

SERIE GUÍAS EUROCÓDIGOS

# Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES  
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

SECRETARÍA DE ESTADO  
DE TRANSPORTES  
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

SECRETARÍA GENERAL  
DE TRANSPORTE TERRESTRE

DIRECCIÓN GENERAL  
DE CARRETERAS

SERIE GUÍAS EUROCÓDIGOS

---

# Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos



2024

Centro virtual de publicaciones del Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible:

<https://publicaciones.transportes.gob.es>

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es>

Edita:

© Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

NIPOe: 196-24-089-0

NIPO: 196-24-088-5

Depósito Legal: M-18710-2024

Impreso en papel con gestión forestal certificada.

# PREÁMBULO

## Los Eurocódigos Estructurales

La Comisión Europea puso en marcha en 1971 la redacción de un código estructural europeo común que culminó con la aparición en 1984 de unos textos que constituyen el embrión de los actuales Eurocódigos. La evolución desde esos primeros textos hasta los vigentes ha sido 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, el Comité Europeo de Normalización (CEN) elaboró, por mandato de la Comisión Europea, un nuevo conjunto de Eurocódigos, que se publicaron con carácter experimental (normas ENV). Fue entre los años 2002 y 2007, cuando tuvo lugar la aparición de los Eurocódigos Estructurales, en la versión que actualmente conocemos, como normas EN (normas UNE-EN en España).

En 2015, se inician los trabajos de redacción de la denominada 2ª generación de Eurocódigos, con el objeto de incorporar un conjunto de mejoras relevantes después de más de una década de uso. Los textos finales de estas normas están disponibles desde 2022 y deben pasar por un proceso de aprobación con participación de todos los países europeos, que se extenderá hasta 2025, año en que la 1ª generación de Eurocódigos quedará derogada.

## La aplicación de los Eurocódigos

Aunque los Eurocódigos tienen carácter voluntario por tratarse de normas EN, progresivamente se han ido convirtiendo en el código estructural único en Europa y su cumplimiento es exigido en la práctica totalidad de los países europeos, bien por vía reglamentaria o bien de forma contractual.

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". Dice también la Comisión Europea que los Estados miembro "deben reconocer que, en el caso de las obras de construcción proyectadas con los métodos de cálculo descritos en los Eurocódigos, existe una presunción de conformidad con el requisito esencial de resistencia mecánica y estabilidad" (DOUE, 19 de diciembre de 2003).

Además, en el caso de los proyectos de obras públicas, la Directiva de Contratación Pública, transpuesta al ordenamiento jurídico español por la Ley de Contratos del Sector Público, establece la preeminencia de las normas nacionales que incorporan normas europeas (UNE-EN), en el caso español) sobre cualquier otra especificación técnica nacional. En aplicación de dicha ley, la Dirección General de Carreteras exige desde el año 2019 la aplicación de los Eurocódigos en los proyectos de estructuras y obras geotécnicas de la Red de Carreteras del Estado (Orden Circular 1/2019, de fecha de 18 de marzo de 2019).

## 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 numerosos manuales, guías y ejemplos de aplicación de estas normas. En España, desde hace ya bastantes 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* que aquí se presenta es una iniciativa pionera en nuestro país. Su objeto es contribuir a que la comunidad técnica española tenga un conocimiento más profundo de los distintos Eurocódigos y, en última instancia, 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 necesidades de aclaración que puedan surgir a la hora de aplicar los Eurocódigos.

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

Las normas UNE están sujetas a derecho de propiedad intelectual por parte de la Asociación Española de Normalización. Esta guía reproduce parcialmente el contenido de algunas normas UNE-EN por acuerdo con dicha Asociación.

## La *Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos*

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* [5] del año 1982, en adelante, *Recomendaciones de 1982*. Actualmente, y 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, siendo la norma de referencia para el dimensionamiento de los apoyos estructurales acorde a los Eurocódigos la norma UNE-EN 1337.

La norma UNE-EN 1337, Apoyos estructurales, comprende las 11 partes siguientes, estando el dimensionamiento de los apoyos elastoméricos recogido en su Parte 3 (UNE-EN 1337-3):

- Parte 1: Reglas generales de proyecto
- Parte 2: Elementos de deslizamiento
- Parte 3: Apoyos elastoméricos
- Parte 4: Apoyos de rodillo
- Parte 5: Apoyos tipo *pot*
- Parte 6: Apoyos oscilantes
- Parte 7: Apoyos de PTFE esféricos y cilíndricos
- Parte 8: Apoyos guiados y de bloqueo
- Parte 9: Protección
- Parte 10: Inspección y mantenimiento
- Parte 11: Transporte, almacenamiento e instalación

Los apoyos elastoméricos de una estructura deben cumplir con todos los límites de deformación y estabilidad establecidos por la norma UNE-EN 1337-3, aplicables a fuerzas y deformaciones impuestas en Estado Límite Último, a diferencia de las Recomendaciones de 1982, cuyas comprobaciones se realizaban con fuerzas y deformaciones impuestas en Estado Límite de Servicio. A pesar de esta diferencia, las comprobaciones generales de ambas son equivalentes. En esta *Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos* se explican en detalle las verificaciones a cumplir para el dimensionamiento de los apoyos elastoméricos según UNE-EN 1337-3, y se incluye también una breve comparativa con las verificaciones de las antiguas Recomendaciones de 1982. Tan importante como el cumplimiento de los límites de cálculo definidos por la norma, es la garantía de que el apoyo y los materiales que lo componen cumplen con los requisitos de aptitud que garantizan, además de su correcto funcionamiento, que sus propiedades son equivalentes a las consideradas en el cálculo estructural. En esta guía también se recogen los requisitos de aptitud exigidos para los apoyos, así como para sus materiales constituyentes.

Todas las referencias a las normas UNE-EN contenidas en esta guía corresponden a las siguientes versiones, vigentes a la fecha de redacción de este documento:

- UNE-EN 1337-1:2001
- UNE-EN 1337-2:2006
- UNE-EN 1337-3:2005
- UNE-EN 15129:2019



# ÍNDICE

<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
1.1. Objeto y ámbito de aplicación .....	11
1.2. Contenido de la guía.....	12
<b>2 TÉRMINOS, DEFINICIONES, SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS</b> .....	<b>13</b>
2.1. Términos y definiciones .....	13
2.2. Símbolos.....	15
2.2.1 Símbolos de UNE-EN 1337-3 .....	15
2.2.1.1 Letras latinas mayúsculas .....	15
2.2.1.2 Letras latinas minúsculas.....	17
2.2.1.3 Letras griegas .....	18
2.2.2 Símbolos de UNE-EN 1337-2 .....	18
2.2.2.1 Letras latinas mayúsculas .....	18
2.2.2.2 Letras latinas minúsculas.....	18
2.2.2.3 Letras griegas .....	19
2.2.3 Símbolos de las Recomendaciones de 1982 .....	19
2.2.3.1 Letras latinas mayúsculas .....	19
2.2.3.2 Letras latinas minúsculas.....	19
2.2.3.3 Letras griegas .....	20
2.2.4 Símbolos adicionales (apartados 5.1.1 y 7) .....	21
2.2.4.1 Letras latinas mayúsculas .....	21
2.2.4.2 Letras latinas minúsculas.....	21
2.3. Abreviaturas.....	21
2.4. Equivalencia de términos entre la normativa y la guía .....	22
<b>3 ASPECTOS GENERALES RELATIVOS A LA CONCEPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE APARATOS DE APOYO</b> .....	<b>23</b>
3.1. Elección del tipo de vinculación entre tablero y subestructura .....	23
3.2. Vida útil de los aparatos de apoyo.....	23
3.3. Reacciones ascendentes en apoyos .....	24
3.4. Apoyos con superficies deslizantes .....	24
3.5. Colocación de los aparatos de apoyo en obra.....	25
3.6. Consideraciones relativas a apoyos en fases intermedias.....	25

<b>4</b>	<b>APOYOS ELASTOMÉRICOS CONTEMPLADOS POR LA NORMA UNE-EN 1337-3 .....</b>	<b>27</b>
4.1.	Apoyos elastoméricos. Tipos .....	27
4.2.	Apoyos elastoméricos. Características.....	28
4.2.1	Capas de elastómero.....	30
4.2.2	Placas de acero.....	30
4.2.3	Superficies deslizantes.....	31
4.2.3.1	Adherencia de las láminas de acero austenítico para apoyos tipo D y tipo E .....	32
4.2.3.2	Superficie deslizante superior de los apoyos tipo D.....	33
4.2.3.3	Cavidades de lubricación de los apoyos tipo D .....	33
4.2.3.4	Coefficiente de rozamiento.....	34
4.2.4	Módulo de elasticidad transversal o módulo de cizalla, $G$ .....	34
4.2.5	Módulo de compresibilidad volumétrica, $E_b$ .....	35
4.3.	Conformidad de los apoyos elastoméricos con la norma UNE-EN 1337-3.....	36
4.3.1	El mercado CE.....	37
<b>5</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO DE APOYOS ELASTOMÉRICOS SEGÚN LA NORMA UNE-EN 1337-3 .....</b>	<b>45</b>
5.1.	Conceptos básicos .....	46
5.1.1	Rigidez de un apoyo elastomérico frente a acciones horizontales .....	46
5.1.2	Área total, $A$ , área efectiva, $A_I$ , área efectiva reducida, $A_r$ , y factor de forma, $S$ .....	47
5.1.2.1	Área total, $A$ .....	47
5.1.2.2	Área efectiva, $A_I$ .....	47
5.1.2.3	Área efectiva reducida, $A_r$ .....	48
5.1.2.4	Factor de forma, $S$ .....	49
5.2.	Comprobaciones.....	50
5.2.1	Límite de deformación tangencial de cálculo máxima.....	51
5.2.1.1	Deformación tangencial de cálculo debida a la carga de compresión, $\varepsilon_{c,d}$ .....	52
5.2.1.2	Deformación tangencial de cálculo por desplazamientos horizontales, $\varepsilon_{q,d}$ .....	53
5.2.1.3	Deformación tangencial de cálculo debida a la rotación angular, $\varepsilon_{a,d}$ .....	54
5.2.2	Espesor mínimo de las placas de zunchado.....	55
5.2.3	Comprobación de criterios de estabilidad.....	56

5.2.3.1	Comprobación de estabilidad relativa a la rotación.....	56
5.2.3.2	Comprobación de estabilidad relativa al pandeo.....	58
5.2.3.3	Comprobación de estabilidad relativa al deslizamiento (no reptación).....	58
5.2.4	Fuerzas, momentos y deformaciones ejercidas sobre la estructura.....	60
<b>6</b>	<b>EQUIVALENCIA ENTRE LA NORMA UNE-EN 1337-3 Y LAS RECOMENDACIONES DE 1982.....</b>	<b>63</b>
6.1.	Limitación de las tensiones tangenciales.....	64
6.1.1	Limitación de las tensiones tangenciales producidas por las reacciones verticales de compresión.....	66
6.1.2	Limitación de las tensiones tangenciales producidas por fuerzas horizontales y deformaciones impuestas.....	67
6.1.3	Limitación de las tensiones tangenciales producidas por los giros.....	70
6.2.	Espesor mínimo de las placas de zunchado.....	71
6.3.	Criterios de estabilidad.....	72
6.3.1	Condición de no levantamiento (estabilidad a rotación de UNE-EN 1337-3).....	72
6.3.2	Limitación de la tensión de compresión (estabilidad a pandeo de UNE-EN 1337-3).....	73
6.3.3	Condición de no desplazamiento del apoyo (estabilidad relativa al deslizamiento de UNE-EN 1337-3).....	74
6.3.4	Condición geométrica de estabilidad (altura máxima y mínima del apoyo.....)	76
6.4.	Resumen.....	76
<b>7</b>	<b>CRITERIOS DE PREDIMENSIONAMIENTO DE UN APOYO ELASTOMÉRICO.....</b>	<b>79</b>
<b>8</b>	<b>EJEMPLO DE PLANO DE APOYOS A INCLUIR EN PROYECTO.....</b>	<b>83</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>89</b>
	<b>ANEJO 1. SISTEMA DE EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD. ENSAYOS.....</b>	<b>91</b>



# 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Objeto y ámbito de aplicación

Esta guía tiene como objeto facilitar la aplicación de la norma UNE-EN 1337-3 al proyecto de obras de construcción en España. En el ámbito del proyecto estructural según los Eurocódigos, ésta es la norma de referencia para el dimensionamiento de los apoyos estructurales elastoméricos. Con este documento se pretende, además, contribuir a clarificar la equivalencia entre UNE-EN 1337-3 y las antiguas Recomendaciones de 1982 que, en las últimas décadas, se ha empleado para el cálculo de los apoyos elastoméricos. Según la norma UNE-EN 1337-3, los apoyos elastoméricos de una estructura deben cumplir con todos los límites de deformación y estabilidad debidos a las fuerzas y deformaciones impuestas en Estado Límite Último, a diferencia de las Recomendaciones de 1982, cuyas comprobaciones se realizaban con fuerzas y deformaciones impuestas en Estado Límite de Servicio. A pesar de esta diferencia, las comprobaciones generales de ambas son equivalentes.

Otro aspecto importante que esta guía 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. En el caso de los apoyos elastoméricos, la posesión del marcado CE asegura el cumplimiento de los requisitos exigidos por la norma UNE-EN 1337-3 y confiere al apoyo una presunción de aptitud para los usos previstos en la norma.

Esta guía, cumpliendo con el ámbito de UNE-EN 1337-1, no es aplicable a apoyos cuya función principal sea transmitir momentos, apoyos que resistan levantamientos, apoyos de puentes móviles, articulaciones de hormigón armado o dispositivos sísmicos. Como la norma UNE-EN 1337-3, esta guía es aplicable a apoyos elastoméricos con o sin dispositivos complementarios que permitan extender su campo de aplicación (tal como los elementos planos de deslizamiento cubiertos por la norma UNE-EN 1337-2 o las superficies deslizantes descritas en el apartado 4.4.4 de UNE-EN 1337-3), con dimensiones en planta de hasta 1200 x 1200 milímetros y para uso en temperaturas de operación en el intervalo de -25 °C a +50 °C<sup>1</sup> y en cortos

---

1 UNE-EN 1337-2 excluye de su ámbito superficies deslizantes sometidas a temperaturas inferiores a -35 °C o superiores a 48 °C.

periodos de hasta +70 °C. No aplica a apoyos fabricados con otros materiales elastoméricos que no tengan el caucho natural (NR) o caucho de neopreno (CR) como polímero base. Las comprobaciones incluidas a lo largo de este documento corresponden a apoyos elastoméricos tipo B, C, D y E, según la designación definida en la tabla 2 de UNE-EN 1337-3, rectangulares o circulares en planta, y cuya ubicación no se vea afectada por la acción sísmica; para otros tipos o formas de apoyos, se deberá consultar la norma UNE-EN 1337-3.

La verificación de apoyos elastoméricos afectados por la acción sísmica se explica con detalle en la *Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica* [6] [8].

Aunque la mayor parte de los criterios y procedimientos recogidos en esta guía pueden ser aplicables a cualquier tipo de estructura analizada, su ámbito de aplicación son las obras de carretera.

## 1.2 Contenido de la guía

Esta guía se estructura en nueve capítulos. En los dos primeros capítulos, Introducción y Términos, definiciones, símbolos y abreviaturas, se explica el objeto, ámbito y contenido del documento; en aras de una mayor claridad del documento, se recoge, además, la definición de todos los símbolos y abreviaturas empleados en su redacción.

En el capítulo 3, de carácter conceptual, se recogen algunos aspectos generales relativos a la concepción de los sistemas de apoyo.

El contenido de los capítulos 4 y 5 tiene como objetivo facilitar la aplicación de UNE-EN 1337-3; en el capítulo 4 se identifican las principales características establecidas por esta norma para los elementos constituyentes de los apoyos elastoméricos a nivel de dimensiones en planta, espesores y tipo de material. Este capítulo incluye, además, un resumen de los requisitos que deben cumplir tanto los apoyos como sus materiales constituyentes para garantizar la atribución del mercado CE; como complemento al capítulo 4, en el anejo AN.1 de esta guía se recogen los ensayos que permiten garantizar el cumplimiento de dichos requisitos, indicándose, además, su frecuencia y tipo de muestra a emplear en cada caso. A su vez, el capítulo 5 recoge las comprobaciones relativas a deformaciones y estabilidad exigidas por UNE-EN 1337-3.

En el capítulo 6 se demuestra la equivalencia entre las comprobaciones exigidas por UNE-EN 1337-3 y las comprobaciones exigidas por las Recomendaciones de 1982, a pesar de las diferentes condiciones de aplicación de éstas (Estado Límite Último en el primer caso, y Estado Límite de Servicio en el segundo caso).

Los capítulos 7 y 8 tienen un carácter más práctico que sus precedentes: en el capítulo 7 se dan directrices para la realización del predimensionamiento de unos apoyos elastoméricos a verificar, posteriormente, según la norma UNE-EN 1337-3; en el capítulo 8 se incluye un ejemplo de la información que deberá contener el plano de apoyos de un proyecto, imprescindible para una adecuada selección de los apoyos por parte del fabricante. Por último, en el capítulo 9 se incluye la bibliografía empleada en la redacción de esta guía.

# 2

## TÉRMINOS, DEFINICIONES, SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

### 2.1 Términos y definiciones

En esta guía se aplican los siguientes términos y definiciones:

- *Apoyo*: elemento utilizado para permitir la rotación entre dos componentes de una estructura y transmitir las cargas definidas en las especificaciones aplicables, así como para evitar los desplazamientos (apoyos fijos), permitir los desplazamientos en una sola dirección (apoyos guiados) o en todas las direcciones de un plano (apoyos libres).
- *Apoyo elastomérico*: apoyo que comprende un bloque de elastómero vulcanizado que puede ser reforzado con una o más placas de zunchado de acero.
- *Apoyo elastomérico deslizante*: apoyo laminado con una lámina de PTFE en la superficie superior, que puede vulcanizarse directamente en la capa externa del elastómero o fijarse a una placa de acero, en contacto con una placa deslizante.
- *Apoyo laminado*: apoyo elastomérico reforzado internamente con una o más placas de zunchado de acero, químicamente unidas durante la vulcanización.
- *Apoyo plano sin burbujas*: apoyo elastomérico que consiste en un bloque sólido de elastómero vulcanizado sin cavidades internas.
- *Apoyo de tira*: apoyo plano sin burbujas cuya longitud es, al menos, diez veces la anchura.
- *Coefficiente de rozamiento*: relación entre la fuerza lateral (resistente) y la fuerza vertical.

- *Elastómero*: material macromolecular que vuelve aproximadamente a sus dimensiones y forma iniciales después de una deformación considerable por un esfuerzo débil y tras cesar dicho esfuerzo. En la parte 3 de UNE-EN 1337 se define el compuesto que será utilizado para la producción de una parte o varias partes del elastómero.
- *Guía*: elemento de deslizamiento que bloquea el apoyo deslizante y le impide desplazarse a lo largo de un eje.
- *Lote*: mezcla o combinación de mezclas de elastómeros cuando se usan para la producción de apoyos o un número de componentes idénticos producidos con el mismo ajuste de la máquina.
- *Lubricante*: grasa especial utilizada para reducir el rozamiento y el desgaste de las superficies de deslizamiento.
- *Materiales de deslizamiento*: materiales que constituyen las superficies de deslizamiento.
- *Material compuesto*: material de deslizamiento utilizado en las guías.
- *Placa deslizante*: componente que sirve de apoyo y se encuentra situado inmediatamente adyacente a la superficie deslizante superior de un apoyo. Puede ser:
  - Una pieza simple de acero austenítico.
  - Una placa delgada de acero austenítico fijada en una placa de soporte de acero dulce.
  - Una placa delgada de acero austenítico unida a una capa intermedia elastomérica que se vulcaniza a la placa de soporte de acero dulce.
- *Placa soporte*: componente metálico en el que se apoyan los materiales de deslizamiento.
- *Plano de deslizamiento*: superficie metálica rígida y pulida sobre la que desliza el PTFE o el material compuesto.
- *Politetrafluoroetileno (PTFE)*: material termoplástico utilizado por su bajo coeficiente de rozamiento<sup>2</sup>.
- *Sistema de apoyo*: combinación de apoyos que aseguran conjuntamente los movimientos y la transmisión de fuerzas.
- *Soporte*: cualquier disposición constructiva que, incluyendo los apoyos, sirve para que un elemento estructural transmita esfuerzos y permita los movimientos tal como están previstos.

