

Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica

Guide to the design of low-damping rubber isolators in seismic regions

Pilar Crespo^a, Sergio Agulló^b, Álvaro Serrano^c, Guillermo Blanco^d,

Miguel Ortega^e, Maria João Freitas^f, Amadeo Benavent Climent^g

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

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

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

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

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

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

^g Catedrático de Estructuras en la Universidad Politécnica de Madrid. amadeo.benavent@upm.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 elastoméricos acordes a los Eurocódigos la norma de referencia es UNE-EN 1337-3. Si se desea que estos apoyos sean también aisladores sísmicos, entonces deben ser calculados con los procedimientos definidos en el Eurocódigo 8, y verificados con la norma UNE-EN 15129. Esta guía permite orientar al proyectista en el cálculo y proyecto de puentes sísmicamente aislados con aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB) según la normativa de aplicación.

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. For the design of elastomeric bearings in compliance with the Eurocodes, the reference standard is UNE-EN 1337. When these bearings are also intended to serve as seismic isolators, their design must adhere to the calculation procedures outlined in Eurocode 8 and be verified according to the UNE-EN 15129 standard. This guide serves as a resource for designers, offering detailed instructions for the calculation and design of seismically isolated bridges utilizing low-damping rubber bearings (LDRB).

PALABRAS CLAVE: apoyo elastomérico, aislador, LDRB, sismo, Eurocódigos, UNE-EN 15129, UNE-EN 1998

KEYWORDS: rubber bearing, isolator, LDRB, earthquake, Eurocodes, EN 15129, EN 1998

1. Introducción y antecedentes

Para el dimensionamiento de apoyos elastoméricos en proyectos de puentes de carretera, tradicionalmente, en España, se ha tenido como referencia el documento *Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera* (1982) [1]. 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 los apoyos elastoméricos la UNE-EN 1337-3 [3]. Para el caso en que estos apoyos trabajen como aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB) frente a acciones sísmicas, la norma de referencia para su dimensionamiento es la UNE-EN 15129 [4], que complementa las directrices de cálculo incluidas en el Eurocódigo 8 [5].

La *Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica* [6] (Figura 1) desarrolla los requisitos que deben cumplir los aisladores elastoméricos para su dimensionamiento y verificación mediante la norma UNE-EN 15129 [4], según las metodologías de aislamiento definidas en el Eurocódigo 8 [5]. La guía incluye también una descripción detallada de los ensayos que se deben realizar para garantizar el cumplimiento de las prestaciones requeridas en los aisladores LDRB para la consecución del marcado CE que permite su comercialización.

La guía [6] se complementa con la *Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica. Ejemplo de aplicación* [7], en la que se desarrolla paso a paso un ejemplo del proceso de dimensionamiento del sistema de aislamiento con LDRB de un puente de tres vanos.

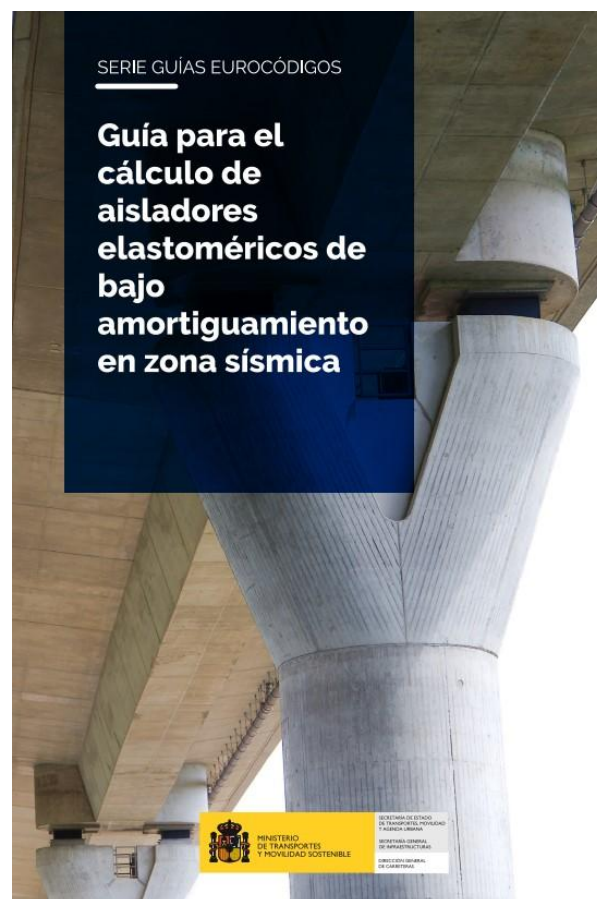


Figura 1. Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos [4]

