-EN 1337-3 [3], la estabilidad rotacional de un apoyo elastomérico se garantiza mediante el cumplimiento de las condiciones (6) y (7), conformes a las expresiones (13) y (14) de UNE-EN 1337-3 [3], para el no levantamiento del extremo menos cargado del apoyo.

Apoyos rectangulares:

$$v_{z,d} - \frac{(a' \cdot \alpha_{a,d} + b' \cdot \alpha_{b,d})}{K_{r,d}} \geq 0 \quad (6)$$

Apoyos circulares:

$$v_{z,d} - \frac{(D' \cdot \alpha_d)}{K_{r,d}} \geq 0 \quad (7)$$

donde:

- a' , b' y D' son las dimensiones efectivas del apoyo.
- $\alpha_{a,d}$, $\alpha_{b,d}$ y α_d son las rotaciones angulares a lo largo de cada una de las dimensiones del apoyo.
- $K_{r,d}$ es el factor de rotación.
- $v_{z,d}$ es la deformación vertical total producida por las cargas verticales que

generan los giros de cálculo.

4.4 Comprobación de la estabilidad relativa al pandeo

Como se indica en el apartado 5.3.3.6 de UNE-EN 1337-3 [3], la estabilidad a pandeo de un apoyo elastomérico se garantiza limitando la tensión de compresión en el apoyo, mediante el cumplimiento la condición (8), conforme a la expresión (15) de UNE-EN 1337-3 [3].

$$\frac{F_{z,d}}{A_r} < \frac{2 \cdot a' \cdot G \cdot S_1}{3 T_e} \quad (8)$$

donde:

- T_e es el espesor total de las capas de material elastómero.

4.5 Comprobación de la estabilidad relativa al deslizamiento

Los apoyos no anclados deben cumplir la siguiente condición de no deslizamiento (expresión (9)) según lo indicado en el apartado 5.3.3.6 de UNE-EN 1337-3 [3] y conforme a la expresión (16) de UNE-EN 1337-3 [3].

$$F_{xy,d} \leq \mu_e \cdot F_{z,d \min} \quad (9)$$

donde:

- $F_{xy,d}$ es la resultante de todas las fuerzas horizontales de cálculo.
- $F_{z,d \min}$ es la fuerza vertical mínima de cálculo, concomitante con $F_{xy,d}$.
- μ_e es el coeficiente de rozamiento, que viene dado por la expresión (10).

$$\mu_e = 0.1 + \frac{1.5 K_f}{\sigma_m} \quad (10)$$

donde:

- σ_m es la tensión de compresión media, en MPa, para la carga $F_{z,d \min}$.
- K_f debe ser tomado igual a 0.6 para el hormigón y 0.2 para otras superficies.

5. Equivalencia entre las comprobaciones de UNE-EN 1337-3 y las Recomendaciones de 1982

Según las Recomendaciones de 1982 [1], el dimensionamiento de los apoyos elastoméricos se basa en las comprobaciones que siguen:

- Limitación de las tensiones tangenciales que se producen entre el elastómero y las placas de zunchado.
- Limitación de la tensión media de compresión del apoyo.
- Comprobación de la estabilidad del apoyo (condición de no desplazamiento, y condición de no levantamiento).
- Comprobación del espesor mínimo de las placas de zunchado.

Estas comprobaciones son equivalentes a las que recoge UNE-EN 1337-3 [3] y se han expuesto en los apartados 4.1 a 4.5 de este artículo, con algunas diferencias (véase el Capítulo 6 de la guía) de las que se destaca la siguiente: las comprobaciones recogidas en UNE-EN 1337-3 [3] están formuladas para ser realizadas con fuerzas y desplazamientos en Estado Limite Último, en lugar del Estado Limite de Servicio empleado en las Recomendaciones de 1982 [1]. En los apartados a continuación se muestra la correspondencia prácticamente directa entre las comprobaciones que recogen las dos normas. En este artículo se incluyen de forma general y resumida las expresiones correspondientes a cada comprobación; la explicación detallada de los parámetros que conforman cada una de las expresiones puede consultarse en el Capítulo 6 de la guía.