---

2 Politetrafluoroetileno (PTFE), comúnmente denominado *teflón* cuando es utilizado como lámina de deslizamiento.

- *Superficie de cromo duro*: elemento de soporte de acero cromado duro.
- *Superficie de deslizamiento*: combinación de un par de superficies planas o curvas, de diferentes materiales, que permite desplazamientos relativos.
- *Superficie deslizante superior*: superficie de politetrafluoroetileno (PTFE) vulcanizada sobre elastómero o encastrada en una placa de respaldo de acero, en contacto con la placa deslizante que permite desplazamientos de traslación relativos.

## 2.2 Símbolos

Para los propósitos de esta guía, son aplicables los siguientes símbolos.

### 2.2.1 Símbolos de UNE-EN 1337-3

#### 2.2.1.1 Letras latinas mayúsculas

$A$	área plana total del apoyo elastomérico [mm <sup>2</sup> ]
$A_I$	área plana efectiva del apoyo laminado (área en planta común al elastómero y a las placas de zunchado), excluyendo el área de cualquier agujero si estos no son tapados posteriormente de forma efectiva. En un apoyo sin agujeros, $A_I = A'$ [mm <sup>2</sup> ]
$A'$	área plana efectiva del apoyo laminado (área de las placas de zunchado de acero) [mm <sup>2</sup> ]
$A_r$	área plana efectiva reducida del apoyo elastomérico calculada frente a acciones horizontales mediante las ecuaciones (6) y (7), excluyendo el área de cualquier agujero si estos no son tapados posteriormente de forma efectiva [mm <sup>2</sup> ]
$D$	diámetro total del apoyo elastomérico circular [mm]
$D'$	diámetro efectivo del apoyo laminado circular (diámetro de las placas de zunchado de acero) [mm]
$E_b$	módulo de compresibilidad volumétrica [MPa]
$E_{cs}$	módulo de intersección a compresión [MPa]
$F_{x,d}$	fuerza horizontal en la dirección de la dimensión $a$ del apoyo (normalmente coincide con la dirección paralela al eje de la estructura) [kN]
$F_{y,d}$	fuerza horizontal en la dirección de la dimensión $b$ del apoyo (normalmente coincide con la dirección perpendicular al eje de la estructura) [kN]
$F_{xy,d}$	fuerza horizontal de cálculo obtenida por suma vectorial de $F_{x,d}$ y $F_{y,d}$ [N; kN]

$F_z$	fuerza vertical [N; kN]
$F_{z,d}$	fuerza vertical de cálculo [N; kN]
$G$	valor nominal del módulo de elasticidad transversal convencional o módulo de cizalla convencional del apoyo elastomérico [MPa]
$G_g$	módulo de elasticidad transversal convencional o módulo de cizalla convencional del apoyo elastomérico, determinado mediante ensayo [MPa]
$K_f$	factor de fricción
$K_h$	factor para las tensiones de tracción inducidas en las placas de zunchado
$K_L$	factor de tipo de carga
$K_p$	factor de corrección de la tensión para las placas de zunchado
$K_r$	factor de limitación de la rotación
$K_s$	factor de forma para la rigidez al giro en apoyos elastoméricos rectangulares
$M$	momento de recuperación [N.mm; kN.m]
$M_e$	valor experimental del momento de recuperación [N.mm; kN.m]
$R_d$	valor de cálculo de la resistencia
$R_{x,y}$	resultante de las fuerzas que resisten al movimiento de traslación
$S$	factor de forma de las capas de material elastómero
$S_d$	valor de cálculo de las acciones
$S_l$	factor de forma para las capas más gruesas de material elastómero
$T_b$	espesor total del apoyo, sin incluir las placas de anclaje [mm]
$T_e$	espesor total de elastómero, incluyendo las capas exteriores; no se incluyen las placas de zunchado interiores vulcanizadas con el material elastómero ni las placas de extremo adheridas en caliente al material elastómero (en caso de haberlas) [mm]
$T_q$	espesor total del material elastómero que deforma a cortante, incluyendo las capas exteriores siempre y cuando su deformación a cortante no esté restringida; no se incluyen las placas de zunchado interiores vulcanizadas con el material elastómero ni las placas de extremo adheridas en caliente al material elastómero (en caso de haberlas) [mm]

### 2.2.1.2 Letras latinas minúsculas

$a$	anchura total del apoyo elastomérico (menor dimensión del apoyo rectangular) [mm]
$a'$	anchura efectiva del apoyo laminado (anchura de las placas de zunchado de acero) [mm]
$b$	longitud total del apoyo elastomérico (mayor dimensión del apoyo rectangular) [mm]
$b'$	longitud efectiva del apoyo laminado (longitud de las placas de zunchado de acero) [mm]
$f_y$	límite elástico del acero [MPa]
$l_p$	perímetro libre de fuerza del apoyo elastomérico [mm]
$n$	número de capas de material elastómero
$t_e$	espesor efectivo de una capa de material elastómero en compresión [mm]
$t_i$	espesor de una capa de material elastómero individual en un apoyo laminado [mm]
$t_p$	espesor de la lámina de PTFE [mm]
$t_s$	espesor de la placa de zunchado de acero [mm]
$v_x$	desplazamiento máximo horizontal relativo en la dirección de la dimensión $a$ del apoyo (normalmente coincide con la dirección paralela al eje de la estructura) [mm]
$v_{x,d}$	desplazamiento máximo horizontal relativo de cálculo en la dirección de la dimensión $a$ del apoyo (normalmente coincide con la dirección paralela al eje de la estructura) debido a todos los efectos de las cargas de ELU [mm]
$v_{xm}$	deformación horizontal máxima durante el ensayo [mm]
$v_y$	desplazamiento máximo horizontal relativo en la dirección de la dimensión $b$ del apoyo (normalmente coincide con la dirección perpendicular al eje de la estructura) [mm]
$v_{y,d}$	desplazamiento máximo horizontal relativo de cálculo en la dirección de la dimensión $b$ del apoyo (normalmente coincide con la dirección perpendicular al eje de la estructura) debido a todos los efectos de las cargas de ELU [mm]
$v_{xy,d}$	desplazamiento máximo horizontal relativo de cálculo obtenido por la suma vectorial de $v_{x,d}$ y $v_{y,d}$ [mm]
$v_z$	movimiento/deformación vertical [mm]
$v_{z,d}$	movimiento/deformación vertical de cálculo [mm]

### 2.2.1.3 Letras griegas

$\alpha$	ángulo de rotación del apoyo elastomérico [rad]
$\alpha_{a,d}$	rotación angular de cálculo según un eje horizontal coincidente con la dirección en la que se mide la anchura $a$ de un apoyo elastomérico rectangular [rad]
$\alpha_{b,d}$	rotación angular de cálculo según un eje horizontal coincidente con la dirección en la que se mide la longitud $b$ de un apoyo elastomérico rectangular [rad]
$\alpha_d$	rotación angular de cálculo a lo largo del diámetro $D$ de un apoyo circular [rad]
$\gamma_m$	coeficiente parcial para la resistencia del material elastómero
$\varepsilon_{a,d}$	deformación tangencial de cálculo en las capas de elastómero debido a la rotación angular
$\varepsilon_{c,d}$	deformación tangencial de cálculo en las capas de elastómero debido a las cargas de compresión
$\varepsilon_{q,d}$	deformación tangencial por cortante de cálculo en las capas de elastómero debido a los desplazamientos horizontales
$\varepsilon_{t,d}$	deformación tangencial de cálculo nominal total en las capas de elastómero
$\varepsilon_{u,k}$	valor máximo característico permitido para la deformación tangencial total en las capas de elastómero
$\varepsilon_{u,d}$	valor máximo de cálculo permitido para la deformación tangencial total en las capas de elastómero
$\mu_e$	coeficiente de rozamiento para el material elastómero
$\sigma_m$	tensión de compresión media [MPa]
$\sigma_c$	tensión de compresión [MPa]

## 2.2.2 Símbolos de UNE-EN 1337-2

### 2.2.2.1 Letras latinas mayúsculas

$R_{y,5i}$	rugosidad media de la superficie [ $\mu\text{m}$ ]
------------	--

### 2.2.2.2 Letras latinas minúsculas

$t_p$	espesor de la lámina de PTFE [mm]
-------	-----------------------------------

### 2.2.2.3 Letras griegas

$\mu_{max}$  coeficiente de rozamiento

## 2.2.3 Símbolos de las Recomendaciones de 1982

### 2.2.3.1 Letras latinas mayúsculas

$A$  área del apoyo [mm<sup>2</sup>]

$F_z$  máxima carga vertical en el apoyo [kN]

$G$  módulo de elasticidad transversal o módulo de cizalla para deformaciones lentas (diferido) [MPa]

$H$  fuerza horizontal [kN]

$H_2$  fuerza horizontal instantánea [kN]

$N$  fuerza vertical [kN]

$S$  factor de forma de una capa de material elastómero

$T$  espesor total de elastómero (espesor neto) [mm]

### 2.2.3.2 Letras latinas minúsculas

$a$  dimensión mínima en planta del apoyo elastomérico [mm]

$b$  dimensión máxima en planta del apoyo elastomérico [mm]

$e$  espesor de las placas de zunchado [mm]

$f$  coeficiente de rozamiento

$n$  número de capas internas de material elastómero

$t$  espesor de las capas internas de material elastómero [mm]

$u_1$  desplazamiento del apoyo elastomérico por deformaciones lentas [mm]

$u_2$  desplazamiento del apoyo elastomérico por fuerzas instantáneas [mm]

### 2.2.3.3 Letras griegas

$\alpha_T$	giro de eje horizontal total a absorber por el apoyo elastomérico [rad]
$\alpha_o$	giro de eje horizontal adicional (por defectos de instalación) [rad]
$\alpha_l$	giro de eje horizontal obtenido en los cálculos [rad]
$\gamma$	ángulo de distorsión del apoyo frente a deformaciones tangenciales [rad]
$\varepsilon$	deformación tangencial del apoyo
$\varepsilon_N$	deformación tangencial producida por las cargas verticales
$\varepsilon_{H\ total}$	deformación tangencial producida por las fuerzas horizontales y deformaciones impuestas
$\varepsilon_{H1}$	deformación tangencial producida por las deformaciones lentas
$\varepsilon_{H2}$	deformación tangencial producida por las fuerzas instantáneas
$\varepsilon_{\alpha\ total}$	deformación tangencial producida por los giros
$\sigma_e$	límite elástico del acero de las placas de zunchado [MPa]
$\sigma_m$	tensión vertical media de compresión [MPa]
$\sigma_{max}$	tensión vertical máxima de compresión [MPa]
$\tau$	tensión tangencial [MPa]
$\tau_N$	tensión tangencial producida por las cargas verticales [MPa]
$\tau_{H\ total}$	tensión tangencial producida por las fuerzas horizontales y deformaciones impuestas [MPa]
$\tau_{H1}$	tensión tangencial producida por deformaciones lentas [MPa]
$\tau_{H2}$	tensión tangencial producida por deformaciones rápidas [MPa]
$\tau_{\alpha\ total}$	tensión tangencial producida por los giros [MPa]

## 2.2.4 Símbolos adicionales (apartados 5.1.1 y 7)

### 2.2.4.1 Letras latinas mayúsculas

$A$	área total en planta [mm <sup>2</sup> ]
$K$	rigidez horizontal del apoyo frente a acciones horizontales [kN/m]
$F$	fuerza horizontal aplicada al apoyo [kN]
$F''_{x,d}$	fuerza horizontal instantánea de cálculo en la dirección de la dimensión $a$ del apoyo [kN]
$F''_{y,d}$	fuerza horizontal instantánea de cálculo en la dirección de la dimensión $b$ del apoyo [kN]
$G$	módulo de elasticidad transversal o módulo de cizalla [KPa]

### 2.2.4.2 Letras latinas minúsculas

$v$	desplazamiento horizontal [mm]
$v'_{x,d}$	desplazamiento horizontal relativo de cálculo en la dirección de la dimensión $a$ del apoyo (normalmente coincide con la dirección paralela al eje de la estructura) debido a las deformaciones impuestas de ELU [mm]
$v''_{x,d}$	desplazamiento horizontal relativo de cálculo en la dirección de la dimensión $a$ del apoyo (normalmente coincide con la dirección paralela al eje de la estructura) debido a las fuerzas instantáneas de ELU [mm]
$v'_{y,d}$	desplazamiento horizontal relativo de cálculo en la dirección de la dimensión $b$ del apoyo (normalmente coincide con la dirección perpendicular al eje de la estructura) debido a las deformaciones impuestas de ELU [mm]
$v''_{y,d}$	desplazamiento horizontal relativo de cálculo en la dirección de la dimensión $b$ del apoyo (normalmente coincide con la dirección perpendicular al eje de la estructura) debido a las fuerzas instantáneas de ELU [mm]

## 2.3 Abreviaturas

En esta guía se emplean las siguientes abreviaturas

- CND: comportamiento no determinado
- CPF: control de producción en fábrica
- CR: caucho de policloropreno
- MS: *Member State* (Estado Miembro)

- NR: caucho natural
- Pphm: partes por 100 millones en volumen
- PTFE: politetrafluoroetileno
- ELS: Estado Límite de Servicio
- ELU: Estado Límite Último

## 2.4 Equivalencia de términos entre la normativa y la guía

Las diferentes normativas utilizan diferentes términos para un mismo símbolo. Se muestra a continuación la equivalencia de los principales términos, priorizando el uso del término según los Eurocódigos.

Tabla 1 Equivalencia de términos entre la normativa y la guía

Parámetro	Guía	UNE-EN 1337	UNE-EN 1998-2	Otros términos comunes
$G$	Módulo de elasticidad transversal	Módulo de cizalla	Módulo de elasticidad transversal	Módulo de deformación (o rigidez) transversal
$\varepsilon$	Deformación tangencial	Deformación de diseño	Deformación tangencial	-
-	Acción cortante	Acción de cizalla	Acción cortante	-
-	Placas de zunchado	Placas de refuerzo	Chapas de refuerzo	-

# 3

## ASPECTOS GENERALES RELATIVOS A LA CONCEPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE APARATOS DE APOYO

En los siguientes apartados se recogen algunos criterios a tener en cuenta en la concepción de los sistemas de aparatos de apoyo. De forma complementaria, se recomienda la consulta de la *Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera* [4] y la *Monografía 18. Conservación de aparatos de apoyo, juntas y drenaje en puentes* [1] de ACHE.

### 3.1 Elección del tipo de vinculación entre tablero y subestructura

A la hora de elegir el tipo de vinculación entre tablero y subestructura se deberá buscar el sistema más sencillo que permita cumplir todas las condiciones de resistencia y estabilidad exigidas por la normativa. Si bien se pueden considerar los apoyos elastoméricos como un sistema de apoyo sencillo y que presenta, en general, un buen comportamiento (siempre y cuando se cumplan los criterios exigidos por la normativa de referencia y se haya realizado su correcta instalación), la utilización de estos elementos implica una labor de inspección, mantenimiento y, eventualmente, sustitución que, siempre que sea posible, se debería evitar. Como alternativa, se podría recurrir a soluciones en las que se pueda prescindir de su utilización como, por ejemplo, soluciones integrales (sin apoyos) o semi-integrales, empotrando las pilas en el tablero y disponiendo apoyos únicamente en los estribos.

### 3.2 Vida útil de los aparatos de apoyo

En el proyecto de una estructura es importante tener en cuenta las diferentes vidas útiles de los elementos que la constituyen, ya que su funcionalidad puede llegar a verse comprometida por la utilización de elementos con una vida útil inferior a la de aquella. Aunque en España las estructuras se proyectan, en general, para una vida útil de 100 años, la vida útil

de los aparatos de apoyo no supera, habitualmente, los 25 años. Por ello, es importante garantizar que estos pueden ser sustituidos de forma segura y sencilla en caso de deterioro. La hipótesis de sustitución de los aparatos de apoyo debe tenerse en cuenta a la hora de realizar el proyecto tanto en el dimensionamiento del tablero, como de las pilas, estribos y cimentaciones, debiéndose reforzar adecuadamente las zonas que servirán de apoyo a los elementos o estructuras auxiliares que permitirán el levantamiento del tablero.

**Comentario:** Si bien no es una práctica habitual en España, en otros países es común el dimensionamiento de los aparatos de apoyo para la totalidad de los desplazamientos reversibles (como, por ejemplo, los introducidos por las acciones térmicas) pero sólo un porcentaje de los desplazamientos irreversibles (reológico) con la condición de que, a los 12 meses de construcción del tablero (por ejemplo, se realice un gateo de recuperación de la distorsión impuesta hasta el momento. Esta práctica permite obtener apoyos de menor altura, que inician su vida de servicio con menores deformaciones impuestas y, por tanto, prolongan su vida útil. Este criterio de dimensionamiento debe ser previamente consensuado con la propiedad, y el gateo de recuperación tenido en cuenta en el presupuesto de la obra.

### 3.3 Reacciones ascendentes en apoyos

En general, siempre que sea posible, conviene evitar disposiciones que impliquen reacciones ascendentes en los aparatos de apoyo. En el caso de que éstas no se puedan evitar, se deberían estudiar alternativas que eviten el levantamiento del tablero en ELS; en ELU se puede valorar, en cada caso particular, si se pueden o no admitir levantamientos en alguno de los apoyos, siempre y cuando la estructura sea estable y tenga mecanismos de reparto de reacciones entre el resto de los apoyos, que garanticen la seguridad y estabilidad de la estructura. La disposición de contrapesos, o la disposición de apoyos invertidos con un sistema de rios-tras/topes que evite el levantamiento, son soluciones que permiten un mejor mantenimiento que las soluciones ancladas mediante pretensado vertical. De cualquier manera, cualquier sistema anti-levantamiento requerirá fácil acceso para su inspección y mantenimiento y eventual sustitución.

### 3.4 Apoyos con superficies deslizantes

En algunos casos, puede ser recomendable la disposición de un faldón o fuelle de protección que evite la entrada de suciedad en los apoyos con superficies deslizantes; este deberá ser fácilmente retirable para permitir su inspección y mantenimiento. Siempre que sea necesario el control de los desplazamientos en una estructura, se podrá disponer de una regla de control de movimientos de fácil lectura y que permita marcar el punto inicial de montaje. El coste adicional que supone la instalación de cualquiera de los dos elementos mencionados deberá tenerse en cuenta en el presupuesto de la obra.

### 3.5 Colocación de los aparatos de apoyo en obra

Los planos de contacto, superior e inferior, entre apoyo y estructura deben ser, preferentemente, horizontales. La horizontalidad de estos planos se consigue mediante la ejecución de mesetas de nivelación de hormigón o la colocación de cuñas metálicas entre apoyo y tablero o subestructura.

En estructuras con pendiente longitudinal significativa, la disposición de cuñas o mesetas de nivelación permite un contacto y distribución de tensiones uniforme entre aparato de apoyo y tablero en el momento de su colocación. De lo contrario, los giros adicionales introducidos en el apoyo deben ser tenidos en cuenta en su dimensionamiento. La disposición de cuñas o mesetas de nivelación permite evitar que el contacto entre tablero y apoyo se materialice sólo en una parte de este.