2. Principio de funcionamiento de los aisladores LDRB

Un apoyo elastomérico es un dispositivo de conexión entre superestructura y subestructura, constituido generalmente por capas alternas de elastómero y de acero, que permiten su zunchado. Se trata de elementos de elevada capacidad portante vertical y una baja rigidez horizontal, que permite acomodar los movimientos relativos de traslación entre la superestructura y la subestructura del puente.

Adicionalmente, pueden proyectarse con características especiales para cumplir funciones de aislamiento y disipación de la energía introducida por un terremoto mediante mecanismos de amortiguamiento viscoso,

adquiriendo así la categoría de aisladores elastoméricos.

El aislamiento se consigue gracias a la baja rigidez lateral de los aisladores, que da lugar a un notable aumento del periodo fundamental de vibración del sistema estructural completo. Con ello, se logra situar a la estructura en una zona del espectro elástico de respuesta donde las aceleraciones espectrales son bajas (Figura 2). Esto se traduce en una disminución de las fuerzas sísmicas transmitidas a la subestructura.

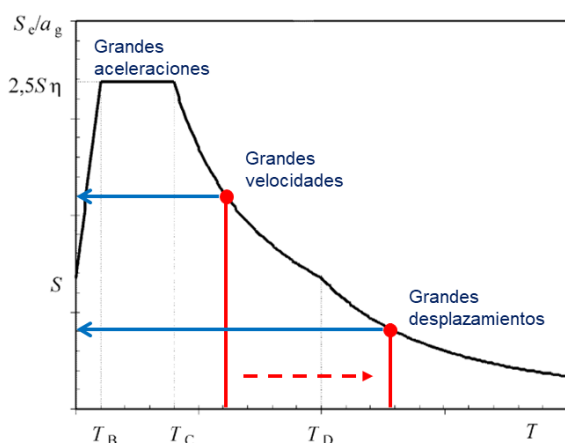


Figura 2. Efecto de aislamiento estructural

Los aisladores elastoméricos poseen una capacidad adicional de disipación de energía a través de un mecanismo de amortiguamiento de tipo viscoso. En aisladores LDRB la disipación es muy reducida, ya que su amortiguamiento efectivo ($\xi_{eff,b} \leq 6\%$) es próximo al amortiguamiento inherente del 5% que considera la formulación de los espectros elásticos de respuesta del Eurocódigo 8.

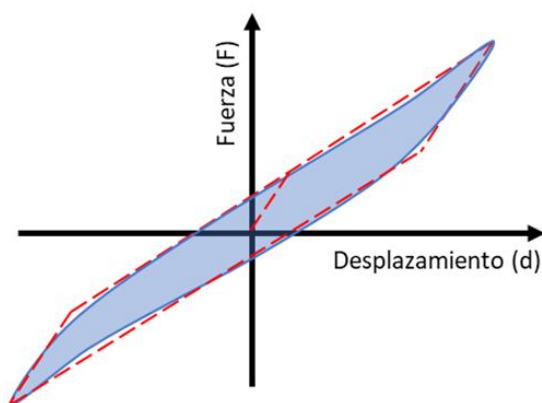


Figura 3. Ejemplo esquemático de un ciclo de deformación en un aislador LDRB

En la Figura 3 se muestra un ciclo de deformación de un aislador LDRB, que se caracteriza por ser muy esbelto, y en el cual el área encerrada dentro del ciclo representa la energía disipada.