5.1 Limitación de las tensiones tangenciales

La verificación de las tensiones tangenciales máximas entre elastómero y placas de acero se realiza mediante la expresión (11), incluida en el apartado 2.3.2 de las Recomendaciones de 1982

[1].

$$\tau_N + \tau_{H\ total} + \tau_{\alpha\ total} \leq 5G \quad (11)$$

donde:

- G es el módulo de elasticidad transversal.
- τ_N es la tensión tangencial producida por las cargas verticales.
- $\tau_{\alpha\ total}$ es la tensión tangencial producida por los giros.
- $\tau_{H\ total}$ es tensión tangencial producida por las fuerzas horizontales y deformaciones impuestas.

Esta limitación es equivalente a la limitación de la deformación tangencial de cálculo máxima del apartado 5.3.3 de UNE-EN 1337-3 [3] e incluida en el apartado 4.1 del presente artículo, no obstante, las Recomendaciones de 1982 [1] la realizan en tensiones tangenciales y UNE-EN 1337-3 [3] en deformaciones. La diferencia observada entre el límite superior definido por las dos expresiones es igual a $7/5=1.4$, que es coherente con el hecho de que los valores de la deformación empleados en la comprobación de UNE-EN 1337-3 [3] corresponden al Estado Limite Último.

5.1.1 Tensiones tangenciales producidas por las reacciones verticales de compresión

Las tensiones tangenciales producidas por las cargas verticales de compresión se determinan mediante la expresión (12), incluida en el apartado 2.3.1 de las Recomendaciones de 1982 [1].

$$\tau_N = \frac{1.5 \times \sigma_m}{S} \quad (12)$$

donde:

- σ_m es la tensión vertical media de compresión.
- S es el factor de forma del apoyo.

Esta expresión es equivalente a la incluida en el apartado 5.3.3.2 de UNE-EN 1337-3 [3], y expuesta en el apartado 4.1.1 del presente artículo, pero a nivel de deformaciones.

Las Recomendaciones de 1982 [1] tampoco definen un límite para estas tensiones.

5.1.2 Tensiones tangenciales producidas por fuerzas horizontales y deformaciones impuestas

Las Recomendaciones de 1982 [1] limitan las tensiones tangenciales producidas por fuerzas horizontales y deformaciones impuestas según lo indicado en las expresiones (13) y (14), recogidas en el apartado 2.3.2 de las Recomendaciones de 1982 [1].

Tensiones tangenciales producidas por deformaciones impuestas:

$$\tau_{H1} \leq 0.5G \quad (13)$$

Tensiones tangenciales totales (deformaciones impuestas + fuerzas instantáneas):

$$\tau_{H \text{ total}} \leq 0.7G \quad (14)$$

Esta limitación es equivalente a la limitación de la deformación tangencial de cálculo por desplazamientos horizontales del apartado 5.3.3.3 de UNE-EN 1337-3 [3] incluida en el apartado 4.1.2 del presente artículo, pero a nivel de deformaciones. UNE-EN 1337-3 [3] define un único límite para la deformación tangencial total, sin distinguir entre deformaciones impuestas y fuerzas instantáneas. La deformación tangencial por desplazamientos horizontales está limitada a 0.7 en las Recomendaciones de 1982 [1] y a 1.00 en UNE-EN 1337-3 [3]. El cociente entre el límite definido por las dos expresiones es igual a $1/0.7=1.4$, que es coherente con el hecho de que los valores de la deformación empleados en la comprobación de UNE-EN 1337-3 [3] corresponden al Estado Límite Último, siendo por lo tanto formulaciones equivalentes.