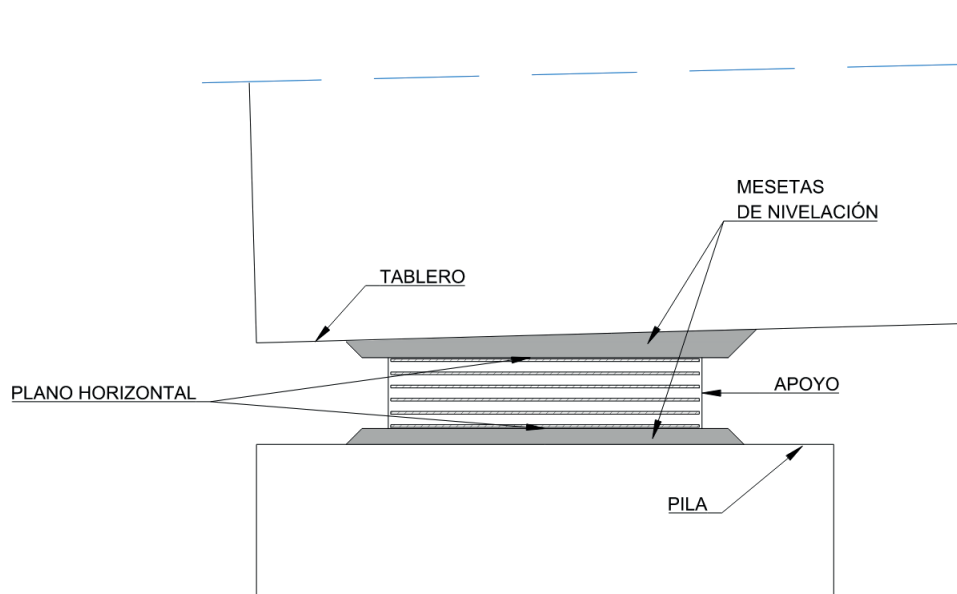


Figura 1 Horizontalidad de los planos de contacto de un aparato de apoyo

### 3.6 Consideraciones relativas a apoyos en fases intermedias

En el caso de procesos constructivos ejecutados por fases, con bloqueos provisionales y cambios en la posición del punto fijo del puente, o procesos que modifiquen o adapten el proceso constructivo previsto originalmente en el proyecto, será necesario realizar un análisis detallado de la secuencia real de ejecución, revisando los movimientos previstos en los apoyos, y valorando la necesidad de considerar holguras adicionales en función del propio proceso de ejecución y de la temperatura de colocación de cada apoyo.

En apoyos que, en fases temporales, tengan reacciones verticales pequeñas concomitantes con giros importantes (situación que puede ser habitual en los apoyos de estribos de estructuras con tableros relativamente flexibles, como puentes metálicos o mixtos), puede llegar a ser necesario plantearse el empleo de apoyos temporales que se sustituyan por los definitivos una vez la estructura esté concluida (o en estado muy avanzado de ejecución).



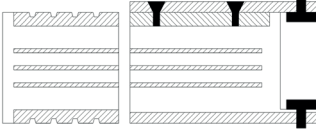
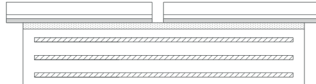
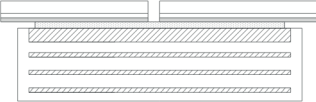

# 4

## APOYOS ELASTOMÉRICOS CONTEMPLADOS POR LA NORMA UNE-EN 1337-3

### 4.1 Apoyos elastoméricos. Tipos

El proyecto de los apoyos elastoméricos de una estructura debe estar de acuerdo con uno de los tipos o combinación de tipos contemplados en la tabla 2 de UNE-EN 1337-3:

Tabla 2 Diferentes tipos de secciones transversales de apoyos (tabla 2 de UNE-EN 1337-3)

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 solo una placa de zunchado de acero	
Tipo C: apoyo laminado con placas de acero externas (encastrado en hormigón o que permite su fijación (anclado)) NOTA: El esquema muestra ejemplos de algunos métodos de fijación; pueden utilizarse otros métodos mediante acuerdo	
Tipo D: tipo B con lámina de PTFE unida al elastómero	
Tipo E: tipo C con una placa externa unida al elastómero y la lámina de PTFE encastrada en el acero	
Tipo F: apoyos planos sin burbujas y apoyos de tira	

NOTA: Pueden combinarse las características de los tipos anteriores.

Los diferentes tipos de apoyos elastoméricos pueden combinarse para extender su campo de utilización, como podría ser la aplicación de un sistema de deslizamiento, temporal o permanente, o un sistema de restricción en cualquiera de las direcciones.

Los criterios y comprobaciones incluidos en esta 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 dimensionamiento de otro tipo de aparatos de apoyo o con otras formas en planta, se debe consultar el resto de partes de la norma UNE-EN 1337.

## 4.2 Apoyos elastoméricos. Características

Para el proyecto de apoyos elastoméricos tipo B, la norma UNE-EN 1337-3 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.

Tabla 3 Tamaños normalizados para los apoyos tipo B (tabla 3 de UNE-EN 1337-3)

Dimensiones <i>a x b o D</i> [mm]	Espesor [mm]						Número de capas, <i>n</i>	
	Apoyo sin carga		Elastómero total <sup>(a)</sup>		Capas de elastómero	Placas de zunchado	Mín.	Máx.
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.				
100 x 150	30	41	16	24	8	3	2	3
100 x 200	30	41	16	24	8	3	2	3
150 x 200	30	52	16	32	8	3	2	4
∅ 200	30	52	16	32	8	3	2	4
150 x 250	30	52	16	32	8	3	2	4
150 x 300	30	52	16	32	8	3	2	4
∅ 250	30	52	16	32	8	3	2	4
200 x 250	41	74	24	48	8	3	3	6
200 x 300	41	74	24	48	8	3	3	6
200 x 350	41	74	24	48	8	3	3	6
∅ 300	41	74	24	48	8	3	3	6
200 x 400	41	74	24	48	8	3	3	6
250 x 300	41	85	24	56	8	3	3	7
∅ 350	41	85	24	56	8	3	3	7
250 x 400	41	85	24	56	8	3	3	7
300 x 400	57	105	36	72	12	4	3	6
∅ 400	57	105	36	72	12	4	3	6
300 x 500	57	105	36	72	12	4	3	6
∅ 450	57	105	36	72	12	4	3	6
300 x 600	57	105	36	72	12	4	3	6
350 x 450	57	121	36	84	12	4	3	7
∅ 500	57	121	36	84	12	4	3	7
400 x 500	73	137	48	96	12	4	4	8
∅ 550	73	137	48	96	12	4	4	8
400 x 600	73	137	48	96	12	4	4	8

(Continuación)

Dimensiones $a \times b$ o $D$ [mm]	Espesor [mm]						Número de capas, $n$	
	Apoyo sin carga		Elastómero total <sup>(a)</sup>		Capas de elastómero	Placas de zunchado	Mín.	Máx.
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.				
450 x 600 $\varnothing$ 600	73 73	153 153	48 48	108 108	12 12	4 4	4 4	9 9
500 x 600 $\varnothing$ 650	73 73	169 169	48 48	120 120	12 12	4 4	4 4	10 10
600 x 600 $\varnothing$ 700	94 94	199 199	64 64	144 144	16 16	5 5	4 4	9 9
600 x 700 $\varnothing$ 750	94 94	199 199	64 64	144 144	16 16	5 5	4 4	9 9
700 x 700 $\varnothing$ 800	94 94	220 220	64 64	160 160	16 16	5 5	4 4	10 10
700 x 800 $\varnothing$ 850	94 94	220 220	64 64	160 160	16 16	5 5	4 4	10 10
800 x 800 $\varnothing$ 900	110 110	285 285	80 80	220 220	20 20	5 5	4 4	10 10
900 x 900	110	285	80	220	20	5	4	11

<sup>a</sup> Espesor total sin cubierta superior e inferior de 2,5 mm.

En la figura siguiente se incluye la sección transversal típica de un apoyo elastomérico tipo B, así como la nomenclatura empleada tanto en esta guía como en UNE-EN 1337-3 para designar cada uno de sus elementos o características. En esta figura,  $a$ ,  $b$ ,  $a'$  y  $b'$  corresponden a dimensiones de apoyos rectangulares y  $D$  y  $D'$  a dimensiones de apoyos circulares.  $T_b$  es el espesor total del apoyo (también denominado espesor bruto),  $t_s$  es el espesor de las placas de zunchado de acero y  $t_i$  es el espesor de las capas de material elastómero (la suma de todos los espesores  $t_i$  también se denomina espesor neto).

$a$  siempre corresponde con la dimensión menor de un apoyo rectangular; esta dimensión se dispone, normalmente, alineada con el eje de la estructura, es decir, en la dirección longitudinal.

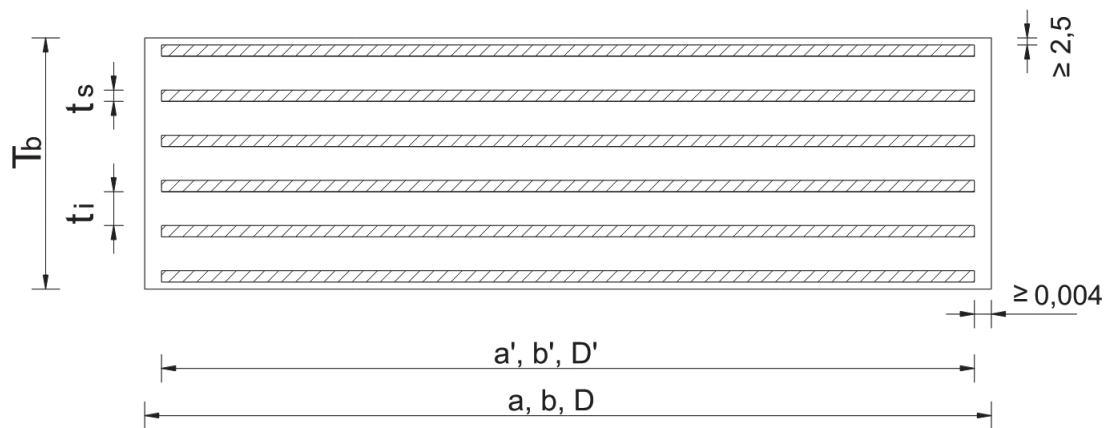


Figura 2 Sección transversal típica de un apoyo elastomérico tipo B

De forma complementaria a la información recogida en la tabla 3 de UNE-EN1337-3, en los apartados siguientes se recogen criterios adicionales para la definición de las características de los distintos elementos que componen un apoyo elastomérico.

### 4.2.1 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 (tabla 18 de esta guía). La norma UNE-EN 1337-3 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 4.4.1 de esta norma, está permitida una combinación con hasta 5 % de otro polímero, pero no está permitido el empleo de caucho vulcanizado recuperado o molido. Los apoyos de caucho natural pueden protegerse mediante un recubrimiento de polí-cloropreno, vulcanizándose ambas partes simultáneamente.

Según el apartado 5.3.2 de UNE-EN 1337-3, 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. Los tamaños normalizados recomendados se recogen en la tabla 3 de UNE-EN 1337-3.

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.

**Comentario:** En apoyos tipo B, la práctica habitual es disponer de capas externas de elastómero de 2,5 milímetros de espesor.

### 4.2.2 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), que son más gruesas que las de zunchado interiores.

Como se indica en el apartado 4.4.3.1 de UNE-EN 1337-3, las placas de zunchado internas de acero de los apoyos laminados deben ser de acero de clase S235 (UNE-EN 10025), u otro acero con un alargamiento a la rotura mínimo equivalente. El espesor de estas placas, siempre igual o superior a 2 milímetros, debe ser verificado de acuerdo con el apartado 5.3.3.5 de UNE-EN 1337-3 (véase el apartado 5.2.2 de esta guía). Los tamaños normalizados recomendados se recogen en la tabla 3 de UNE-EN 1337-3.

Si los apoyos empleados son tipo C (véase la tabla 2), 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.

### 4.2.3 Superficies deslizantes

Un apoyo elastomérico deslizante está compuesto, generalmente, por los siguientes elementos:

- Parte inferior del apoyo:
  - Elastómero y placas de acero (elementos comunes a los apoyos tipo B).
  - Lámina de teflón (PTFE) encastrada en una placa de acero (apoyos tipo E, véase la figura 4) o vulcanizada sobre elastómero (apoyos tipo D, véase la figura 3). Ambos sistemas se tratan en el apartado 4.4.4 de UNE-EN 1337-3.
- Parte superior del apoyo:
  - Lámina de acero austenítico (inoxidable), según lo indicado en la tabla 9 de UNE-EN 1337-2.
  - Capa de elastómero (si corresponde).
  - Placa de respaldo (acero).

La superficie deslizante de los apoyos tipo D deberá utilizarse únicamente para acomodar movimientos irreversibles (fluencia, retracción, etc.). Para todas las consideraciones relativas a los apoyos tipo D y E no incluidas en este apartado (o en el apartado 4.4.4 de UNE-EN 1337-3), se deberá consultar la parte 2 de UNE-EN 1337, Elementos de deslizamiento.

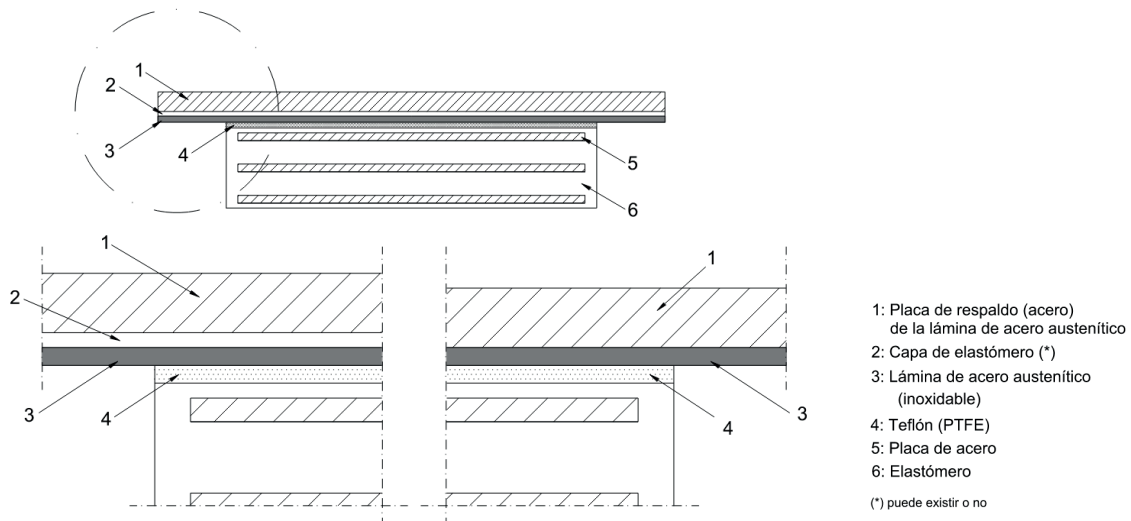


Figura 3 Apoyo tipo D: lámina PTFE vulcanizada sobre el elastómero

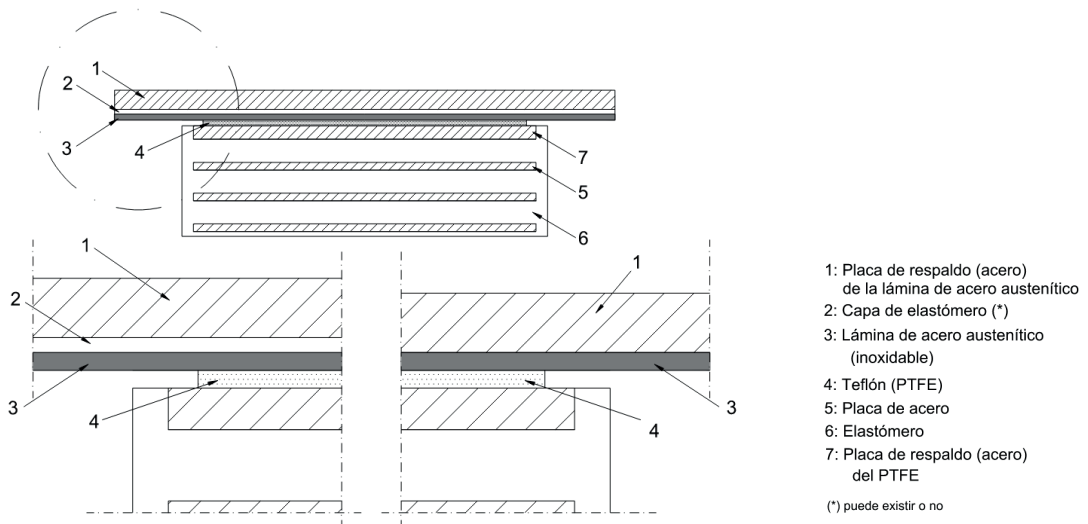


Figura 4 Apoyo tipo E: lámina PTFE encastrada en placa de acero

Según el apartado 6.1 de UNE-EN 1337-2, las superficies deslizantes deben estar lubricadas (las propiedades del lubricante se definen en el apartado 5.8 de UNE-EN 1337-2) y, en el caso particular de superficies deslizantes planas, deben estar compuestas por PTFE alveolado y placas de acero austenítico (véase la tabla 9 de UNE-EN 1337-2). Según el apartado 5.2.1 de UNE-EN 1337-2, la materia prima para las láminas de PTFE debe ser el politetrafluoroetileno puro no sinterizado, sin materiales regenerados o de relleno. Las propiedades del PTFE deben estar de acuerdo con lo recogido en los apartados 4 y 5 de UNE-EN 1337-2. Según el apartado 6.2.2 de la misma norma, la unión de las láminas de PTFE al elastómero (en los apoyos tipo D) debe ser materializada mediante vulcanización.

Las placas de acero austenítico deben cumplir las especificaciones del apartado 5.4 de UNE-EN 1337-2, en el que se especifica que se debe emplear acero del tipo 1.4401+2B o 1.4404+2B, conforme a la norma EN 10088-2, y que la superficie de contacto debe estar rectificadas y, si es necesario, pulida a máquina. En este mismo apartado también se indica que, tras el tratamiento de la superficie, la rugosidad  $R_{y,5i}$  no debe exceder  $1 \mu\text{m}$ , según la norma EN ISO 4287, y la dureza deberá estar comprendida entre 150 HV1 y 220 HV1, según se indica en la norma EN ISO 6507-2.

#### 4.2.3.1 Adherencia de las láminas de acero austenítico para apoyos tipo D y tipo E

Los posibles métodos de fijación de las láminas de acero austenítico a las placas de respaldo están definidos en la tabla 13 de UNE-EN 1337-2. Uno de estos métodos es el indicado en el apartado 4.4.4.1 de UNE-EN 1337-3, según el cual las láminas de acero austenítico se unen a la placa de respaldo por medio de una capa de elastómero. Según el apartado 4.4.4.1 de UNE-EN 1337-3, en este caso, deben satisfacerse los siguientes requisitos:

- Espesor de la placa de respaldo: véase el apartado 6.9 de la parte 2 de UNE-EN 1337.
- Espesor del elastómero, si está presente entre la placa de respaldo y la lámina de acero austenítico: 2,5 milímetros  $\pm$  0,5 milímetros.
- Espesor mínimo de la lámina de acero austenítico: 2 milímetros.

#### 4.2.3.2 Superficie deslizante superior de los apoyos tipo D

Según el apartado 4.4.4.2 de UNE-EN1337-3, la superficie deslizante de los apoyos tipo D debe satisfacer los siguientes requisitos:

- Espesor mínimo de la lámina de PTFE:  $t_p > 1,5$  milímetros.
- Espesor máximo de la lámina de PTFE:  $t_p < 2,5$  milímetros.
- Espesor del elastómero bajo el PTFE: espesor máximo de 3 milímetros y espesor mínimo de 0,5 milímetros (en cualquier punto).
- Profundidad de las cavidades (si aplica): profundidad mínima de 1 milímetro y profundidad máxima de 2,5 milímetros.

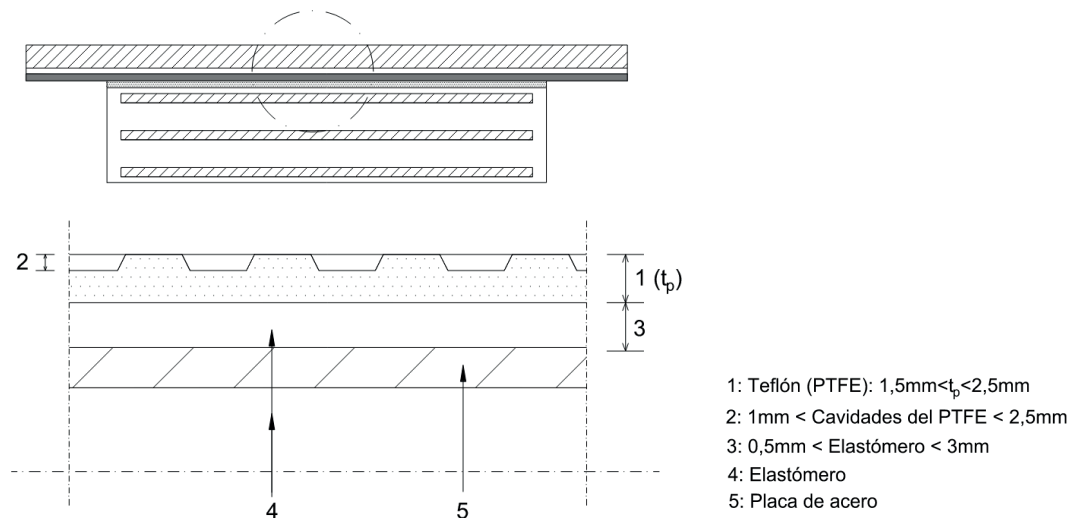


Figura 5 Detalle de las capas externas de un apoyo tipo D (figura 1 de UNE-EN 1337-3)

#### 4.2.3.3 Cavidades de lubricación de los apoyos tipo D

Según el apartado 4.4.4.3 de UNE-EN1337-3, las cavidades de retención de lubricación en el PTFE deben cumplir los siguientes requisitos:

- Cuando se producen las cavidades por presión en caliente, la temperatura del proceso de vulcanización no debe exceder los 200 °C.