3. Tipos de aisladores elastoméricos de UNE-EN 1998-2 y UNE-EN 15129

La Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica [6] se centra en los aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento o LDRB (*low damping rubber bearing*), ya que, para el carácter de sismicidad moderada predominante en la península ibérica, en general, serán suficientes. Los aisladores son de tipo LDRB cuando el amortiguamiento efectivo del elastómero es inferior al 6% ($\xi_{eff,b} \leq 6\%$). Sus principales ventajas son su sencillez, facilidad de fabricación y, en algunos casos, un menor requerimiento de ensayos que en el resto de los aisladores elastoméricos. Sin embargo, en estructuras singulares o en emplazamientos de alta sismicidad (e.g. Granada) puede ser necesario recurrir a aisladores elastoméricos con mayor capacidad de disipación de energía, como los HDRB ($\xi_{eff,b} = 6-20\%$) o los LRB ($\xi_{eff,b} = 20-40\%$).

Existen dos categorías de aisladores LDRB, distintas del caso convencional, a las que se les exige un menor número de requisitos y ensayos, a cambio de una mayor exigencia en sus comprobaciones:

- Aisladores LDRB “sencillos”: se definen en el Eurocódigo 8 y se trata de aisladores que no necesitan cumplir con la norma UNE-EN 15129 [4] pero que, a cambio, deben responder con deformaciones laterales menores frente a desplazamiento de cálculo mayores que los LDRB según UNE-EN 15129.
- Aisladores LDRB “sometidos a acciones sísmicas pequeñas”: se definen en

UNE-EN 15129. Si se demuestra que los efectos de las acciones no sísmicas que se incluyen en la combinación sísmica (fuerzas y desplazamientos) son inferiores a los efectos producidos por la propia acción sísmica, puede considerarse que el aislador está “sometido a acciones sísmicas pequeñas”. Con ello, queda exento de un gran número de requisitos de ensayo. En contrapartida, las deformaciones máximas admisibles son menores que en aisladores LDRB convencionales.

4. Composición de los aisladores elastoméricos según UNE-EN 15129

Los aisladores elastoméricos contemplados en UNE-EN 15129 [4] pueden tener forma rectangular o circular, y deben estar constituidos por capas alternas de material elastómero y de placas de acero (ver Figura 4). Entre las placas de acero se distingue entre las placas de zunchado interiores, y las placas de extremo, que son más gruesas que las de zunchado interiores. Las placas de acero se adhieren al material elastómero en condiciones apropiadas de calor y presión mediante un proceso de vulcanización.

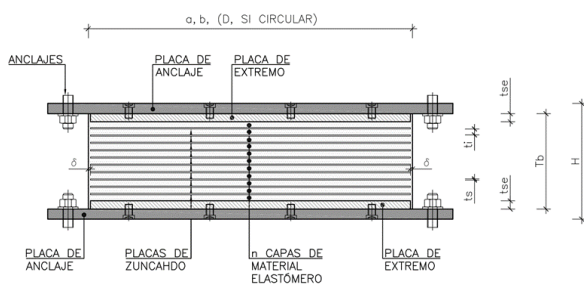


Figura 4. Alzado tipo de un aislador LDRB con anclaje normalizado mediante tornillos

Los aisladores elastoméricos no siguen la clasificación, de UNE-EN 1337-3 (A, B, C, D, E y F) de los apoyos elastoméricos. De hecho, todos los aisladores deben estar anclados a la superestructura y a la subestructura frente a fuerzas horizontales, por lo que guardan parecido con los tipo C de UNE-EN 1337-3 [3]. En UNE-EN 15129 [4] se establece un criterio

diferencial de la tipología de anclaje:

- Aisladores con anclaje normalizado: el sistema de fijación permite que el aislador elastomérico pueda soportar fuerzas verticales de tracción. Esto se puede lograr vulcanizando el aislador directamente contra las placas de anclaje (ver Figura 5), o bien mediante tornillos con capacidad a tracción que unen las placas de extremo y las de anclaje (ver Figura 4).
- Aisladores con anclaje no normalizado: el sistema de fijación no admite fuerzas verticales de tracción y, por tanto, debe verificarse su estabilidad ante el rodamiento. Esto se puede lograr mediante llaves de cortante o empotrando el aislador en una oquedad especialmente preparada en la placa de anclaje (Figura 6).