5.1.3 Tensiones tangenciales producidas por giros

Las tensiones tangenciales producidas por giros se determinan mediante la expresión (15), incluida en el apartado 2.3.1 de las

Recomendaciones de 1982 [1].

$$\tau_{\alpha} = \frac{G}{2} \times \left(\frac{a}{t}\right)^2 \times \alpha_t \quad (15)$$

donde:

- a es la dimensión mínima en planta del apoyo.
- t es el espesor de las capas internas de elastómero.
- $\alpha_t = \alpha_r/n$, donde α_r es el giro en el apoyo y n es número de capas de elastómero.

Esta expresión es equivalente a la incluida en el apartado 5.3.3.4 de UNE-EN 1337-3 [3], expuesta en el apartado 4.1.3 del presente artículo, pero a nivel de deformaciones.

5.2 Espesor mínimo de las placas de zunchado

El espesor mínimo de las placas de zunchado se determina mediante la expresión (16), incluida en el apartado 2.3.2 de las Recomendaciones de 1982 [1].

$$e \geq \frac{a}{S} \times \frac{\sigma_m}{\sigma_e} \text{ con } e \geq 2 \text{ mm} \quad (16)$$

donde:

- e es el espesor de las placas de zunchado.
- σ_e es el límite elástico del acero de las placas de zunchado.

Si se desarrolla la expresión (16) (véase el Capítulo 6 de la guía) se comprueba que esta verificación es equivalente a la incluida en el apartado 5.3.3.5 de UNE-EN 1337-3 [3], expuesta en el apartado 4.2 del presente artículo, con el matiz de que el ratio entre las dos ecuaciones (e/t_s) es de 1.54, que, aproximadamente, convierte cargas de Estado Límite de Servicio en cargas de Estado Límite Último, por lo que se obtendrían espesores de las placas de zunchado semejantes mediante las dos normas.

5.3 Condición de no levantamiento

La condición de no levantamiento del extremo

menos cargado del apoyo se define en el apartado 2.3.2 de las Recomendaciones de 1982 [1] mediante la expresión (17).

$$\alpha_t = \frac{\alpha_T}{n} \leq \frac{3}{S} \times \frac{t^2}{a^2} \times \frac{\sigma_m}{G} \quad (17)$$

Si se desarrolla la expresión (17) (véase el Capítulo 6 de la guía) se comprueba que esta verificación es equivalente a la incluida en el apartado 5.3.3.6 de UNE-EN 1337-3 [3], expuesta en el apartado 4.3 del presente artículo, con el matiz de que el ratio entre la ecuación de las Recomendaciones de 1982 [1] y la ecuación de UNE-EN 1337-3 [3] es de 1.25, valor no muy distinto al que convertiría las cargas de Estado Límite de Servicio en cargas de Estado Límite Último.

5.4 Limitación de la tensión de compresión

En su apartado 2.3.2, las Recomendaciones de 1982 [1] limitan las tensiones medias de compresión de los apoyos en las combinaciones de servicio a 15 MPa. UNE-EN 1337-3 [3] recoge una comprobación equivalente en su apartado 5.3.3.6, que es la incluida en el apartado 4.4 del presente artículo. En este caso no es posible una comparación directa entre las dos formulaciones por lo que en el Capítulo 6 de la guía se han determinado las tensiones permitidas por UNE-EN 1337-3 [3] para apoyos con diferentes áreas en planta, verificándose que esta permite tensiones superiores a las permitidas por las Recomendaciones de 1982 [1].

5.5 Condición de no desplazamiento del apoyo

En su apartado 2.3.2, las Recomendaciones de 1982 [1] exigen el cumplimiento de las condiciones (18) y (19):

Mínima tensión de compresión:

$$\sigma_m \geq 2 \text{ MPa en ELS} \quad (18)$$

Máxima fuerza horizontal:

$$H \leq f \times N \quad (19)$$

donde:

- H es la fuerza horizontal concomitante con la carga vertical, N .
- f es el coeficiente de rozamiento.