- El área en planta de las cavidades debe estar entre el 20 % y el 30 % de la superficie total del apoyo de PTFE incluyendo el área de las cavidades.
- El volumen de las cavidades no debe ser menor del 10 % ni mayor del 20 % del volumen de PTFE, incluyendo el volumen de las cavidades.
- Las láminas de PTFE sin cavidades, como material deslizante para apoyos tipo D, deben utilizarse solamente si así se especifica por el proyectista.

#### 4.2.3.4 Coeficiente de rozamiento

Según el apartado 4.4.4.4 de UNE-EN 1337-3, el coeficiente de rozamiento de los apoyos elastoméricos deslizantes debe determinarse de la misma forma y debe satisfacer los mismos requisitos que otros elementos deslizantes y, por tanto, se debe consultar la parte 2 de UNE-EN 1337, Elementos deslizantes.

Los criterios relativos al coeficiente de rozamiento de elementos deslizantes se tratan en el apartado 6.7 de UNE-EN 1337-2, en el que se recoge una tabla (tabla 11) con valores del coeficiente de fricción en función de la presión de contacto en el apoyo y del tipo de material deslizante. Los valores de esta tabla son válidos únicamente para PTFE alveolado y lubricado; en las zonas en las que la temperatura real mínima del apoyo no baje de -5 °C, los coeficientes de rozamiento indicados pueden multiplicarse por un factor de 2/3.

Tabla 4 Coeficientes de rozamiento de elementos deslizantes,  $\mu_{max}$  (tabla 11 de UNE-EN 1337-2)

Presión de contacto [MPa]	≤5	10	20	≥30
PTFE alveolado/acero austenítico o de cromo duro	0,08	0,06	0,04	0,03 0,025 <sup>(a)</sup>
PTFE alveolado/aleación de aluminio anodizado	0,12	0,09	0,06	0,045 0,038 <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Estos valores se aplican a la resistencia al rozamiento de superficies de deslizamiento curvas.

También según el apartado 6.7 de UNE-EN 1337-2, los valores de su tabla 11 no deben aplicarse cuando existan acciones dinámicas elevadas como las que pueden producirse, por ejemplo, en regiones sísmicas. En el mismo apartado de UNE-EN 1337-2, se indica que se pueden obtener valores intermedios a los indicados en su tabla 11 mediante interpolación o mediante la fórmula recogida en su anejo B.

**Comentario:** En cualquier caso, los valores del coeficiente de rozamiento deben ser confirmados por el fabricante.

#### 4.2.4 Módulo de elasticidad transversal o módulo de cizalla, $G$

El módulo de elasticidad transversal del elastómero depende de diversos factores como la temperatura de operación, la edad o calidad de la goma.

**Comentario:** Entre otros factores, el módulo de elasticidad transversal del elastómero depende de la temperatura de operación. Para bajas temperaturas, el módulo de elasticidad transversal es más alto. En zonas en las que la temperatura ambiente pueda estar por debajo de los  $-25\text{ °C}$  (punto de cristalización del policloropreno) el valor del módulo de elasticidad transversal del apoyo se debería ajustar en conformidad.

Según el apartado 5.3.3.2 de UNE-EN1337-3, a efectos de cálculo, el valor de  $G$  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  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , 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,  $0,9\text{ MPa}$  sería un valor adecuado para el módulo de elasticidad transversal a asumir en los cálculos. Este valor deberá ser, posteriormente, confirmado por el fabricante.

**Comentario:** Si bien no se define explícitamente cual sería el incremento de la rigidez del apoyo en estos casos, en la nota del apartado 5.3.3, UNE-EN1337-3 indica que "El módulo de elasticidad transversal nominal puede modificarse por los efectos de carga dinámicos (estructuras de ferrocarriles, terremoto), dependiendo de las frecuencias de excitación (generalmente frecuencias  $> 6\text{ Hz}$ ) y de la amplitud del movimiento: el factor, que puede variar para diferentes compuestos, puede obtenerse experimentalmente". Como viene siendo práctica habitual en el proyecto de puentes y de acuerdo con varias referencias bibliográficas [2] y [9], cuando actúan en la estructura acciones rápidas (frenado, fuerza centrífuga, viento, etc.), y en ausencia de valores del fabricante o de ensayos, se aconseja adoptar un valor superior del módulo de elasticidad transversal de, aproximadamente, dos veces el módulo de elasticidad transversal para deformaciones lentas, es decir,  $1,8\text{ MPa}$ .

El valor del módulo de elasticidad transversal para deformaciones lentas (fluencia, retracción, dilataciones y contracciones térmicas) de  $0,9\text{ MPa}$  y de dos veces este valor para acciones rápidas, debe tenerse en cuenta tanto a la hora de la realización de las comprobaciones de los apoyos como en la obtención de la distribución de fuerzas y desplazamientos en la estructura.

#### 4.2.5 Módulo de compresibilidad volumétrica, $E_b$

En su apartado 5.3.3.7, UNE-EN1337-3 indica que el valor del módulo de compresibilidad volumétrica,  $E_b$ , utilizado generalmente es de  $2000\text{ MPa}$ .

**Comentario:** Véase también el apartado 5.2.4 de esta guía.

### 4.3 Conformidad de los apoyos elastoméricos con la norma UNE-EN 1337-3

El nivel de calidad de un apoyo elastomérico se define, fundamentalmente, en función del cumplimiento de unos determinados requisitos que se establecen, principalmente, en términos de aptitud al uso de los apoyos completos; estos requisitos se complementan con las especificaciones de los materiales a partir de las cuales el producto debe fabricarse.

En el caso de los apoyos elastoméricos, los requisitos a cumplir se definen en los capítulos 4 y 5 de la norma UNE-EN1337-3: requisitos funcionales, requisitos de aptitud al uso para apoyos completos y requisitos de aptitud del material. De forma sucinta:

- Los requisitos funcionales definen las funciones a desempeñar por el apoyo. Tal como se indica en el apartado 4.2 de UNE-EN 1337-3, los apoyos elastoméricos deben proyectarse y fabricarse para acomodar correctamente los movimientos de traslación en cualquier dirección, los movimientos de rotación sobre cualquier eje y transmitir las fuerzas de cálculo entre componentes estructurales, en condiciones medioambientales y de mantenimiento normales durante la vida útil para la que han sido proyectados. Cuando éstos se encuentren sometidos a condiciones medioambientales y de aplicación excepcionales (inmersión en agua, exposición a aceite, productos químicos o radiación o instalación en una zona donde exista un riesgo de incendio importante) se deberá atender a lo recogido en la parte 9, Protección, de UNE-EN 1337 y definir adecuadamente dichas condiciones.
- Los requisitos de aptitud al uso para apoyos completos definen qué características deben poseer los apoyos completos (elastómero + placas de acero).
- Los requisitos de aptitud del material definen qué características deben poseer los materiales que constituyen el apoyo elastomérico (elastómero, placas de acero, etc., de forma individual).

Para asegurar el nivel de calidad apropiado de un apoyo elastomérico, también es necesaria la referencia a las siguientes partes de la norma UNE-EN 1337:

- Parte 1: Reglas generales de proyecto
- Parte 2: Elementos de deslizamiento
- Parte 8: Apoyos guiados y de bloqueo
- Parte 9: Protección
- Parte 10: Inspección y mantenimiento
- Parte 11: Transporte, almacenamiento e instalación

### 4.3.1 El mercado CE

En territorio europeo, 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 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 del mercado CE se establecen en el anexo ZA de la norma UNE-EN 1337-3, que tiene el mismo objeto y campo de aplicación que ésta. En el anexo ZA de UNE-EN 1337-3 se define:

- Cuáles son las prestaciones del apoyo a controlar.
- Cómo se evalúa la conformidad de los apoyos en lo relativo a dichas prestaciones. Para la evaluación de la conformidad de los apoyos, se definen varios *sistemas de evaluación de conformidad* que, de forma sucinta, distribuyen las tareas asociadas a cada sistema de evaluación entre fabricante y organismo notificado.

Las prestaciones del apoyo a controlar, independientes del sistema de evaluación a aplicar, se definen en las tablas ZA.1 de UNE-EN 1337-3 pertinentes, en función de si los apoyos incluyen o no elementos de deslizamiento. Estas prestaciones incluyen, entre otros, los requisitos funcionales, de aptitud al uso para apoyos completos y de aptitud del material recogidos en los capítulos 4 y 5 de UNE-EN 1337-3. En la tabla a continuación se resume la información recogida en las tablas ZA.1.a, ZA.1.b y ZA.1.c de UNE-EN 1337-3.

Tabla 5 Prestaciones a controlar para garantizar la conformidad de un apoyo con el anexo ZA de UNE-EN1337-3 (resumen de las tablas ZA.1.a, ZA.1.b y ZA.1.c)

Requisitos	Capítulo(s) requisito de la norma UNE-EN1337-3 y otra(s) norma(s) europea(s):	Apoyos elastoméricos tipo A, B, C y F sin superficies o elementos de deslizamiento <sup>(a)</sup>	Apoyos elastoméricos tipo D con superficies de deslizamiento <sup>(a)</sup>	Apoyos elastoméricos tipo E con superficies de deslizamiento <sup>(a)</sup>	Nivel(es) o clase(es) establecidos
		Usos previstos: en edificios y obras de ingeniería civil			
Capacidad de carga del apoyo <sup>(b)</sup>	UNE-EN1337-3				ninguno <sup>(h)</sup>
	4.3.1 Módulo de elasticidad transversal	x	x	x	
	4.3.2 Resistencia de la unión a cortante	x	x	x	
	4.3.3 Rigidez a compresión	x	x	x	
	4.3.4 Resistencia a la carga repetida en compresión	x	x	x	
	4.4.3 Placas de zunchado de acero	x	x	x	
	5.1 Reglas de proyecto-generalidades	x	x	x	
	5.3.3 Bases de proyecto	x	x	x	
	5.4 Apoyos planos sin burbujas	x	-	-	
	5.5 Apoyos de tira	x	-	-	
Capacidad de rotación <sup>(c)</sup>	UNE-EN1337-3				ninguno <sup>(h)</sup>
	5.1 Reglas de proyecto-generalidades	x	x	x	
	5.3.3.4 Deformación tangencial debida a la rotación angular	x	x	x	
	5.3.3.6 Condiciones límite	x	x	x	
	5.3.3.7 Fuerzas, momentos y deformaciones ejercidas sobre la estructura	x	x	x	

(Continuación)

Requisitos	Capítulo(s) requisito de la norma UNE-EN 1337-3 y otra(s) norma(s) europea(s):	Apoyos elastoméricos tipo A, B, C y F sin superficies o elementos de deslizamiento <sup>(a)</sup>	Apoyos elastoméricos tipo D con superficies de deslizamiento <sup>(a)</sup>	Apoyos elastoméricos tipo E con superficies de deslizamiento <sup>(a)</sup>	Nivel(es) o clase(es) establecidos:
		Usos previstos: en edificios y obras de ingeniería civil			
Aspectos de durabilidad <sup>(d)</sup>	UNE-EN 1337-3				ninguno <sup>(h)</sup>
	4.3.6 Resistencia al ozono	x	x	x	
	4.3.7 Resistencia de la unión a cortante del PTFE/elastómero	-	x	-	
	4.4.2 Propiedades físicas y mecánicas del elastómero (Tabla 1)	x	x	x	
	4.4.4 Superficies deslizantes	-	x	-	
	5.1 Reglas de proyecto-generalidades	x	x	x	
	EN 1337-9:1997, 4.1.1.1 (Prestaciones)	x	x	x	
Capacidad de carga del apoyo (del elemento de deslizamiento) <sup>(e)</sup>	EN 1337-2:2004, 5.3, 5.5, 6 y 8.3	-	-	x	
Coefficiente de fricción (del elemento de deslizamiento) <sup>(f)</sup>	EN 1337-2:2004, 4.1.1	-	-	x	
Aspectos de durabilidad (del elemento de deslizamiento) <sup>(g)</sup>	EN 1337-2:2004, 4.3.5.2, 4.7, 5.1 y 5.2 EN 1337-9:1997, capítulo 4	-	-	x	

<sup>(a)</sup> Como se indica en el objeto y campo de aplicación de UNE-EN 1337-3

<sup>(b)</sup> Apoyos elastoméricos tipo A, B C y F: información sobre las características del material y su geometría

Apoyos elastoméricos tipo D: valor de cálculo, en kN

Apoyos elastoméricos tipo E: valor de cálculo, en kN

<sup>(c)</sup> Apoyos elastoméricos tipo A, B C y F: información sobre las características del material y su geometría

Apoyos elastoméricos tipo D: valor de cálculo, en radianes

Apoyos elastoméricos tipo E: valor de cálculo, en radianes

<sup>(d)</sup> Apoyos elastoméricos tipo A, B C y F: criterio pasa/no pasa

Apoyos elastoméricos tipo D: criterio pasa/no pasa

Apoyos elastoméricos tipo E: criterio pasa/no pasa

<sup>(e)</sup> Apoyos elastoméricos tipo A, B C y F: -

Apoyos elastoméricos tipo D: -

Apoyos elastoméricos tipo E: valor de cálculo, en kN

<sup>(f)</sup> Apoyos elastoméricos tipo A, B C y F: -

Apoyos elastoméricos tipo D: -

Apoyos elastoméricos tipo E: valor tabulado (Tabla 1 de UNE-EN 1337-2)

<sup>(g)</sup> Apoyos elastoméricos tipo A, B C y F: -

Apoyos elastoméricos tipo D: -

Apoyos elastoméricos tipo E: criterio pasa/no pasa

<sup>(h)</sup> Apoyos tipo A, B, C, D, E y F

Según el apartado ZA.1 del anexo ZA de UNE-EN1337-3, los requisitos sobre una cierta característica no son aplicables en aquellos Estados Miembro (MSs *Member States*) donde no haya disposiciones reglamentarias sobre esa característica para el uso al que está destinado el producto. En este caso, los fabricantes que lancen sus productos al mercado de estos MSs no están obligados a determinar ni a declarar el comportamiento de sus productos con respecto a esta característica y se puede usar la opción *comportamiento no determinado* (CND) en la información que acompaña al mercado CE. No obstante, la opción CND no puede ser usada cuando la característica está sometida a un nivel de umbral.

La información sobre las prestaciones del producto, obtenida mediante los métodos especificados en los sistemas de evaluación, 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.

El control de las prestaciones recogidas en la tabla 5 de esta guía (tablas ZA.1.a, ZA.1.b y ZA.1.c de UNE-EN1337-3), debe estar basado en los procedimientos de evaluación de conformidad indicados en las tablas ZA.3.a a ZA.3.d de UNE-EN 1337-3, que dependen del sistema de evaluación de conformidad. En el caso de los apoyos elastoméricos de puentes de carretera, y según la tabla ZA.2 (anexo ZA) de UNE-EN 1337-3, se deberá emplear el sistema de evaluación de conformidad 1, correspondiente a elementos críticos.

Tabla 6 **Sistemas de evaluación de conformidad (tabla ZA.2 de UNE-EN 1337-3)**

Producto	Uso(s) previsto(s)	Nivel(es) o clase(s)	Sistemas de atestación de conformidad
Apoyos elastoméricos; apoyos elastoméricos con superficies de deslizamiento	En edificios y obras de ingeniería civil donde los requisitos de los apoyos elastoméricos son críticos <sup>(1)</sup>	Ninguno	1
	En edificios y obras de ingeniería civil donde los requisitos de los apoyos elastoméricos no son críticos <sup>(2)</sup>		3

Sistema 1: véase el anexo III.2(i) de la directiva 89/106/CEE (DPC), sin ensayo de auditoría de las muestras

Sistema 3: véase el anexo III.2(ii) de la directiva 89/106/CEE (DPC), segunda posibilidad

<sup>(1)</sup> Crítico en el sentido de que esos requisitos pueden, en caso de fallo del apoyo, poner toda la obra o parte de ésta más allá de aquellos estados límite considerados como de servicio y rotura.

<sup>(2)</sup> No crítico en el sentido de que esos requisitos, en caso de fallo del apoyo, no ponen toda la obra o parte de la misma más allá de aquellos estados límite considerados como de servicio y rotura, y no hay riesgo mortal.

En función del sistema de evaluación aplicable a cada producto, hay ciertas tareas que deberá realizar o bien el fabricante o bien el organismo notificado. La asignación de las tareas de evaluación de conformidad bajo el sistema de evaluación 1 se recoge en las tablas ZA.3.a y ZA.3.c, incluidas a continuación.