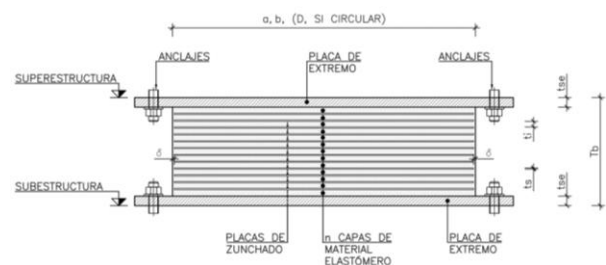


Figura 5. Alzado tipo de un aislador LDRB con anclaje normalizado con vulcanizado de las placas de anclaje

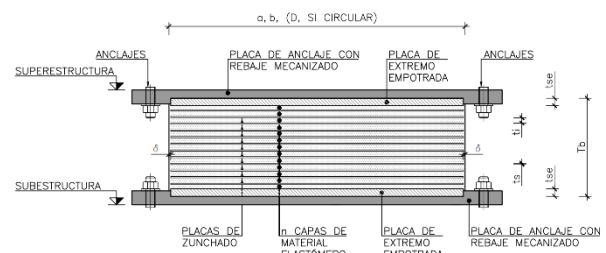


Figura 6. Alzado tipo de un aislador LDRB con anclaje no normalizado mediante empotramiento del aislador en las placas de anclaje

5. Propiedades de cálculo de los aisladores

5.1 Módulo de elasticidad transversal, G

El módulo de elasticidad transversal o de cizallamiento de un elastómero depende de

diversos factores como la temperatura, la edad y calidad de la goma o la velocidad de aplicación de la carga. La norma UNE-EN 15129 [4], al referirse a G se refiere al módulo de elasticidad transversal dinámico para las frecuencias de excitación sísmica, que se estima mediante ensayos para una deformación tangencial del 100% a 23°C y una frecuencia recomendada de 0,5 Hz.

Al tratarse G de un valor que debe ensayarse, si no se conociera su valor en fases de proyecto, puede utilizarse la aproximación propuesta en el apartado 7.5.2.4(5) del Eurocódigo 8 de incrementar el módulo de elasticidad transversal convencional aparente (no dinámico), G_g , por un coeficiente de cortante dinámico, α , de valor entre 1,10 y 1,40.

$$G = \alpha G_g \quad (1)$$

5.2 Rigidez y amortiguamiento efectivo de cálculo

Se define como rigidez efectiva del aislador, $K_{eff,b}$, a la rigidez secante hasta el desplazamiento de respuesta del aislador considerado. En aisladores con capacidad disipativa, esta rigidez puede variar para cada nivel de desplazamiento, pero en los LDRB se puede asumir que la respuesta es lineal, y la rigidez efectiva es igual que la elástica, K_b , según la expresión (2).

$$K_{eff,b} \approx K_b = \frac{A \cdot G}{T_q} \quad (2)$$

donde:

- T_q es el espesor total de las capas de elastómero que se deforman a cortante.
- A es el área en planta total de una capa de elastómero.

Por otro lado, en aisladores LDRB, el máximo amortiguamiento efectivo que se puede considerar es $\xi_{eff,b}=6\%$. En tal caso, se puede reducir el espectro de cálculo para los periodos aislados, que la norma estima que son los

superiores a $0,8T_{eff}$, según se ve en la Figura 8, utilizando el factor corrector por amortiguamiento η_{eff} de la expresión (3); siendo T_{eff} el periodo de respuesta del sistema aislado obtenido mediante el método basado en el modo fundamental del apartado 7.5.2 del Eurocódigo 8-2. Si se considera un valor $\xi_{eff,b}=5\%$ de amortiguamiento del aislador, entonces no se aplica reducción puesto que el espectro normativo de cálculo ya está definido para un amortiguamiento inherente del 5%.

$$\eta_{eff} = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi_{eff}}} \quad (3)$$