En su apartado 5.3.3.6, UNE-EN 1337-3 [3] recoge dos limitaciones equivalentes a las definidas por las Recomendaciones de 1982 [1] (véase el apartado 4.5 de este artículo):

- La tensión mínima en el apoyo no debe ser inferior a 3 MPa en cargas permanentes. Esta limitación es equivalente a la limitación a 2 MPa en Estado Límite de Servicio de las Recomendaciones de 1982 [1].
- La fuerza horizontal no debe superar la fuerza vertical (concomitante) multiplicada por el coeficiente de rozamiento. Esta comprobación es equivalente a la establecida en las Recomendaciones de 1982 [1], recogida en la expresión (19). Asimismo, hay equivalencia entre las expresiones para la determinación del coeficiente de rozamiento; en la expresión (10) (UNE-EN 1337-3 [3]), la tensión media en el apoyo viene dividida por 1.5, puesto que esta comprobación se realiza con cargas en Estado Límite Último.

6. Predimensionamiento y plano de apoyos

Con un carácter más práctico, los últimos capítulos (7 y 8) de la *Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos* [4] recogen, por un lado, directrices para la realización del predimensionamiento de apoyos elastoméricos y, por otro, un ejemplo de la información que deberá contener el plano de apoyos de un proyecto.

En Capítulo 7 se dan algunos criterios para la obtención de la geometría inicial de los apoyos

elastoméricos que permitirá, posteriormente, realizar el dimensionamiento final de los mismos según UNE EN 1337-3 [3]: la geometría en planta se podrá aproximar mediante la verificación de las condiciones de tensión mínima bajo cargas permanentes (dimensiones máximas en planta del apoyo) y máxima en ELU (dimensiones mínimas en planta del apoyo) y la altura de elastómero se podrá estimar mediante el cumplimiento de la limitación de la deformación tangencial por desplazamientos horizontales. Puesto que la distribución de fuerzas y desplazamientos horizontales en la estructura depende de la geometría de los apoyos (desconocida a la hora de iniciar el predimensionamiento), en este capítulo también se proporcionan algunos criterios para estimar una primera distribución de las fuerzas horizontales y desplazamientos en la estructura.

En el Capítulo 8 se incluye un ejemplo de la información a incluir en el plano de definición de los aparatos de apoyo elastoméricos de un proyecto, imprescindible para una adecuada selección de los apoyos por parte del fabricante, para puentes con tablero de hormigón o metálico. En resumen, se deberá incluir, como mínimo:

- Planta de la estructura con la distribución y definición de los tipos de apoyos a emplear.
- Dimensiones y composición de los aparatos de apoyo.
- Definición de las cuñas de nivelación metálicas (si corresponde).
- Croquis esquemático de cada tipo de apoyo.
- Reacciones verticales, horizontales, desplazamientos y giros, en ELU, para cada apoyo.
- Notas relativas a las características de los apoyos tenidas en cuenta en el cálculo.
- Notas relativas a las condiciones a cumplir y los cuidados a tener en la instalación de los aparatos de apoyo.
- Notas relativas a las mesetas y cuñas de

nivelación.

Esta información corresponde a la mínima a incluir; puede ser necesaria información complementaria específica para cada proyecto particular.

Referencias

- [1] Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera, Dirección General de Carreteras, 1982.
- [2] Orden circular 1/2019, Dirección General de Carreteras, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. Enlace de descarga: https://www.transportes.gob.es/recursos/mfom/comodin/recursos/2019-03-18_oc_aplicacion_eurocodigos_0.pdf
- [3] UNE-EN 1337-3, Apoyos estructurales. Parte 3: Apoyos elastoméricos, AENOR
- [4] Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2024. Enlace de descarga: [Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos. \[Serie Guías Eurocódigos\] - Centro de Publicaciones](#)
- [5] Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos. Ejemplo de aplicación, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2024.