Tabla 7 Asignación de las tareas de evaluación de conformidad para apoyos elastoméricos sin elementos de deslizamiento bajo el sistema 1 (tabla ZA.3.a de UNE-EN1337-3)

	Tarea	Contenido de la tarea	Capítulos a aplicar
Tarea del fabricante	Control de producción en fábrica (CPF)	Parámetros relacionados con todas las características de la tabla ZA.1 pertinente	Capítulos de la norma EN 1337-3: 8.1 (evaluación de la conformidad-generalidades) 8.4 (no cumplimiento con la especificación técnica)
	Ensayos adicionales de muestras tomadas en la fábrica	Todas las características de la tabla ZA.1 pertinente	Capítulos de la norma EN 1337-3: 8.1 (evaluación de la conformidad-generalidades) 8.3 (toma de muestras) 8.2.3 (ensayo de rutina)
Tarea del organismo notificado	Realización de ensayos tipo iniciales	Todas las características de la tabla ZA.1 pertinente	Capítulos de la norma EN 1337-3: 8.1 (evaluación de la conformidad-generalidades) 8.3 (toma de muestras) 8.2.2 (ensayo tipo iniciales)
	Inspección inicial de la fábrica y del CPF	Parámetros relacionados con todas las características de la tabla ZA.1 pertinente	Capítulos de la norma EN 1337-3: 8.1 (evaluación de la conformidad-generalidades) 8.2.3 (ensayo de rutina)
	Supervisión continua, evaluación y aprobación del CPF	Parámetros relacionados con todas las características de la tabla ZA.1 pertinente	Capítulos de la norma EN 1337-3: 8.1 (evaluación de la conformidad-generalidades) 8.2.3 (ensayo de rutina)

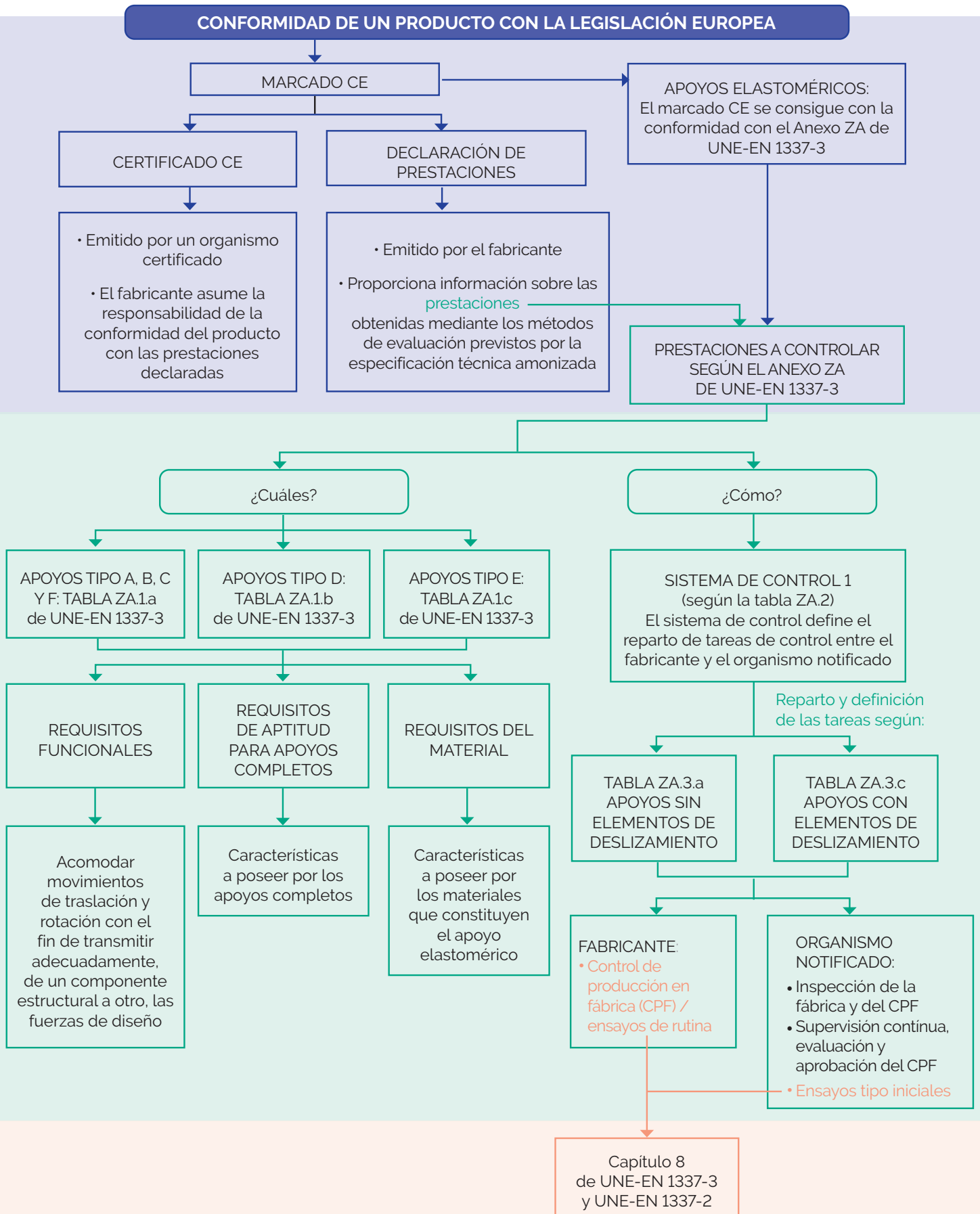
Tabla 8 Asignación de las tareas de evaluación de conformidad para apoyos elastoméricos con elementos de deslizamiento bajo el sistema 1 (tabla ZA.3.c de UNE-EN 1337-3)

Tarea	Contenido de la tarea	Capítulos a aplicar
Tarea del fabricante	Control de producción en fábrica (CPF)	<p>Parámetros relacionados con todas las características de las tablas ZA.1.b y ZA.1.c pertinentes</p> <p>Capítulos de la norma EN 1337-3: 8.1 (evaluación de la conformidad-generalidades) 8.4 (no cumplimiento con la especificación técnica)</p> <p>Capítulos de la norma EN 1337-2:2004: 8.2.1 (generalidades) 8.2.3 (CPF) 8.3 (materias primas y constituyentes) 8.4 (toma de muestras)</p>
	Ensayos adicionales de muestras tomadas en la fábrica	<p>Todas las características de las tablas ZA.1.b y ZA.1.c pertinentes</p> <p>Capítulos de la norma EN 1337-3: 8.1 (evaluación de la conformidad-generalidades) 8.3 (toma de muestras) 8.2.3 (ensayo de rutina)</p> <p>Capítulos de la norma EN 1337-2:2004: 8.2.1 (generalidades) 8.2.3 (CPF) 8.3 (materias primas y constituyentes) 8.4 (toma de muestras)</p>
Tarea del organismo notificado	Realización de ensayos tipo iniciales	<p>Todas las características de las tablas ZA.1.b y ZA.1.c pertinentes</p> <p>Capítulos de la norma EN 1337-3: 8.1 (evaluación de la conformidad-generalidades) 8.3 (toma de muestras) 8.2.2 (ensayo tipo iniciales)</p> <p>Capítulos de la norma EN 1337-2:2004: 8.2.1 (generalidades) 8.2.3 (CPF) 8.3 (materias primas y constituyentes) 8.4 (toma de muestras)</p>
	Inspección inicial de la fábrica y del CPF	<p>Parámetros relacionados con todas las características de las tablas ZA.1.b y ZA.1.c pertinentes</p>
	Supervisión continua, evaluación y aprobación del CPF	

El marcado CE de un producto debe ser atribuido por un organismo de certificación, que deberá redactar un certificado de conformidad. El certificado CE autoriza al fabricante a colocar el marcado CE en su producto. La información a incluir en el certificado y en el marcado CE es la indicada en los apartados ZA.2.2 y ZA.3 de UNE-EN 1337-3.

El sistema de evaluación de conformidad exige la realización de ensayos e inspecciones que deben llevarse a cabo para demostrar la conformidad de los productos con la normativa. Las tablas ZA.3.a y ZA.3.c de la norma UNE-EN 1337-3 (tabla 7 y tabla 8 de esta guía) remiten al capítulo 8 de las normas UNE-EN 1337-3, Apoyos elastoméricos, y UNE-EN 1337-2, Elementos de deslizamiento, para la definición de los ensayos que permitirán validar y dar conformidad a los apoyos elastoméricos. En el anejo AN.1 de esta guía se recogen los tipos de ensayo a realizar para cada prestación, su frecuencia y tipo de muestra a emplear en cada caso.

En el siguiente diagrama se resume la información relativa al marcado CE recogida en el anexo ZA de UNE EN 1337 3.



# 5

## DIMENSIONAMIENTO DE APOYOS ELASTOMÉRICOS SEGÚN LA NORMA UNE-EN 1337-3

La resistencia y estabilidad de los apoyos elastoméricos debe ser la adecuada para soportar las cargas y movimientos en Estado Límite Último de la estructura.

Tal como se establece en el apartado 5.1 de UNE-EN 1337-3, el comportamiento y durabilidad de los apoyos proyectados de acuerdo con esta norma están basados en la asunción de que las tolerancias de fabricación dadas en su capítulo 6 se cumplen. Adicionalmente, el apartado 5.2 indica que los apoyos elastoméricos deben proyectarse de forma que el valor de cálculo de las acciones,  $S_d$ , no exceda el valor de cálculo de la resistencia,  $R_d$ , teniendo en cuenta todos los efectos de las acciones principales y secundarias y los movimientos relativos según se definen en el apartado 5.5 de UNE-EN 1337-1. A su vez, el apartado 5.5 de UNE-EN 1337-1 define los movimientos mínimos a tener en cuenta en el dimensionamiento de los apoyos en Estado Límite Último:

- Para el análisis de rotura de los apoyos, el giro resultante no deberá ser inferior a  $\pm 0,003$  rad y el movimiento de traslación resultante no deberá ser inferior a  $\pm 20$  milímetros o  $\pm 10$  milímetros para apoyos elastoméricos.
- En el caso de que un apoyo no pueda girar sobre un eje, se deberá tener en cuenta una excentricidad mínima de  $l/10$  perpendicular a este, siendo  $l$  la dimensión del apoyo perpendicular al eje mencionado.

De acuerdo con lo indicado en el apartado 5.2 de UNE-EN 1337-3, cuando las inexactitudes de la instalación excedan los límites de tolerancia dados en el apartado 7.1 de la misma norma, deben determinarse las consecuencias de esta desviación en las estructuras.

**Comentario:** En el caso de que se excedan las tolerancias indicadas en el apartado 7.1 de UNE-EN 1337-3, se debería evaluar un posible incremento de los movimientos y giros de cálculo del apoyo.

Esta guía se centra, exclusivamente, en el dimensionamiento del elastómero y de las placas de zunchado de acero de los apoyos elastoméricos. La información relativa a los criterios para el dimensionamiento y verificación de los elementos que componen las superficies deslizantes se deberá consultar en UNE-EN 1337-2.

En la *Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos. Ejemplo de aplicación* [7], se recoge un ejemplo práctico del cálculo de los apoyos elastoméricos de un paso superior de carretera.

## 5.1 Conceptos básicos

Los apoyos elastoméricos se deben proyectar y fabricar para acomodar movimientos de traslación y rotación, en cualquier dirección y sobre cualquier eje, por deformación elástica, permitiendo la adecuada transmisión de las fuerzas de cálculo y la acomodación de los movimientos de entre dos elementos.

Las comprobaciones a realizar para el dimensionamiento de los apoyos elastoméricos están asociadas a un conjunto de propiedades geométricas y mecánicas importantes que se considera necesario desarrollar antes de la exposición de los criterios de cálculo. Los conceptos incluidos seguidamente tienen como base los criterios adoptados por UNE-EN 1337.

### 5.1.1 Rigidez de un apoyo elastomérico frente a acciones horizontales

La rigidez de un apoyo elastomérico frente a solicitaciones horizontales viene dada por:

$$F = K \cdot v \Rightarrow K = \frac{F}{v} = \frac{G \cdot A}{T_q} \quad (1)$$

donde:

$K$  rigidez del apoyo frente a acciones horizontales

$F$  fuerza horizontal aplicada al apoyo

$v$  desplazamiento horizontal

$G$  módulo de elasticidad transversal o módulo de cizalla (véase el apartado 4.2.4 de esta guía)

$A$  área total en planta

$T_q$  altura total de elastómero que se deforma a cortante

**Comentario:** Véase también el apartado 5.2.4 de esta guía.

## 5.1.2 Área total, $A$ , área efectiva, $A_I$ , área efectiva reducida, $A_r$ , y factor de forma, $S$

### 5.1.2.1 Área total, $A$

El área total en planta de un apoyo elastomérico rectangular,  $A$ , viene dada por:

$$A = a \cdot b \quad (2)$$

donde:

- $a$  anchura total del apoyo (dimensión más pequeña del apoyo rectangular) (véase la figura 2)
- $b$  longitud total del apoyo (dimensión mayor del apoyo rectangular) (véase la figura 2)

Para apoyos circulares, el área total en planta viene dada por:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

donde:

- $D$  diámetro total del apoyo circular

### 5.1.2.2 Área efectiva, $A_I$

En algunas comprobaciones es necesario tener en consideración el área plana efectiva del apoyo, es decir, el área en planta común al elastómero y a las placas de zunchado,  $A_I$ , excluyendo el área de cualquier agujero si estos no son tapados posteriormente de forma efectiva. En el caso de apoyos rectangulares sin agujeros, el área en planta efectiva del apoyo viene dada por:

$$A_I = a' \cdot b' = A' \quad (4)$$

donde:

- $a'$  ancho efectivo del apoyo, es decir, el ancho de las placas de zunchado (véase la figura 2)
- $b'$  longitud efectiva del apoyo, es decir, la longitud de las placas de zunchado (véase la figura 2)
- $A'$  área plana efectiva del apoyo laminado (área de las placas de zunchado de acero)

En el caso de apoyos circulares sin agujeros, el área en planta efectiva del apoyo viene dada por:

$$A_I = \frac{\pi D'^2}{4} \quad (5)$$

donde:

$D'$  diámetro efectivo del apoyo circular

### 5.1.2.3 Área efectiva reducida, $A_r$

Asimismo, en algunos casos, el área a tener en cuenta en las comprobaciones es el área en planta efectiva reducida del apoyo debido a los efectos de la carga,  $A_r$ , que se define mediante la siguiente expresión:

$$A_r = A_I \left( 1 - \frac{v_{x,d}}{a'} - \frac{v_{y,d}}{b'} \right) \quad (6)$$

donde:

$A_I$  área en planta efectiva del apoyo (definida anteriormente)

$a'$  y  $b'$  dimensiones efectivas del apoyo (definidas anteriormente)

$v_{x,d}$  desplazamiento máximo horizontal relativo de las partes del apoyo en la dirección de la dimensión  $a$  debido a todos los efectos de las cargas de ELU (tanto deformaciones impuestas como fuerzas instantáneas). En general, esta dirección coincide con la dirección longitudinal del puente

$v_{y,d}$  desplazamiento máximo horizontal relativo de las partes del apoyo en la dirección de la dimensión  $b$  debido a todos los efectos de las cargas de ELU (tanto deformaciones impuestas como fuerzas instantáneas). En general, esta dirección coincide con la dirección transversal del puente

**Comentario:** La expresión (6) que se recoge en el apartado 5.3.3.2 de UNE-EN 1337-3 es directamente aplicable a apoyos rectangulares. A fecha de redacción de esta guía, en la revisión más avanzada (en la fase de borrador, del año 2018) de la norma EN 1337-3 se incluye la siguiente expresión, equivalente a la expresión (6), para la determinación del área reducida para apoyos circulares:

$$A_r = \frac{1}{2} \left[ \frac{4 \cdot A_I}{\pi} \arcsin \left( \frac{\sqrt{D'^2 - v_{xy,d}^2}}{D'} \right) - (v_{xy,d} \sqrt{D'^2 - v_{xy,d}^2}) \right] \quad (7)$$

donde:

$A_I$  y  $D'$  definidos anteriormente en esta guía

$v_{xy,d}$  desplazamiento horizontal relativo máximo obtenido por la suma vectorial de  $v_{x,d}$  y  $v_{y,d}$

#### 5.1.2.4 Factor de forma, $S$

El factor de forma es la relación del área en planta efectiva de un bloque elastomérico respecto a su área superficial libre de fuerzas (incluyendo agujeros). Para apoyos laminados, según el apartado 5.3.3.1 de UNE-EN 1337-3, el factor de forma viene dado por:

$$S = \frac{A_I}{l_p \cdot t_e} \quad (\text{para una capa de elastómero individual}) \quad (8)$$

donde:

$A_I$  definido anteriormente en esta guía

$l_p$  perímetro libre de fuerza del apoyo elastomérico, incluyendo cualquier agujero si estos no son tapados posteriormente de forma efectiva. En el caso de un apoyo rectangular sin agujeros:

$$l_p = 2(a' + b') \quad (9)$$

En el caso de un apoyo circular sin agujeros:

$$l_p = \pi D' \quad (10)$$

$t_e$  espesor efectivo de una capa de elastómero individual en compresión que, en los apoyos laminados, debe ser tomado como el espesor real,  $t_i$ , si la capa analizada se trata de una capa interna y  $1,4t_i$  si se trata de una capa externa de espesor igual o superior a 3 mm

Por no ser común su utilización en el proyecto de puentes de carretera, no se incluyen los criterios y fórmulas para la obtención del factor de forma de apoyos planos sin burbujas y apoyos de tira.

## 5.2 Comprobaciones

La comprobación de apoyos elastoméricos debe realizarse de acuerdo con la norma UNE-EN 1337, Apoyos estructurales, en particular, sus partes 1, Reglas generales, y 3, Apoyos elastoméricos. La resistencia y estabilidad de los apoyos elastoméricos de acuerdo con dichas normas debe ser comprobada teniendo en cuenta fuerzas y movimientos de Estado Limite Último (ELU), acorde a los Eurocódigos Estructurales (normas de la familia UNE-EN 199X).

Los apoyos elastoméricos proyectados según la norma UNE-EN 1337-3 deben cumplir varios requisitos:

- Límite de deformación tangencial de cálculo máxima: la suma de las deformaciones tangenciales de cálculo,  $\varepsilon_{t,d}$ , debido a las cargas de compresión,  $\varepsilon_{c,d}$ , a los desplazamientos horizontales,  $\varepsilon_{q,d}$ , y a la rotación angular,  $\varepsilon_{\alpha,d}$ , no debe sobrepasar el límite de  $\varepsilon_{u,d}$  (véase el apartado 5.2.1 de esta guía).
- Límite de deformación tangencial por cortante de cálculo debido a los desplazamientos horizontales,  $\varepsilon_{q,d}$ : se limita el valor de la deformación tangencial de cálculo a 1,00 (véase el apartado 5.2.1.2 de esta guía).
- Espesor mínimo de las placas de zunchado de acero,  $t_s$ : se define un valor mínimo para el espesor de las placas de zunchado necesario para resistir los esfuerzos de tracción introducidos por los diferentes estados de carga (véase el apartado 5.2.2 de esta guía).
- Criterios de estabilidad: los apoyos deben cumplir con varios criterios de estabilidad relativos a la rotación, pandeo y deslizamiento (véase el apartado 5.2.3 de esta guía).

Tal como lo indica la norma UNE-EN 1337-3 en su apartado 5.3.3, los cálculos de ELU no se deben aplicar a las capas externas superior e inferior cuando el espesor de estas sea igual o inferior a 2,5 milímetros.

En los apartados siguientes se exponen en detalle las comprobaciones exigidas por la norma UNE-EN 1337-3 para la verificación de apoyos elastoméricos. Todas las comprobaciones se deben realizar teniendo en cuenta fuerzas, movimientos y giros de cálculo (en ELU).

## 5.2.1 Límite de deformación tangencial de cálculo máxima

Según el apartado 5.3.3 de UNE-EN1337-3, la deformación tangencial de cálculo máxima,  $\varepsilon_{t,d}$ , suma de las deformaciones tangenciales de cálculo debido a las cargas de compresión, a los desplazamientos horizontales y a la rotación angular del apoyo, no debe superar el límite  $\varepsilon_{u,d}$ .

$$\varepsilon_{t,d} = K_L (\varepsilon_{c,d} + \varepsilon_{q,d} + \varepsilon_{a,d}) \leq \varepsilon_{u,d} \quad (11)$$

donde:

- $K_L$  factor del tipo de carga, definido en el Anexo C de UNE-EN 1337-3. Según dicho anexo,  $K_L$  es igual a 1,0; no obstante, si lo requiere el proyectista, puede tomarse como 1,5 para la sobrecarga de uso y 1,0 para el resto de los efectos (incluyendo el viento y la temperatura)
- $\varepsilon_{c,d}$  deformación tangencial de cálculo debida a las cargas de ELU de compresión (ver apartado 5.2.1.1 de esta guía)
- $\varepsilon_{q,d}$  deformación tangencial por cortante de cálculo debida a los desplazamientos horizontales de ELU (ver apartado 5.2.1.2 de esta guía)
- $\varepsilon_{a,d}$  deformación tangencial de cálculo debida a la rotación angular de ELU (ver apartado 5.2.1.3 de esta guía)
- $\varepsilon_{u,d}$  valor máximo de cálculo permitido para la deformación tangencial total,  $\varepsilon_{t,d}$ , que viene dado por:

$$\varepsilon_{u,d} = \frac{\varepsilon_{u,k}}{\gamma_m} \quad (12)$$

donde:

- $\varepsilon_{u,k}$  valor máximo característico permitido para la deformación total, igual a 7 para ELU, de acuerdo con la cláusula 5.3.3 a) de UNE-EN 1337-3
- $\gamma_m$  coeficiente parcial para la resistencia del material elastómero. El valor recomendado es 1,00

### 5.2.1.1 Deformación tangencial de cálculo debida a la carga de compresión, $\varepsilon_{c,d}$

La aplicación de una carga vertical centrada en un apoyo elastomérico genera una distribución lineal de tensiones tangenciales en la interfaz entre el elastómero y las placas internas de zunchado.