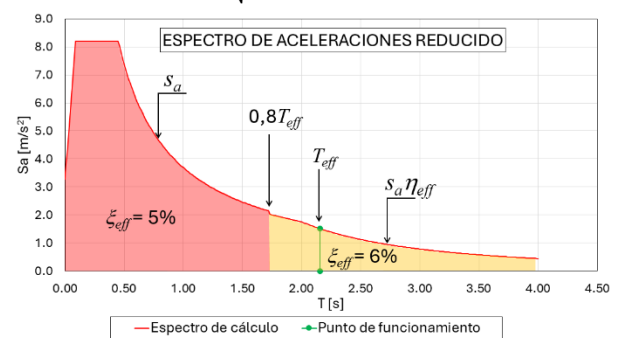


Figura 7. Espectro de cálculo reducido por amortiguamiento

4.3 Variabilidad de las propiedades

Las propiedades nominales de los aisladores, que en adelante se denominan propiedades DP, pueden verse afectadas por el envejecimiento, la temperatura, la historia de carga, la contaminación, y los efectos de la acumulación de ciclos de deformación. Por ello, tanto los apartados 4.5.2 y 8.2.1.1 de UNE-EN 15129 [4], como el 7.5.2.4 del Eurocódigo 8-2, establecen la necesidad de analizar la influencia en los resultados del análisis estructural frente a variaciones de las propiedades de los aisladores respecto de las DP.

En general, se deberá realizar un doble cálculo: uno utilizando el límite superior del valor de las propiedades del aislador (UBDP), y otro con el límite superior del valor de las propiedades (LBDP). Normalmente, el uso de UBDP incrementa la rigidez lateral del aislador y

conduce a las máximas fuerzas en la subestructura, y el uso de LBDP reduce la rigidez y da lugar a los máximos desplazamientos del sistema de aislamiento, según se representa en la Figura 8.

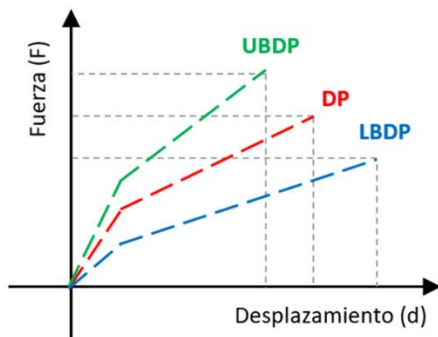


Figura 8. Influencia de la variabilidad de las propiedades

6. Metodología de cálculo

El análisis de los sistemas de aislamiento debe realizarse según la metodología referida en el capítulo 7 del Eurocódigo 8-2, en donde se indican tres posibles procedimientos: método espectral basado en el modo fundamental, método espectral multimodal y cálculo dinámico directo en el dominio del tiempo. Los condicionantes para poder aplicar cada uno de estos métodos se muestran en la Figura 9.

Si se cumple:

La distancia entre el emplazamiento del puente y la falla más cercana sísmicamente activa es mayor a 10 km

El suelo del emplazamiento se debe corresponder con uno de los tipos de terreno del artículo 3.1.1 de UNE-EN 1998-1: A, B, C o E

El amortiguamiento efectivo del sistema cumple que: $\xi_{eff} \leq 30\%$

Espectral en modo fundamental

Espectral multimodal

Si no se cumple lo anterior o para cualquier caso

En el dominio del tiempo

Figura 9. Esquema de rigidez del sistema de 1 gdl

6.1 Método espectral basado en el modo fundamental

El método basado en el modo fundamental considera el tablero como un diafragma rígido y solo tiene en cuenta el primer modo de

deformación de la subestructura en cada dirección principal, considerando que toda la masa se moviliza en ese primer modo de cada dirección como un sistema de 1 grado de libertad equivalente.

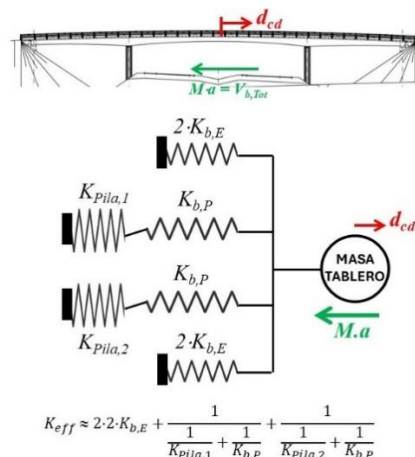


Figura 10. Esquema de rigidez del sistema de 1 gdl

La rigidez lateral del sistema de 1 grado de libertad es la suma en paralelo de las suma en serie de las rigideces de las pilas y estribos con sus aisladores correspondientes, tal y como se observa en la Figura 10.

6.2 Método espectral multimodal

En este método se considera la deformación del tablero y de las pilas en sus diferentes modos de vibración. El puente en su conjunto se idealiza mediante un modelo numérico en tres dimensiones (3D) de múltiples grados de libertad (n gdl) y con un número de nodos suficientemente alto para que sea capaz de reproducir las deformaciones que se consideren relevantes en el tablero y en las pilas.