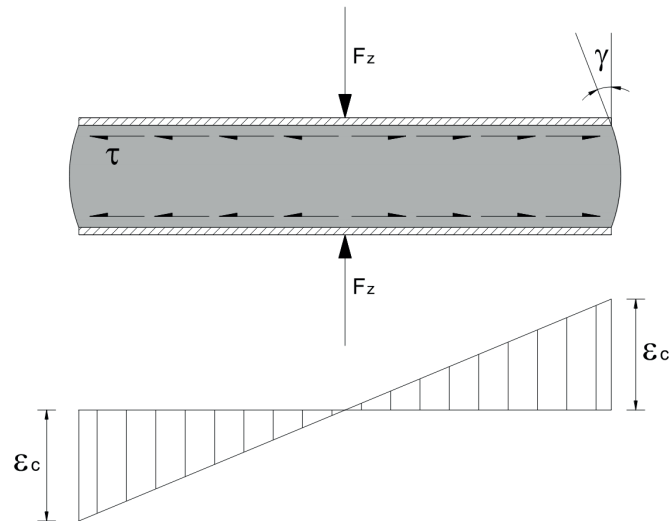


Figura 6 Distribución de tensiones y deformaciones tangenciales en la interfaz entre elastómero y placas de zunchado, debido a las cargas de compresión

Según el apartado 5.3.3.2 de UNE-EN 1337-3, la deformación de cálculo debido a cargas de compresión se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{c,d} = \frac{1,5 \cdot F_{z,d}}{G \cdot A_r \cdot S} \quad (13)$$

donde:

$F_{z,d}$  carga vertical de cálculo

$G$  valor nominal del módulo de elasticidad transversal convencional del apoyo elastomérico. A efectos de cálculo,  $G$  debe ser uno de los valores definidos en la tabla 1 de UNE-EN 1337-3. En el apartado 4.2.4 de esta guía se recogen los valores recomendados por la normativa y otras referencias bibliográficas para el módulo de elasticidad transversal

$S$  factor de forma (véase el apartado 5.1.2.4 de esta guía) de la capa de material elastómero analizada. Se recuerda que, como indica el apartado 5.3.3 de UNE-EN 1337-3, los cálculos no deben aplicarse a las capas externas superior o inferior cuando el espesor de estas sea igual o inferior a 2,5 milímetros

$A_r$  área en planta efectiva reducida del apoyo debido a los efectos de la carga.  $A_r$  se define en el apartado 5.1.2 de esta guía. Los desplazamientos a tener en cuenta para la determinación de  $A_r$  son los producidos por las cargas horizontales de cálculo concomitantes con el valor de  $F_{z,d}$

UNE-EN1337-3 no define un límite explícito para la deformación tangencial producida por las cargas de compresión.

**Comentario:** Se deberán tener en cuenta los desplazamientos mínimos indicados en el apartado 5.5 de UNE-EN 1337-1 (véase el apartado 5 de esta guía) a la hora de determinar  $A_r$ .

### 5.2.1.2 Deformación tangencial de cálculo por desplazamientos horizontales, $\varepsilon_{q,d}$

Para fuerzas horizontales, la distribución de tensiones tangenciales en la interfaz entre el elastómero y las placas de zunchado es uniforme.

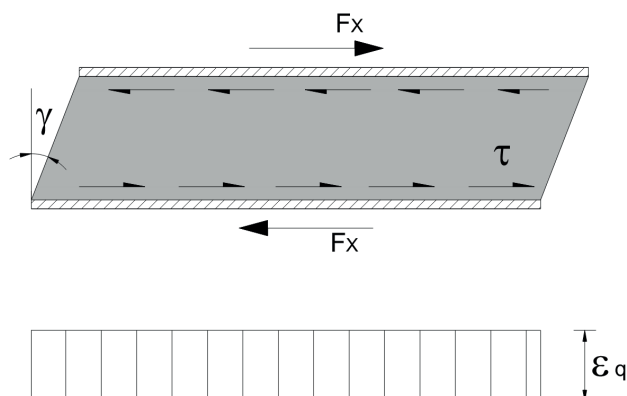


Figura 7 Distribución de tensiones y deformaciones tangenciales en la interfaz entre elastómero y placas de zunchado, producida por fuerzas horizontales

Como indica el apartado 5.3.3.3 de UNE-EN 1337-3, la deformación tangencial por cortante de cálculo debido a los desplazamientos horizontales se determinará mediante la expresión (14). Esta deformación no debe exceder el valor de 1,00 en ELU.

$$\varepsilon_{q,d} = \frac{v_{xy,d}}{T_q} \leq 1,00 \quad (14)$$

donde:

$v_{xy,d}$  desplazamiento máximo horizontal relativo de cálculo de las partes del apoyo, obtenido mediante la suma vectorial de  $v_{x,d}$  y  $v_{y,d}$  definidos en el apartado 5.1.2 de esta guía

$T_q$  espesor total de las capas de material elastómero que se deforman a cortante, incluyendo las capas exteriores superior e inferior siempre y cuando su deformación a cortante no esté restringida

**Comentario:** A la hora de determinar el valor de  $T_q$ , se deberá tener en cuenta, además, que en su apartado 5.3.3, UNE-EN 1337-3 indica que los cálculos de ELU no deben aplicarse a las capas externas superior e inferior cuando el espesor de estas sea igual o inferior a 2,5 milímetros.

Se deberán tener en cuenta los desplazamientos mínimos indicados en el apartado 5.5 de UNE-EN 1337-1 (véase el apartado 5 de esta guía).

### 5.2.1.3 Deformación tangencial de cálculo debida a la rotación angular, $\epsilon_{\alpha,d}$

En la figura siguiente se puede observar la distribución de tensiones tangenciales en la interfaz entre el elastómero y las placas de zunchado, producida por una rotación angular:

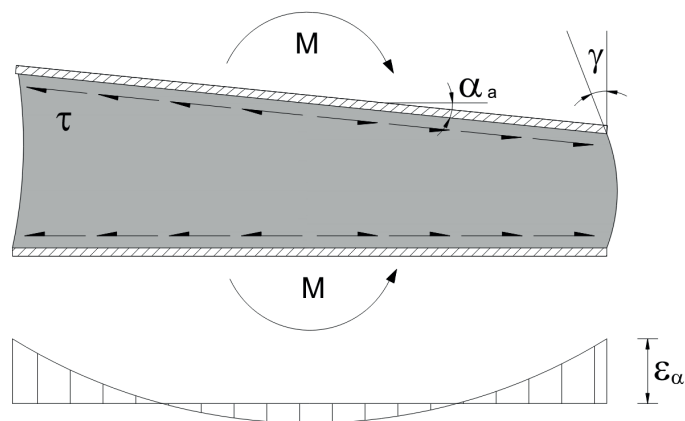


Figura 8 Distribución de tensiones y deformaciones tangenciales en la interfaz entre elastómero y placas de zunchado, producida por una rotación angular

Según el apartado 5.3.3.4 de UNE-EN 1337-3 la deformación tangencial de cálculo debida a la rotación angular se determinará mediante la expresión (15):

$$\epsilon_{\alpha,d} = \frac{(a'^2 \cdot \alpha_{\alpha,d} + b'^2 \cdot \alpha_{b,d}) t_i}{2 \sum t_i^3} \quad (15)$$

donde:

$\alpha_{a,d}$  ángulo de rotación a lo largo de la dimensión  $a$  del apoyo, debido a los efectos de las cargas de ELU

$\alpha_{b,d}$  ángulo de rotación a lo largo de la dimensión  $b$  del apoyo, debido a los efectos de las cargas de ELU

$t_i$  espesor de una capa individual de elastómero

$a'$  y  $b'$  dimensiones efectivas del apoyo (ver apartado 5.1.2 de esta guía)

UNE-EN1337-3 no define un límite para la distorsión producida por la rotación del apoyo.

**Comentario:** Se deberán tener en cuenta los giros mínimos indicados en el apartado 5.5 de UNE-EN 1337-1 (véase el apartado 5 de esta guía).

La expresión (15) que se recoge en el apartado 5.3.3.4 de UNE-EN1337-3 es directamente aplicable a apoyos rectangulares. En la revisión más avanzada, a fecha de redacción de esta guía, del borrador (año 2018) de la norma EN 1337-3, se incluye la siguiente expresión, equivalente a la expresión (15), para la determinación de la deformación tangencial de cálculo debida a la rotación angular para apoyos circulares:

$$\varepsilon_{\alpha,d} = \frac{D'^2 \cdot \alpha_{ab,d} \cdot t_i}{2 \sum t_i^3} \quad (16)$$

donde:

$$\alpha_{ab,d} = \sqrt{\alpha_{a,d}^2 + \alpha_{b,d}^2} \quad (17)$$

$D'$   $\alpha_{a,d}$   $\alpha_{b,d}$   $t_i$  definidos anteriormente en esta guía

En la versión más avanzada del borrador de la norma EN 1337-3, se obliga, además a la consideración de un giro mínimo de 3 mrad sobre cualquier eje del apoyo.

## 5.2.2 Espesor mínimo de las placas de zunchado

Según el apartado 5.3.3.5 de UNE-EN 1337-3 el espesor mínimo de las placas de zunchado se determinará mediante la siguiente expresión:

$$t_s = \frac{K_p \cdot F_{z,d} \cdot (t_1 + t_2) \cdot K_h \cdot \gamma_m}{A_r \cdot f_y} \geq 2 \text{ mm} \quad (18)$$

donde:

$F_{z,d}$  y  $A_r$  definidos anteriormente en esta guía

$K_p$  factor de corrección de la tensión que debe ser tomado igual a 1,3

$K_h$  factor para las tensiones de tracción inducidas en la placa y debe ser tomado igual a 1,0 para placas sin agujeros y 2,0 para placas con agujeros

$t_1$  y  $t_2$  espesor de las capas de elastómero en cada lado de la placa de zunchado

$\gamma_m$  coeficiente parcial. El valor recomendado es 1,00

$f_y$  límite elástico del acero

**Comentario:** Para determinar  $A_r$  se deberán tener en cuenta los desplazamientos mínimos indicados en el apartado 5.5 de UNE-EN 1337-1 (véase el apartado 5 de esta guía).

## 5.2.3 Comprobación de criterios de estabilidad

La estabilidad de los apoyos se debe evaluar teniendo en cuenta la rotación, el pandeo y el deslizamiento. Los límites asociados a los criterios de estabilidad se recogen en el apartado 5.3.3.6 de UNE-EN 1337-3.

### 5.2.3.1 Comprobación de estabilidad relativa a la rotación

Como se indica en el apartado 5.3.3.6 de UNE-EN 1337-3, la estabilidad rotacional de un apoyo elastomérico se garantiza mediante el cumplimiento de la condición de no levantamiento del extremo menos cargado del apoyo.

- Apoyos rectangulares:

$$v_{z,d} - \frac{(a' \cdot \alpha_{a,d} + b' \cdot \alpha_{b,d})}{K_{r,d}} \geq 0 \quad (19)$$

- Apoyos circulares:

$$v_{z,d} - \frac{(D' \cdot \alpha_d)}{K_{r,d}} \geq 0 \quad (20)$$

donde:

$a'$   $b'$   $D'$  definidos anteriormente en esta guía

$\alpha_d$  rotación angular a lo largo del diámetro  $D$  de un apoyo circular

**Comentario:** A fecha de redacción de esta guía, en la revisión más avanzada (en fase de borrador, del año 2018) de la norma EN 1337-3 se incluye la siguiente expresión para la determinación de  $\alpha_d$  en presencia de giros en dos direcciones:

$$\alpha_d = \sqrt{\alpha_{a,d}^2 + \alpha_{b,d}^2} \quad (21)$$

$K_{r,d}$  factor de rotación, definido en el Anexo B de UNE-EN 1337-3. El anexo B (normativo) indica que  $K_{r,d}$  debe ser tomado igual a 3,0

$v_{z,d}$  deformación vertical total producida por las cargas verticales que generan los giros de cálculo  $\alpha_{a,d}$  y  $\alpha_{b,d}$ .  $v_{z,d}$  se determina mediante la siguiente expresión (apartado 5.3.3.7 de UNE-EN 1337-3):

$$v_{z,d} = \sum \frac{F_{z,d} \cdot t_i}{A'} \cdot \left( \frac{1}{5 \cdot G \cdot S_I^2} + \frac{1}{E_b} \right) \quad (22)$$

donde:

$F_{z,d}$   $G$   $t_i$  definidos en apartados anteriores

$A'$  área plana efectiva del apoyo laminado (área de las placas de zunchado de acero)

$S_I$  factor de forma para las capas más gruesas

$E_b$  módulo de compresibilidad volumétrico del material elastómero (véase el apartado 4.2.5 de esta guía)

**Comentario:** Se deberán tener en cuenta los giros mínimos indicados en el apartado 5.5 de UNE-EN 1337-1 (véase el apartado 5 de esta guía).

En la versión más avanzada, a fecha de redacción de esta guía, del borrador de la norma EN 1337-3 (año 2018), la comprobación de estabilidad relativa a la rotación se pasa a realizar en la combinación característica de acciones del Estado Límite de Servicio, en lugar del Estado Límite Último.

Véase también el apartado 5.2.4 de esta guía.

### 5.2.3.2 Comprobación de estabilidad relativa al pandeo

Como se indica en el apartado 5.3.3.6 de UNE-EN 1337-3, la estabilidad a pandeo de un apoyo elastomérico se garantiza limitando la tensión de compresión en el apoyo:

$$\frac{F_{z,d}}{A_r} < \frac{2 \cdot a' \cdot G \cdot S_I}{3 T_e} \quad (23)$$

donde:

$F_{z,d}$   $A_r$   $S_I$   $a'$   $G$  definidos en apartados anteriores de esta guía

$T_e$  espesor total de las capas de material elastómero

Para apoyos rectangulares,  $a'$  corresponde a la dimensión mínima de las placas de zunchado; para apoyos circulares,  $a'$  corresponde al diámetro de las placas de zunchado.

**Comentario:** A la hora de determinar el valor de  $T_e$ , se deberá tener en cuenta que, en su apartado 5.3.3, UNE-EN 1337-3 indica que los cálculos de ELU no deben aplicarse a las capas externas superior e inferior cuando el espesor de estas sea igual o inferior a 2,5 milímetros.

Además, se deberán tener en cuenta los desplazamientos mínimos indicados en el apartado 5.5 de UNE-EN 1337-1 (véase el apartado 5 de esta guía) a la hora de determinar  $A_r$ .

### 5.2.3.3 Comprobación de estabilidad relativa al deslizamiento (no reptación)

Los apoyos no anclados deben cumplir la siguiente condición de no deslizamiento<sup>3</sup> (también denominada condición de no reptación), de acuerdo con el apartado 5.3.3.6 de UNE-EN 1337-3:

$$F_{xy,d} \leq \mu_e \cdot F_{z,d,min} \quad (24)$$

donde:

$F_{xy,d}$  resultante de todas las fuerzas horizontales de cálculo

$F_{z,d,min}$  fuerza vertical mínima de cálculo, concomitante con  $F_{xy,d}$

<sup>3</sup> En estructuras con pendiente longitudinal significativa y cuñas de regularización en la cara superior del apoyo no solidarias con el tablero, además de la comprobación de estabilidad frente al deslizamiento del apoyo, se deberá comprobar la estabilidad frente al deslizamiento en la interfaz tablero-cuña, teniendo en cuenta las componentes debidas a la pendiente. De cualquier manera, siempre que sea posible, conviene hacer las cuñas solidarias con el tablero.

$\mu_e$  coeficiente de rozamiento, que viene dado por:

$$\mu_e = 0,1 + \frac{1,5 K_f}{\sigma_m} \quad (25)$$

$\sigma_m$  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 (incluidos morteros de resina<sup>4</sup>)

**Comentario:** UNE-EN 1337-3 no especifica la forma de determinación de la tensión  $\sigma_m$ , necesaria para la obtención del coeficiente de rozamiento. En la revisión más avanzada, a fecha de redacción de esta guía, del borrador de la norma EN 1337-3 (año 2018), el coeficiente de rozamiento se determina considerando el área efectiva del apoyo,  $A_I$ . Para la aplicación de la versión vigente de UNE-EN 1337-3, se recomienda la determinación de  $\sigma_m$  teniendo en cuenta el área efectiva del apoyo,  $A_I$ .

Además, bajo cargas permanentes, se debe garantizar una tensión de compresión superior a 3 MPa, es decir:

$$\sigma_{cd,min} = \frac{F_{z,d,min}}{A_r} \geq 3 [MPa] \quad (26)$$

siendo:

$\sigma_{cd,min}$  tensión de compresión vertical mínima bajo cargas permanentes

$F_{z,d,min}$  fuerza vertical mínima bajo cargas permanentes

$A_r$  definido en apartados anteriores de esta guía

**Comentario:** En la revisión más avanzada, a fecha de redacción de esta guía, del borrador de la norma EN 1337-3 (año 2018), esta comprobación se realiza para las cargas verticales mínimas de Estado Límite Último, teniendo en cuenta el área efectiva del apoyo,  $A_I$ , y se limita inferiormente a 2 MPa.

Si un apoyo no cumple los requisitos para la estabilidad frente al deslizamiento, deben disponerse dispositivos que permitan transmitir las fuerzas horizontales a la subestructura (apoyos anclados).

4 Los valores de  $K_f$  definidos por UNE-EN 1337-3 son valores orientativos para las situaciones más comunes de contacto apoyo-estructura, no contemplan todas las casuísticas y dependen del acabado/revestimiento del elemento en contacto con el apoyo, por lo que se debería considerar su valor en conjunto con el suministrador de los apoyos. Por ejemplo, una superficie de contacto "elastómero-cuña de acero recubierta con neopreno" no tendría el mismo valor de  $K_f$  que una superficie "elastómero-cuña de acero descubierta". Tampoco tendrían el mismo valor de  $K_f$  una superficie de contacto "elastómero-hormigón" *in-situ* y una superficie de contacto "elastómero-hormigón prefabricado". El valor de  $K_f$  igual a 0,6 aplica, en general, al primer caso; si el contacto es entre elastómero y hormigón prefabricado, el coeficiente  $K_f$  dependerá del estado del acabado de la superficie de hormigón y, por lo tanto, se deberá valorar adecuadamente.

## 5.2.4 Fuerzas, momentos y deformaciones ejercidas sobre la estructura

El apartado 5.3.3.7 de UNE-EN1337-3 da información sobre las acciones ejercidas por los apoyos sobre la estructura:

- Presión en las superficies de contacto: los apoyos elastoméricos ejercen una presión no uniforme sobre la superficie de contacto con la estructura. Es suficiente comprobar que la tensión media no excede la resistencia del material de soporte.
- Fuerza ejercida sobre la estructura debido a la resistencia del apoyo a los movimientos de traslación:

$$R_{x,y} = \frac{A \cdot G \cdot v_{xy}}{T_e} \quad (27)$$

siendo:

$R_{x,y}$  resultante de las fuerzas que resisten al movimiento de traslación

$A$   $G$   $T_e$   $v_{xy}$  definidos en apartados anteriores de esta guía

**Comentario:** Véase también el apartado 5.1.1 de esta guía.

- Resistencia a la rotación: el valor de cálculo del momento de recuperación debido a la rotación sobre un eje paralelo a la dimensión  $b$  del apoyo y que pasa por su centro viene dado por las siguientes formulas:

Apoyos rectangulares:

$$M = G \frac{\alpha \cdot a'^5 \cdot b'}{n \cdot t_i^3 \cdot K_s} \quad (28)$$

Apoyos circulares:

$$M = G \frac{\alpha \cdot \pi \cdot D'^6}{512 \cdot n \cdot t_i^3} \quad (29)$$

siendo:

$\alpha$  ángulo de rotación del apoyo

$M$  momento de recuperación

$n$  número de capas de elastómero

$G$   $D'$   $t_i$   $a'$   $b'$  definidos anteriormente en esta guía

El valor de  $K_s$  se define en la tabla 4 de UNE-EN1337-3.

Tabla 9 Factor del momento de recuperación (tabla 4 de UNE-EN 1337-3)

b/a	0,5	0,75	1	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,5	10	∞
Ks	137	100	86,2	80,4	79,3	78,4	76,7	75,3	74,1	73,1	72,2	71,5	70,8	68,3	61,9	60

El apartado 5.3.3.7 de UNE-EN 1337-3 indica que, si  $b < a$ , la fórmula (28) sigue siendo aplicable para la rotación sobre el eje paralelo a la dimensión  $b$ . En ese caso,  $b$  sería la menor dimensión y  $a$  la mayor dimensión, en contraste con las definiciones dadas en su apartado 3.2. El valor del momento de recuperación dado por las expresiones (28) y (29) es suficiente para la mayoría de los fines. Si es necesario un conocimiento más preciso de su valor, este deberá determinarse experimentalmente.

- Deformación vertical: la deformación vertical de un apoyo elastomérico, dada por la expresión (22), es la suma de las deformaciones verticales de cada una de sus capas individuales de elastómero. Cuando se requiera un valor preciso, este deberá determinarse experimentalmente.

La deformación vertical real de un apoyo incluye una fase inicial de asentamiento que puede producir deformaciones de, aproximadamente, 2 milímetros. Posteriormente, la rigidez del apoyo aumenta con el incremento de la carga. Si la deformación del apoyo bajo cargas verticales es crítica para el dimensionamiento de la estructura, la rigidez del apoyo debería determinarse experimentalmente; no obstante, podrá producirse una variación de hasta  $\pm 20\%$  del valor medio observado en los ensayos. Si se emplean varios apoyos similares y la rigidez diferencial entre apoyos es crítica para la estructura, debería permitirse una variación de la rigidez de compresión igual a  $\pm 15\%$  del valor estimado mediante la ecuación (22) o  $\pm 15\%$  del valor medio obtenido en los ensayos.

El cálculo de la deformación vertical de los apoyos planos suele subestimar la deformación vertical bajo cargas permanentes y sobrestimar la deformación vertical bajo cargas transitorias.

**Comentario:** Véase también el apartado 4.2.5 de esta guía.



# 6

## **EQUIVALENCIA ENTRE LA NORMA UNE-EN 1337-3 Y LAS RECOMENDACIONES DE 1982**

Tradicionalmente y a lo largo de muchos años, el dimensionamiento de apoyos elastoméricos en proyectos de puentes en España se ha realizado de acuerdo con el documento *Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera* [5] del año 1982. El dimensionamiento de los apoyos elastoméricos según dicho documento se basa en las comprobaciones, en Estado Límite de Servicio (ELS), 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.

Si bien, como se podrá observar en los apartados siguientes, estas comprobaciones son equivalentes a las recogidas en UNE-EN 1337-3, se destacan los siguientes aspectos:

- Las comprobaciones recogidas en UNE-EN 1337-3 están formuladas para ser realizadas con fuerzas y desplazamientos en Estado Límite Último, en lugar del Estado Límite de Servicio empleado en las Recomendaciones de 1982. Por esta razón, algunos de los límites impuestos por UNE-EN 1337-3 a deformaciones o tensiones son superiores a los definidos por las Recomendaciones de 1982.

- Para el dimensionamiento de un apoyo elastomérico según UNE-EN 1337-3, en función de la comprobación realizada, es necesario tener en consideración (véase el apartado 5.1.2 de esta guía):
  - El área total en planta del apoyo,  $A$ .
  - El área en planta efectiva del apoyo,  $A'$  o  $A_I$ , que corresponde al área en planta común al elastómero y a las placas de zunchado.
  - El área en planta efectiva reducida debido a los efectos de la carga,  $A_r$ , obtenida según las expresiones (6) y (7) de esta guía.

En sus comprobaciones, las Recomendaciones de 1982 solamente tienen en cuenta el área total en planta del apoyo. También en la determinación del factor de forma,  $S$ , se verifica una diferencia de criterio entre las dos normas: UNE-EN 1337-3 indica que este debe ser determinado teniendo en cuenta las dimensiones efectivas del apoyo (dimensiones en planta comunes al elastómero y a las placas de zunchado,  $a'$  y  $b'$ ), en cambio, de acuerdo con las Recomendaciones de 1982, el factor de forma se determina aplicando las dimensiones totales del apoyo ( $a$  y  $b$ ).

En este capítulo se realizará una comparación y se analizará la equivalencia entre las comprobaciones recogidas en las Recomendaciones de 1982 y en UNE-EN 1337-3.

Para facilitar la distinción entre el contenido correspondiente a las Recomendaciones de 1982 y el contenido de UNE-EN1337-3, en este capítulo, el primero se destaca en color azul.

## 6.1 Limitación de las tensiones tangenciales

Las Recomendaciones de 1982 recogen en su apartado 2.3.2 una limitación para las tensiones tangenciales que se producen en la unión entre el elastómero y las placas de zunchado:

$$\tau_N + \tau_{H\ total} + \tau_{a\ total} \leq 5G \tag{30}$$

donde:

- $G$                     módulo de elasticidad transversal para deformaciones lentas
- $\tau_N$                     tensión tangencial producida por las cargas verticales
- $\tau_{a\ total}$             tensión tangencial producida por los giros
- $\tau_{H\ total}$             tensión tangencial producida por las fuerzas horizontales y deformaciones impuestas, limitada a  $0,7G$ :

$$\tau_{H\ total} = \tau_{H1} + \tau_{H2} \tag{31}$$

donde:

$\tau_{H1}$  tensión tangencial producida por deformaciones lentas, limitada a  $0,5G$

$\tau_{H2}$  tensión tangencial producida por deformaciones rápidas

Esta limitación es equivalente a la limitación por deformación de cálculo máxima recogida en la cláusula 5.3.3 a) de UNE-EN 1337-3 (véase el apartado 5.2.1 de esta guía).

Puesto que UNE-EN 1337-3 define sus comprobaciones basándose en las deformaciones tangenciales (distorsión), para facilitar la comparación entre las expresiones (11) y (30), se divide la expresión (30) por  $G$ , obteniendo la comprobación de las Recomendaciones de 1982 en deformaciones:

$$\tau = G \cdot \operatorname{tg}(\gamma) = G \cdot \varepsilon \quad (32)$$

$$\varepsilon_N + \varepsilon_{H\text{ total}} + \varepsilon_{a\text{ total}} \leq 5 \quad (33)$$

donde:

$G$  definido anteriormente en este apartado

$\tau$  tensión tangencial

$\gamma$  ángulo de distorsión del apoyo

$\varepsilon$  distorsión del apoyo

$\varepsilon_N$  deformación producida por las cargas verticales

$\varepsilon_{a\text{ total}}$  deformación producida por los giros

$\varepsilon_{H\text{ total}}$  deformación producida por las fuerzas horizontales y deformaciones impuestas

Ambas expresiones (11) y (33) limitan la suma de las deformaciones debido a las cargas de compresión, fuerzas y desplazamientos horizontales y rotación; las Recomendaciones de 1982 la limitan a cinco y UNE-EN 1337-3 la limita a siete (considerando  $K_L = 1,0$  (valor recomendado) en la expresión (11)). La razón entre el límite 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 corresponden al Estado Limite Último.

En los siguientes apartados se muestra la equivalencia entre la determinación de cada una de las deformaciones (producidas por cargas verticales, desplazamientos horizontales y rotaciones) mediante UNE-EN 1337-3 y las Recomendaciones de 1982.

### 6.1.1 Limitación de las tensiones tangenciales producidas por las reacciones verticales de compresión

Las tensiones verticales de compresión generan tensiones tangenciales en la unión entre las placas de zunchado y el elastómero, de valor máximo en los bordes del apoyo.

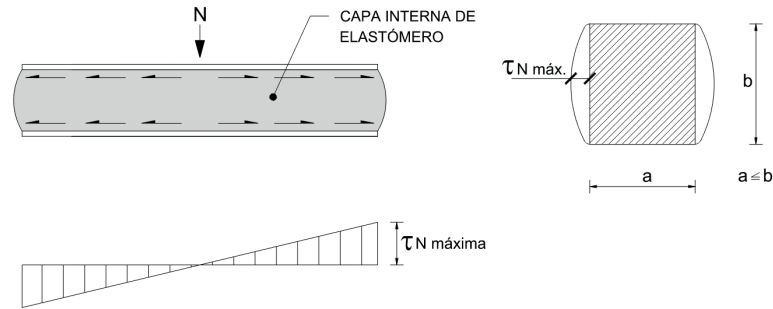


Figura 9 Tensiones tangenciales producidas por las cargas verticales de compresión (figuras 7 y 8 de las Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera de 1982)

En su apartado 2.3.1, las Recomendaciones de 1982 incluyen la siguiente expresión para la determinación de las tensiones tangenciales debido a las cargas verticales de compresión:

$$\tau_N = \frac{1,5 \cdot \sigma_m}{S} \quad (34)$$

donde:

- $\tau_N$     definido anteriormente en esta guía
- $\sigma_m$     tensión vertical media de compresión
- $S$         factor de forma

Las Recomendaciones de 1982 no definen un límite para estas tensiones, no obstante, según el apartado 2.1.7 del documento *Aparatos de apoyo de puentes* [3], se deberían limitar a  $3,0G$ .

Esta expresión es equivalente a la incluida en el apartado 5.3.3.2 de UNE-EN 1337-3, pero desde el punto de vista de deformaciones (véase la expresión (13) del apartado 5.2.1.1 de esta guía). Para facilitar la comparación entre las expresiones (13) y (34), se divide la expre-

sión (34) por  $G$ , obteniendo la comprobación de las Recomendaciones de 1982 en deformaciones.

$$\varepsilon_N = \frac{1,5 \cdot \sigma_m}{S \cdot G} \quad (35)$$

Como se puede comprobar, la expresión (35) es equivalente a la expresión (13), con la única diferencia de que la primera se determina para cargas verticales en Estado Límite de Servicio ( $\sigma_m = F_{z,k}/A$ ) y la segunda para Estado Límite Último ( $F_{z,d}/A_r$ ). UNE-EN 1337-3 no define un límite superior para estas deformaciones.

### 6.1.2 Limitación de las tensiones tangenciales producidas por fuerzas horizontales y deformaciones impuestas

Al contrario de lo que se observa para las cargas verticales de compresión, las tensiones tangenciales producidas por las fuerzas horizontales y deformaciones impuestas en la unión entre las placas de zunchado y el elastómero son uniformes.

En su apartado 2.3.1, las Recomendaciones de 1982 distinguen entre dos tipos de deformaciones: lentas y rápidas.

Las tensiones tangenciales producidas por las deformaciones lentas (como, por ejemplo, retracción, fluencia o térmico),  $\tau_{HI}$ , se obtienen mediante la siguiente expresión:

$$\tau = G \cdot \varepsilon = G \cdot \operatorname{tg}(\gamma) \quad (36)$$

$$\tau_{HI} = G \cdot \frac{u_1}{T} \leq 0,5G \quad (37)$$

$$\varepsilon_{HI} = \operatorname{tg}(\gamma) = \frac{u_1}{T} \leq 0,5 \quad (38)$$

donde:

$G$	definido anteriormente en esta guía
$\gamma$	
$\tau$	
$\varepsilon$	
$\tau_{HI}$	
$u_1$	desplazamiento del apoyo por deformaciones lentas
$T$	espesor total de elastómero (espesor neto)
$\varepsilon_{HI}$	deformación producida por las deformaciones lentas

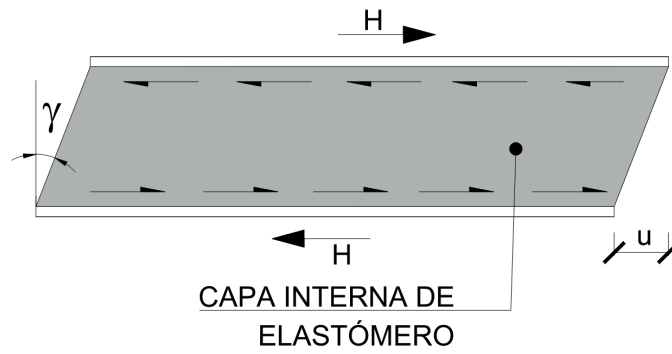


Figura 10 Ángulo de distorsión del apoyo,  $\gamma$  (figura 9 de las Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera de 1982)

En el caso de deformaciones rápidas (como, por ejemplo, el frenado) las tensiones tangenciales,  $\tau_{H2}$ , se determinan mediante la siguiente expresión:

$$\tau_{H2} = \frac{H_2}{A} \quad (39)$$

$$\tau = G \cdot \varepsilon = G \cdot \operatorname{tg}(\gamma) = G \cdot \frac{u_2}{T} \quad (40)$$

$$u_2 = \frac{H_2 \cdot T}{A \cdot G} \quad (41)$$

$$\varepsilon_{H2} = \frac{H_2}{A \cdot G} \quad (42)$$

donde:

- $\gamma$   $\tau$   $\varepsilon$   $\tau_{H2}$   $T$  definidos anteriormente
- $A$  área en planta del apoyo
- $G$  de acuerdo con las Recomendaciones 1982 se debería tomar como dos veces el módulo de elasticidad transversal para acciones lentas,  $G$
- $H_2$  fuerza horizontal instantánea
- $u_2$  desplazamiento del apoyo por deformaciones rápidas
- $\varepsilon_{H2}$  deformación producida por las deformaciones rápidas

Cuando se producen los dos efectos:

$$\tau_{H \text{ Total}} = \tau_{H1} + \tau_{H2} = \left( G \cdot \frac{u_1}{T} \right) + \left( \frac{H_2}{A} \right) \leq 0,7 G \quad (43)$$

$$\varepsilon_{H \text{ Total}} = \varepsilon_{H1} + \varepsilon_{H2} = \left( \frac{u_1}{T} \right) + \left( \frac{H_2}{2 \cdot G \cdot A} \right) \leq 0,7 \quad (44)$$

$$\varepsilon_{H \text{ Total}} = \varepsilon_{H1} + \varepsilon_{H2} = \left( \frac{u_1}{T} \right) + \left( \frac{u_2}{2 \cdot T} \right) \leq 0,7 \quad (45)$$

La tensión tangencial total (suma de las tensiones tangenciales producidas por deformaciones lentas e instantáneas) está limitada a  $0,7G$  lo que corresponde a decir que la distorsión total,  $\varepsilon_{H \text{ Total}}$ , está limitada a 0,7.

La expresión incluida en el apartado 5.3.3.3 de UNE-EN 1337-3 (véase el apartado 5.2.1.2 de esta guía, en particular, la expresión (14)) para la determinación de la deformación tangencial por desplazamientos horizontales debido a todos los efectos de las cargas (tanto deformaciones impuestas como fuerzas horizontales) es equivalente a la definida por las Recomendaciones de 1982 (expresión (45)). La deformación tangencial por desplazamientos horizontales está limitada a 0,7 en las Recomendaciones y a 1,00 en UNE-EN 1337-3. 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 corresponden al Estado Límite Último, siendo por lo tanto formulaciones equivalentes.

Se destaca que las Recomendaciones de 1982 limitan, tal como se ha indicado anteriormente, la tensión tangencial producida por las deformaciones lentas a  $0,5G$  (que corresponde a limitar la deformación tangencial o distorsión,  $\varepsilon$ , a 0,5), limitación no definida por UNE-EN 1337-3. En UNE-EN 1337-3 tampoco se hace referencia al valor del módulo de elasticidad transversal,  $G$ , a aplicar en cada caso (deformaciones lentas o instantáneas) para la determinación de  $v_{x,d}$  y  $v_{y,d}$ . En el apartado 4.2.4 de esta guía se dan algunas recomendaciones relativas al módulo de elasticidad transversal a emplear en cada caso.

**Comentario:** A título informativo, en caso de que los desplazamientos incluyan acciones sísmicas, el documento *Aparatos de apoyo de puentes* [3] incrementa el límite de la distorsión del apoyo a 1,00. El cálculo de apoyos elastoméricos en zona sísmica se trata en la *Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica* [6] [8] de la DGC.

### 6.1.3 Limitación de las tensiones tangenciales producidas por los giros

Cuando una placa de zunchado gira con respecto a otra, solidarias con la misma capa de elastómero, se genera la siguiente distribución de tensiones:

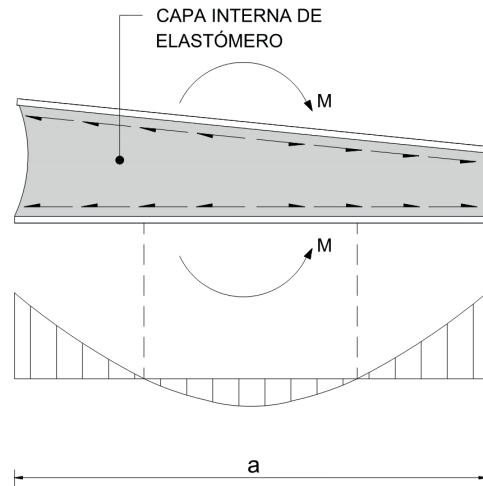


Figura 11 Distribución de tensiones tangenciales producidas por los giros (figura 12 de las Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera de 1982)

En su apartado 2.3.1, las Recomendaciones de 1982 definen la siguiente expresión para la determinación de las tensiones tangenciales debido a los giros:

$$\tau_a = \frac{G}{2} \cdot \left( \frac{a}{t} \right)^2 \cdot \alpha_t \quad (46)$$

donde:

- $G$     definido anteriormente en esta guía
- $a$     dimensión mínima en planta del apoyo
- $t$     espesor de las capas internas de material elastómero del apoyo
- $\alpha_t$    se define mediante la siguiente expresión:

$$\alpha_t = \frac{\alpha_T}{n} \quad (47)$$

- $\alpha_T$  giro total a asumir por el apoyo, igual a  $\alpha_0 + \alpha_I$ , donde  $\alpha_I$  es el giro obtenido en los cálculos y  $\alpha_0$  se debe tomar igual a 3/1000 rad para tableros hormigonados *in situ*, 10/1000 rad para tableros prefabricados y 3/1000 rad para tableros metálicos
- $n$  número de capas internas de material elastómero

La expresión (46) contempla solamente las tensiones tangenciales producidas por giros según un eje perpendicular a la dimensión  $a$  del apoyo (eje perpendicular al eje del tablero). Cuando se producen, además, rotaciones según el eje del tablero, se deberá proceder a la suma vectorial de las tensiones tangenciales obtenidas en las dos direcciones. Las Recomendaciones de 1982 no definen un límite para estas tensiones, no obstante, de acuerdo con el apartado 2.1.7 del documento *Aparatos de apoyo de puentes* [3], se deberían limitar a  $1,5G$ .

La expresión (46) es equivalente a la recogida en el apartado 5.3.3.4 de UNE-EN 1337-3 (véase la expresión (15) de esta guía), no obstante, UNE-EN 1337-3 realiza la comprobación en deformaciones en ELU y no define un límite superior para estas deformaciones. Si se divide la expresión (46) por  $G$  (para obtener la distorsión) y se sustituye  $\alpha_t$  por la expresión (47), se obtiene una expresión (48) para giro en una única dirección.

$$\varepsilon_\alpha = \frac{a^2 \alpha_T}{2 \cdot t^2 \cdot n} \quad (48)$$

## 6.2 Espesor mínimo de las placas de zunchado

La determinación del espesor mínimo de las placas de zunchado se incluye en el apartado 2.3.2 de las Recomendaciones de 1982 mediante la siguiente expresión:

$$e \geq \frac{a}{S} \cdot \frac{\sigma_m}{\sigma_e} \text{ con } e \geq 2 \text{ mm} \quad (49)$$

donde:

- $a$   $S$   $\sigma_m$  definidos anteriormente en esta guía
- $e$  espesor de las placas de zunchado
- $\sigma_e$  límite elástico del acero de las placas de zunchado

Si desarrollamos la expresión (49), sustituyendo  $S$  por la expresión (8) y  $\sigma_m$  por  $F_{z,k}/A$  se obtiene:

$$e \geq \frac{F_{z,k} \cdot t_e}{A \cdot \sigma_e} \cdot \left( \frac{2a + 2b}{b} \right) \quad (50)$$

Si procedemos de la misma forma con la expresión (18), sustituyendo  $K_p = 1,3$ ,  $K_h = 1,0$ ,  $\gamma_m = 1,0$  y  $t_1 = t_2$  (como se indica en el apartado 5.3.2 de UNE-EN 1337-3), se obtiene:

$$t_s = \frac{2,6 \cdot F_{z,d} \cdot t_i}{A_r \cdot f_y} \quad (51)$$

Como se puede observar, las expresiones (50) (Recomendaciones de 1982) y (51) (UNE-EN 1337-3) son equivalentes, con la diferencia de que UNE-EN 1337-3 realiza su comprobación en Estado Límite Último ( $F_{z,d}$ ) y las Recomendaciones de 1982 en Estado Límite de Servicio ( $F_{z,k}$ ).

A modo de ejemplo, si consideramos un apoyo cuadrado ( $a = b$ ), la ratio entre los espesores obtenidos mediante las dos normas ( $e/t_s$ ) es de  $4/2,6 = 1,54$ , 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.

### 6.3 Criterios de estabilidad

Las Recomendaciones de 1982 definen varios criterios de estabilidad a cumplir por los apoyos elastoméricos:

- Condición de no levantamiento (estabilidad a rotación de UNE-EN1337-3).
- Limitación de la compresión media máxima (estabilidad a pandeo de UNE-EN 1337-3).
- Condición de no desplazamiento (estabilidad relativa al deslizamiento de UNE-EN 1337-3).