6.3 Análisis en el dominio del tiempo

El cálculo dinámico directo en el dominio del tiempo mediante la utilización de registros característicos de la zona, según los requerimientos del Eurocódigo 8, también es una alternativa viable. Sin embargo, la aplicación de esta metodología requiere de un gran conocimiento y experiencia, ya que la selección de los acelerogramas es crucial y muchas veces

falta información que permita seleccionar terremotos que reproduzcan de forma realista la sismicidad del lugar.

7. Dimensionamiento de aisladores elastoméricos según UNE-EN 15129

En Estado Límite Último (ELU) de combinaciones no sísmicas, la resistencia y estabilidad de los aisladores se debe verificar con los criterios de UNE-EN 1337-3 [3]. Ante la combinación sísmica definida en el Eurocódigo 8, los aisladores deben cumplir con los requerimientos de UNE-EN 15129. Cabe mencionar que las comprobaciones de los aisladores en situación sísmica se deben realizar en cada dirección principal, y no con la suma vectorial de los efectos de las acciones en las direcciones principales.

7.1 Desplazamiento máximo, d_{max}

El desplazamiento horizontal que se utiliza en las comprobaciones de los aisladores tiene una definición particular. Se trata del desplazamiento máximo horizontal entre las placas de extremo del aislador en una determinada dirección principal, d_{max} , que se obtiene sumando el desplazamiento horizontal d_{bd} provocado por la acción sísmica actuando en la dirección considerada y mayorado por el coeficiente de amplificación por fiabilidad, $\gamma_x=1,50$, con el desplazamiento en la dirección considerada debido a las acciones no sísmicas en situación sísmica, d_G . Este último es la suma de los desplazamientos debido a las cargas permanentes, d_{CP} , los efectos diferidos, d_∞ , y el 50% del térmico, $0,5d_T$: $d_G=d_{CP}+d_\infty+0,5d_T$.

$$d_{max} = \gamma_x d_{bd} + d_G \quad (4)$$

7.2 Límite de deformación tangencial de cálculo máxima

Según el apartado 8.2.3.4.2 de UNE-EN 15129 [4], la deformación tangencial total máxima, $\varepsilon_{t,d}$, es la suma de las deformaciones tangenciales de debido a las cargas de compresión, $\varepsilon_{c,E1}$, al desplazamiento d_{max} , $\varepsilon_{q,max}$, y a la rotación angular del apoyo, $\varepsilon_{\alpha,d}$. La deformación tangencial total máxima debe ser inferior al límite último, $\varepsilon_{u,d}$, indicado en la expresión (5).

$$\varepsilon_{t,d} = K_L (\varepsilon_{c,E1} + \varepsilon_{q,max} + \varepsilon_{\alpha,d}) \leq \varepsilon_{u,d} \quad (5)$$

donde:

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

7.2.1 Deformación tangencial de cálculo debida a la carga de compresión

Según el apartado 8.2.3.3.2 de UNE-EN 15129 [4], la deformación de cálculo debido a cargas de compresión se determinará mediante la expresión (6).

$$\varepsilon_{c,E1} = \frac{6 \cdot S \cdot N_{Ed,max}}{A_r \cdot E_{1,c}} \quad (6)$$

donde:

- $N_{Ed,max}$ es la carga vertical de cálculo en combinación sísmica.
- G es el módulo de elasticidad transversal dinámico del elastómero, según se define en UNE-EN 15129.
- S es el factor de forma del aislador.
- A_r es el área en planta efectiva reducida del apoyo.
- $E_{1,c}$ es el módulo de compresión supuesto el elastómero incompresible.

UNE-EN 15129 [4] no define un límite explícito para la deformación tangencial producida por las cargas de compresión.

7.2.2 Deformación tangencial de cálculo por el desplazamiento horizontal máximo d_{max}

Como indica el apartado 8.2.3.3.3 de

UNE-EN 15129 [4], la deformación tangencial de cálculo debida al desplazamiento d_{max} se determinará mediante la expresión (7).

$$\varepsilon_{q,max} = \frac{d_{max}}{T_q} \leq 2.50 \quad (7)$$

Esta limitación habitualmente es el criterio dimensionante del aislador. Si el aislador se considera “sometido a acciones sísmicas pequeñas”, se debe limitar la deformación a $\varepsilon_{q,max} \leq 2$.

7.2.3 Deformación tangencial de cálculo debida a la rotación angular

Según el apartado 5.2.3.4.2 de UNE-EN 15129 [4] la deformación tangencial de cálculo debida a la rotación angular se determina igual que en los apoyos elastoméricos convencionales según UNE-EN 1337-3 [3], es decir, mediante la expresión (8).

$$\varepsilon_{\alpha,d} = \frac{(a'^2 \cdot \alpha_{a,d} + b'^2 \cdot \alpha_{b,d}) \cdot t_i}{2 \sum t_i^3} \quad (8)$$

donde:

- $\alpha_{a,d}$ y $\alpha_{b,d}$ son los ángulos de rotación a lo largo de las dimensiones a y b del apoyo, respectivamente, con un valor mínimo de 0,003 radianes.
- t_i es el espesor de una capa individual de elastómero.
- a' y b' son las dimensiones efectivas del apoyo.

UNE-EN 15129 [4] no define un límite para la distorsión producida por la rotación del apoyo.

7.3 Límite de deformación de tracción máxima

A diferencia de UNE-EN 1337-3 [3], en donde no se permite que los apoyos trabajen en tracción frente a las combinaciones de cálculo, UNE-EN 15129 [4] sí permite que se produzcan tracciones en situación sísmica siempre que no superen un valor de tensiones superiores a $2G$,

donde G es el módulo de elasticidad transversal (dinámico) según se define en UNE-EN 15129.

7.4 Espesor mínimo de las placas de zunchado

Según el apartado 8.2.3.2 de UNE-EN 15129 [4] el espesor mínimo de las placas de zunchado se determina de la misma forma que en los apoyos elastoméricos convencionales según UNE-EN 1337-3 [3], es decir, mediante la expresión (9).

$$t_s = \frac{K_p \cdot F_{z,d} \cdot (t_1 + t_2) \cdot K_h \cdot \gamma_m}{A_r \cdot f_y} \quad (9)$$

$$t_s \geq 2mm$$

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 son los espesores de las capas de elastómero situadas a cada lado de la placa de zunchado.
- γ_m es el coeficiente parcial del acero.
- f_y es el límite elástico del acero.

7.6. Comprobación de la estabilidad a pandeo

Como se indica en el apartado 8.2.3.3.4 de UNE-EN 15129 [4], la estabilidad a pandeo de un aislador elastomérico se garantiza comparando la carga vertical máxima, $N_{Ed,max}$, con la carga crítica de pandeo P_{cr} , cuando el desplazamiento horizontal del aislador debido a las acciones sísmicas es nulo y el debido a acciones no sísmicas es máximo.

$$P_{cr} = \frac{\lambda \cdot G \cdot A_r \cdot a' \cdot S}{T_q} \quad (10)$$

donde:

- λ es igual a 1,3 en aisladores rectangulares y 1,1 en circulares.
- A_r es el área efectiva reducida debido a las acciones no sísmicas de la combinación sísmica.

El aislador será estable si:

$$N_{Ed,max} < \frac{P_{cr}}{2} \quad (11)$$

Si $N_{Ed,max} \geq P_{cr}/4$, además se debe satisfacer que:

$$1 - \frac{2N_{Ed,max}}{P_{cr}} \geq 0,7\delta \quad (12)$$

Si $N_{Ed,max} < P_{cr}/4$, además se debe satisfacer que:

$$\delta \leq 0,7 \quad (13)$$

donde δ es un parámetro que tiene en cuenta la deformación a cortante debida a d_{max} :

$$\delta = \frac{d_{max}}{a'} \quad (14)$$

7.7 Comprobación de la estabilidad a rodamiento

Según lo indicado en el apartado 8.2.3.4.5 de UNE-EN 15129 [4], esta comprobación es únicamente de aplicación cuando el sistema de fijación de los aisladores elastoméricos a la superestructura y a la subestructura es tal que los aisladores no pueden transmitir fuerzas verticales de tracción, es decir, es un sistema de fijación no normalizado. En tales casos, la estabilidad se verifica mediante la expresión (15).

$$d_{max} \leq \frac{1}{\gamma_R} \frac{N_{Ed,min} \cdot a'}{(K_b T_b + N_{Ed,min})} \quad (15)$$

donde:

- $N_{Ed,min}$ es la fuerza vertical mínima en la situación sísmica de cálculo.
- K_b es la rigidez horizontal efectiva a cortante para el máximo desplazamiento.
- T_b es la altura total del dispositivo (placas y elastómero) (ver figuras 4, 5 y 6).

8. Conformidad de los aisladores LDRB elastoméricos con la norma UNE-EN 15129 el marcado CE

La posesión del marcado CE garantiza el cumplimiento de los requisitos exigidos por la norma UNE-EN 15129 [4] y confiere al aislador una presunción de aptitud para los usos previstos en la norma. Al tratarse de un producto incluido en una norma armonizada, los aisladores elastoméricos deben llevar obligatoriamente el marcado CE.

La evaluación de la conformidad de los aisladores se realiza mediante el ensayo de los mismos y de sus materiales, según los criterios establecidos en la norma UNE-EN 15129 [4].

Se definen dos tipos de ensayo, los ensayos de tipo y los ensayos de control de producción o de calidad, tal y como se esquematiza en la Figura 11.

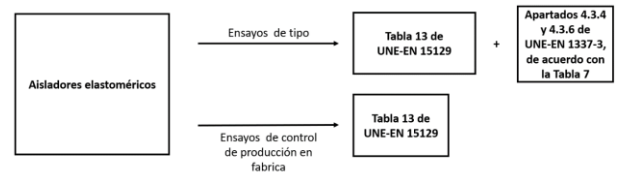


Figura 11. Esquema de ensayos de conformidad a realizar según UNE-EN 15129 en aisladores

8.1. Ensayos de tipo

Esta categoría de ensayos garantiza que el comportamiento conjunto del aislador es similar al prescrito de manera teórica en el proyecto.

Se trata de una secuencia de ensayos exigentes en los que se valora la capacidad de desplazamiento horizontal frente a diferentes configuraciones de carga vertical, de velocidad de aplicación de carga, de temperatura y de estado de envejecimiento.

Los parámetros de realización de los ensayos (desplazamientos, deformaciones, carga vertical, temperaturas, etc.) deben ser consecuencia del análisis realizado en proyecto, y deben incluirse en los planos de los mismos para conocimiento del fabricante.

Cada ensayo de tipo debe realizarse al menos dos veces para cada tipología particular de aislador elastomérico utilizado en el proyecto, y se debe utilizar un aislador diferente para cada secuencia de ensayos.

8.2. Ensayos de control de producción en fábrica

Se trata de ensayos que debe realizar el fabricante de manera regular sobre a menos un 20% de los aisladores en producción, junto con un sistema de control de la calidad, para asegurar que todos los aisladores fabricados pueden asimilarse a los justificados con los ensayos de tipo.

9. Predimensionamiento y plano de apoyos

Con un carácter más práctico, los últimos capítulos de la *Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica* [5] recogen, por un lado, directrices para la realización del predimensionamiento de aisladores LDRB y, por otro, un ejemplo de la información que deberá contener un plano de aisladores de proyecto.

La *Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica. Ejemplo de aplicación* [6] desarrolla en mayor detalle el procedimiento para realizar el predimensionamiento y la comprobación de un puente con aisladores LDRB. En esta guía también se incluyen planos de ejemplo con los valores resultantes del ejemplo práctico.

10. Conclusiones

La *Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica* [5] y su guía de ejemplos [6] orientan al proyectista en la utilización de las normas de productor UNE-EN 1337-3 [3] y UNE-EN 15129 [4] para

proyectar puentes sísmicamente aislados según el Eurocódigo 8. Adicionalmente, se proporciona información relevante para poder prescribir adecuadamente los ensayos que se deben realizar, y para la representación de los aisladores mediante planos.

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, 2005 AENOR
- [4] UNE-EN 15129, Dispositivos antisísmicos, 2018, AENOR
- [5] UNE-EN 1998-2, Eurocódigo 8-2. Proyecto de estructuras sismorresistentes. Puentes, 2018, AENOR
- [5] Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2024.
- [6] Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica. Ejemplo de aplicación, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2024.