La equivalencia de estas comprobaciones con las recogidas en UNE-EN 1337-3 se explica a continuación.

#### 6.3.1 Condición de no levantamiento (estabilidad a rotación de UNE-EN 1337-3)

La condición de no levantamiento del extremo menos cargado del apoyo se define en el apartado 2.3.2 de las Recomendaciones de 1982 mediante la siguiente expresión:

$$\alpha_t = \frac{\alpha_T}{n} \leq \frac{3}{S} \cdot \frac{t^2}{a^2} \cdot \frac{\sigma_m}{G} \quad (52)$$

$\alpha_T$ ,  $n$ ,  $S$ ,  $a$ ,  $t$ ,  $\sigma_m$ ,  $G$  definidos anteriormente.

Desarrollando la expresión (52) y sustituyendo  $S$  por la expresión (8) se obtiene:

$$\alpha_T \leq \frac{12 \cdot t^2 \cdot T \cdot \sigma_m}{a^3 \cdot G} \quad (53)$$

Esta comprobación es equivalente a la recogida en el apartado 5.3.3.6 de UNE-EN 1337-3 (expresión (19) de esta guía), tal y como se puede ver mediante la comparación entre las expresiones (53) y (54), en donde la (54) se obtiene a partir de la expresión (19), sustituyendo  $\sum v_{z,d}$  por la expresión (22) y despreciando  $1/E_b$ .

$$\alpha_T \leq \frac{9,6 \cdot t_i^2 \cdot T_e \cdot \sigma_m}{a'^3 \cdot G} \quad (54)$$

UNE-EN 1337-3 realiza sus comprobaciones en Estado Límite Último. El cociente entre las expresiones (53) y (54) es de 1,25, valor aproximado y no muy distinto al que convertiría las cargas de Estado Límite de Servicio en cargas de Estado Límite Último ( $\approx 1,4$ ), por lo que se obtendrían resultados semejantes verificando la estabilidad a rotación del apoyo mediante las dos normas.

### 6.3.2 Limitación de la tensión de compresión (estabilidad a pandeo de UNE-EN 1337-3)

En su apartado 2.3.2, las Recomendaciones de 1982 limitan las tensiones medias de compresión de los apoyos en las combinaciones de servicio a 15 MPa. A su vez, en el apartado 2.1.3, el documento *Aparatos de apoyo de puentes* [3] es más específico a la hora de definir la tensión límite de compresión de los apoyos elastoméricos, limitándola en función del tamaño de este:

Tabla 10 Tensión máxima de compresión en apoyos elastoméricos (tabla extraída del documento *Aparatos de apoyo de puentes* [3])

Área en planta	Tensión de compresión máxima ( $\sigma_{max}$ )
$\leq 400 \text{ cm}^2$	10 MPa
400-1200 $\text{cm}^2$	12,5 MPa
$\geq 1200 \text{ cm}^2$	15,0 MPa

UNE-EN 1337-3 incluye también, en su apartado 5.3.3.6, una limitación para la tensión de compresión, en este caso, en Estado Límite Último (véase la expresión (23)).

Las dos comprobaciones son equivalentes. No obstante, al contrario de los casos tratados anteriormente, la comparación entre ellas no es directa. A continuación, se incluyen las tensiones permitidas por UNE-EN 1337-3 para tres apoyos de 300, 750 y 1575  $\text{cm}^2$  de área en planta, teniendo en cuenta las dimensiones estándar de los apoyos laminados elastoméricos definidas en la tabla 3 de UNE-EN 1337-3 (tabla 3 de esta guía). Como se puede observar, si comparamos las tensiones máximas en Estado Límite de Servicio verificamos que, en general, UNE-EN 1337-3 permite una tensión en los apoyos superior a la tensión permitida por las Recomendaciones de 1982.

Tabla 11 Tensión máxima de compresión según UNE-EN 1337-3

Dimensiones en planta del apoyo (a x b) [mm]	A [cm²]	Altura total de elastómero, T <sub>e</sub> <sup>(1)</sup> [mm]	S <sub>I</sub> <sup>(2)</sup> [m²]	F <sub>z,d</sub> /A <sub>r</sub> ELU <sup>(3)</sup> [MPa]	F <sub>z,k</sub> /A <sub>r</sub> ELS <sup>(4)</sup> [MPa]
150 x 200	300	24 mm (3 capas internas de 8 mm)	5,04	17,6	12,6
250 x 300	750	40 mm (5 capas internas de 8 mm)	8,21	29,5	21,1
350 x 450	1575	60 mm (5 capas internas de 12 mm)	8,00	27,2	19,4
500 x 600	3000	96 mm (8 capas internas de 12 mm)	11,15	34,2	24,4

<sup>(1)</sup> Cumple la condición de estabilidad definida en las Recomendaciones de 1982: altura total de elastómero < a/5 (véase el apartado 6.3.4 de esta guía)

<sup>(2)</sup> Considerando un a' = a - 10 mm y b' = b - 10 mm

<sup>(3)</sup> G = 0,9 MPa

<sup>(4)</sup> La tensión máxima en ELS se ha obtenido suponiendo que  $\sigma_{ELU}/\sigma_{ELS} = 1,4$

### 6.3.3 Condición de no desplazamiento del apoyo (estabilidad relativa al deslizamiento de UNE-EN 1337-3)

También en su apartado 2.3.2, las Recomendaciones de 1982 exigen el cumplimiento de las siguientes condiciones:

$$\sigma_m \geq 2 \text{ MPa} \quad \text{en Estado Límite de Servicio} \quad (55)$$

y

$$H \leq f \cdot N \quad (56)$$

donde:

$\sigma_m$  definido anteriormente en esta guía

H fuerza horizontal concomitante con la carga vertical, N

f coeficiente de rozamiento, determinado de acuerdo con las siguientes expresiones (con  $\sigma_m$  en kg/cm²):

$$f = 0,12 + \frac{2}{\sigma_m} \quad \text{para apoyos tipo C (contacto chapa - hormigón)} \quad (57)$$

$$f = 0,10 + \frac{6}{\sigma_m} \quad \text{para apoyos tipo A y B (contacto neopreno - hormigón)} \quad (58)$$

**Comentario:** Los apoyos tipo A, B y C de las Recomendaciones de 1982 no se corresponden con los apoyos tipo A, B y C de UNE-EN 1337-3. Los apoyos tipo A y B de las Recomendaciones de 1982 son apoyos totalmente recubiertos de elastómero; los apoyos tipo C son apoyos sin recubrimiento de elastómero superior e inferior, por lo que el contacto con la estructura se realiza mediante chapas de acero.

En la definición de la tensión mínima en el apoyo, el documento *Aparatos de apoyo de puentes* [3] es más específico e indica que, para apoyos con superficie en planta inferior a 400 cm<sup>2</sup>, la tensión mínima admisible es de 2 MPa y de 3 MPa para apoyos con superficie en planta superior a 1200 cm<sup>2</sup>. Para valores intermedios de superficie, se deberá interpolar.

Las Recomendaciones de 1982 indican adicionalmente que, cuando no se verifique la expresión (55) (es decir,  $\sigma_m < 2$  MPa), deben adoptarse medidas adicionales:

- Si  $1 \text{ MPa} \leq \sigma_m \leq 2 \text{ MPa}$ , es conveniente prevenir el posible desplazamiento del apoyo.
- Si  $\sigma_m \leq 1 \text{ MPa}$ , el apoyo debe anclarse y hay que prever incluso que el apoyo llegue a transmitir reacciones negativas a las pilas o estribos.

En su apartado 5.3.3.6, UNE-EN 1337-3 recoge dos limitaciones equivalentes a las definidas por las Recomendaciones de 1982:

- 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.
- La fuerza horizontal no debe superar la fuerza vertical (concomitante) multiplicada por el coeficiente de rozamiento (véase la expresión (24)). Esta comprobación es equivalente a la establecida en las Recomendaciones de 1982, recogida en la expresión (56). Asimismo, hay equivalencia entre las expresiones para la determinación del coeficiente de rozamiento; en la expresión (25) (UNE-EN 1337-3), la tensión media en el apoyo viene dividida por 1,5, puesto que esta comprobación se realiza con cargas en Estado Límite Último.

### 6.3.4 Condición geométrica de estabilidad (altura máxima y mínima del apoyo)

Las Recomendaciones de 1982 incluyen en su apartado 2.3.2 una condición adicional de estabilidad que limita la altura total de elastómero:

$$a / 10 \leq T \leq a / 5 \quad (59)$$

donde:

$a$  mínima dimensión del apoyo

$T$  espesor total de elastómero (espesor neto)

UNE-EN 1337-3 no incluye explícitamente esta comprobación. No obstante, se trata de un criterio bastante útil a la hora de realizar el predimensionamiento de los apoyos.

## 6.4 Resumen

En la tabla siguiente, se incluye un resumen con la correspondencia entre las comprobaciones recogidas en las dos normas.

Tabla 12 Comparación entre comprobaciones de UNE-EN 1337-3 y comprobaciones de las Recomendaciones de 1982

Comprobación	Recomendaciones de 1982	UNE-EN 1337-3	Comentario
Limitación de las tensiones tangenciales entre elastómero y placas de zunchado	$\tau_N + \tau_{H\ total} + \tau_{\alpha\ total} \leq 5G$ (apartado 2.3.2)	$\varepsilon_{c,d} + \varepsilon_{q,d} + \varepsilon_{\alpha,d} \leq \varepsilon_{u,d}$ con $\varepsilon_{u,d} = \varepsilon_{u,k} / \gamma_m = 7$ (apartado 5.3.3)	$\varepsilon = \tau / G$ donde $\varepsilon$ es la deformación tangencial del apoyo. Comprobaciones equivalentes. Las Recomendaciones de 1982 realizan la comprobación en tensiones y en ELS; UNE-EN 1337-3 realiza la comprobación en deformaciones tangenciales y en ELU. $7/5 = 1.4 =$ coeficiente que permite pasar cargas de ELS a ELU. Véase el apartado 6.1 de esta guía.
	$\tau_N = \frac{1,5 \cdot \sigma_m}{S}$ (apartado 2.3.1) En su apartado 2.1.7, el documento <i>Aparatos de apoyo de puentes</i> [3] limita $\tau_N$ a $3.0G$ .	$\varepsilon_{c,d}$ es la deformación tangencial debida a las cargas de cálculo de compresión: $\varepsilon_{c,d} = \frac{1,5 \cdot F_{z,d}}{G \cdot A_r \cdot S}$ (apartado 5.3.3.2) UNE-EN 1337-3 no limita el valor de $\varepsilon_{c,d}$ .	Expresiones equivalentes. Véase el apartado 6.1.1 de esta guía.
	$\tau_{H\ total}$ es la tensión tangencial producida por las fuerzas horizontales y desplazamientos: $\tau_{H\ total} = \tau_{H1} + \tau_{H2} = \left( G \cdot \frac{u_1}{T} \right) + \left( \frac{H_2}{A} \right)$ (apartado 2.3.1) $\tau_{H\ total}$ está limitada a $0,7G$ ; $\tau_{H1}$ está limitada a $0,5G$ . $\tau_{H1}$ es la tensión tangencial producida por deformaciones lentas; $\tau_{H2}$ es la tensión tangencial producida por fuerzas instantáneas.	$\varepsilon_{q,d}$ es la deformación tangencial debido a los desplazamientos horizontales de cálculo (debido a fuerzas horizontales y deformaciones impuestas): $\varepsilon_{q,d} = \frac{v_{xy,d}}{T_q} \leq 1,00$ (apartado 5.3.3.3) $\varepsilon_{q,d}$ está limitada a $1.00$ .	Expresiones equivalentes. $\varepsilon_{q,d}$ está limitada a $1.00$ , en lugar de $0,7$ (Recomendaciones de 1982), para tener en cuenta que la comprobación se realiza en ELU. $1.00/0,7 = 1.4 =$ coeficiente que permite pasar cargas de ELS a ELU. Véase el apartado 6.1.2 de esta guía.
	$\tau_{\alpha\ total}$ es la tensión tangencial producida por los giros. $\tau_{\alpha} = \frac{G}{2} \cdot \left( \frac{a}{t} \right)^2 \cdot \alpha_t$ (apartado 2.3.1) En su apartado 2.1.7, el documento <i>Aparatos de apoyo de puentes</i> [3] limita $\tau_{\alpha\ total}$ a $1,5G$ .	$\varepsilon_{\alpha,d}$ es la deformación tangencial debida a la rotación angular de cálculo: $\varepsilon_{\alpha,d} = \frac{(a^2 \cdot \alpha_{\alpha,d} + b^2 \cdot \alpha_{b,d}) t_i}{2 \sum t_i^3}$ (apartado 5.3.3.4) UNE-EN 1337-3 no limita el valor de $\varepsilon_{\alpha,d}$ .	Expresiones equivalentes. Véase el apartado 6.1.3 de esta guía.
	$e \geq \frac{a}{S} \cdot \frac{\sigma_m}{\sigma_e}$ con $e \geq 2\ mm$ (apartado 2.3.2)	$t_S = \frac{K_p \cdot F_{z,d} \cdot (t_1 + t_2) \cdot K_h \cdot \gamma_m}{A_r \cdot f_y} \geq 2\ mm$ (apartado 5.3.3.5)	Comprobaciones equivalentes. Véase el apartado 6.2 de esta guía.
Condición de no levantamiento del extremo menos cargado del apoyo	$\alpha_t = \frac{\alpha_T}{n} \leq \frac{3}{S} \cdot \frac{f^2}{a^2} \cdot \frac{\sigma_m}{G}$ (apartado 2.3.2)	$\sum v_{z,d} - \frac{(a' \cdot \alpha_{\alpha,d} + b' \cdot \alpha_{b,d})}{K_{r,d}} \geq 0$ (apartado 5.3.3.6)	Comprobaciones equivalentes. Véase el apartado 6.3.1 de esta guía.
Limitación de la tensión de compresión por pandeo	$\sigma \leq 15\ MPa$ (apartado 2.3.2) El documento <i>Aparatos de apoyo de puentes</i> [3] es más específico en su apartado 2.1.3: Si $A \leq 400\ cm^2$ : $10\ MPa$ (ELS); Si $400\ cm^2 < A < 1200\ cm^2$ : $12,5\ MPa$ (ELS); Si $A \geq 1200\ cm^2$ : $15,0\ MPa$ (ELS).	$\frac{F_{z,d}}{A_r} < \frac{2 \cdot a' \cdot G \cdot S_I}{3 T_e}$ (apartado 5.3.3.6)	En general, la comprobación de UNE-EN 1337-3 permite tensiones de compresión superiores. Véase el apartado 6.3.2 de esta guía.
Condición de no desplazamiento	$H \leq f \cdot N$ y $\sigma_m \geq 2\ MPa$ en Estado Limite de Servicio. (apartado 2.3.2)	$F_{xy,d} \leq \mu_e \cdot F_{z,d\ min}$ y $\sigma_m \geq 3\ MPa$ en cargas permanentes. (apartado 5.3.3.6)	Comprobaciones equivalentes. Véase el apartado 6.3.3 de esta guía.
Altura máxima y mínima del apoyo	$a / 10 \leq T \leq a / 5$ (apartado 2.3.2)	No existe una comprobación equivalente en UNE-EN 1337-3.	-



# 7

## CRITERIOS DE PREDIMENSIONAMIENTO DE UN APOYO ELASTOMÉRICO

La definición de los apoyos de una estructura implica, inevitablemente, un cálculo iterativo. Si bien la distribución de las cargas verticales no es dependiente de la geometría de los apoyos, sí lo es la distribución de las fuerzas horizontales y el reparto de los desplazamientos generados por las deformaciones impuestas entre apoyos y subestructura.

Para realizar el predimensionamiento de los apoyos, y al desconocer la geometría de éstos, se propone, a continuación, un procedimiento que permite obtener una primera distribución de las fuerzas horizontales y desplazamientos en la estructura:

- Fuerzas horizontales longitudinales: reparto igualitario de las fuerzas entre los distintos ejes de apoyos.
- Fuerzas horizontales transversales: reparto en función del ancho tributario de cada eje de apoyos.
- Desplazamientos debido a deformaciones impuestas:
  - En estribos, se puede suponer que la totalidad de las deformaciones impuestas por el tablero la asumen los apoyos, puesto que el estribo puede considerarse, en general, infinitamente más rígido que éstos.
  - En los ejes de pilas, puede considerarse que las deformaciones impuestas por el tablero la asumen en parte los apoyos y en parte las pilas. El reparto del desplazamiento entre apoyos y pilas dependerá de la rigidez relativa entre los dos elementos. Como primera aproximación podría admitirse que el desplazamiento impuesto por el tablero se reparte de forma igual entre apoyo y pila.

Conociendo la distribución de cargas verticales, teniendo una primera aproximación de las cargas horizontales y desplazamientos y teniendo en cuenta las comprobaciones exigidas por UNE-EN1337-3 para la verificación de los apoyos, en el predimensionamiento de los apoyos se buscará una geometría que permita verificar tres condiciones:

- Cumplimiento de la tensión mínima bajo cargas permanentes: en su apartado 5.3.3.6, la norma UNE-EN 1337-3 exige que, en la hipótesis de cargas permanentes, la tensión de compresión del apoyo no sea inferior a 3 MPa. El cumplimiento de esta condición busca evitar la reptación del apoyo y permitirá limitar superiormente las dimensiones en planta del apoyo.
- Cumplimiento de la tensión máxima de compresión en Estado Límite Último: la norma UNE-EN1337-3 limita la tensión máxima de compresión de los apoyos en Estado Límite Último mediante la verificación de la condición de estabilidad a pandeo expuesta en su apartado 5.3.3.6. Tal como se ha descrito en el apartado 6.3.2 de esta guía, esta condición es equivalente a la limitación a 15 MPa, para combinaciones de Estado Límite de Servicio, según las Recomendaciones de 1982. Al limitar la tensión de compresión a 20-25 MPa en Estado Límite Último (equivalente a 14-18 MPa en Estado Límite de Servicio), se limitan inferiormente las dimensiones en planta de los apoyos.
- Cumplimiento de la condición de máxima deformación tangencial por desplazamientos horizontales: la limitación de la deformación tangencial por desplazamientos horizontales a valores iguales o inferiores a 1,0 es otra de las condiciones exigidas por la norma UNE-EN1337-3 (en su apartado 5.3.3.3). Esta condición permitirá predimensionar la altura de elastómero del apoyo.

Según el apartado 5.3.3.3 de UNE-EN1337-3:

$$\varepsilon_{q,d} = \frac{v_{xy,d}}{T_q} \leq 1,00 \quad (60)$$

donde:

$$v_{xy,d} = \sqrt{v_{x,d}^2 + v_{y,d}^2} \quad (61)$$

$$v_{xy,d} = \sqrt{(v'_{x,d} + v''_{x,d})^2 + (v'_{y,d} + v''_{y,d})^2} \quad (62)$$

$$v_{xy,d} = \sqrt{\left(v'_{x,d} + \frac{F''_{x,d} \cdot T_q}{G \cdot A}\right)^2 + \left(v'_{y,d} + \frac{F''_{y,d} \cdot T_q}{G \cdot A}\right)^2} \quad (63)$$

y donde:

$v_{xy,d}$  máximo desplazamiento horizontal de cálculo, obtenido por la suma vectorial del desplazamiento en la dirección perpendicular al eje del tablero (transversal) con el desplazamiento en la dirección del eje del tablero (longitudinal), generado

tanto por las fuerzas instantáneas como por las deformaciones impuestas (véanse las expresiones (61), (62) y (63))

$v_{x,d} = v'_{x,d} + v''_{x,d}$  desplazamiento horizontal de cálculo en la dirección de la dimensión  $a$  del apoyo, generado por las deformaciones impuestas y las fuerzas instantáneas

$v'_{x,d}$  desplazamiento horizontal de cálculo en la dirección de la dimensión  $a$  del apoyo, generado por las deformaciones impuestas

$v''_{x,d}$  desplazamiento horizontal de cálculo en la dirección de la dimensión  $a$  del apoyo, generado por las fuerzas instantáneas

$v_{y,d} = v'_{y,d} + v''_{y,d}$  desplazamiento horizontal de cálculo en la dirección de la dimensión  $b$  del apoyo, generado por las deformaciones impuestas y las fuerzas instantáneas

$v'_{y,d}$  desplazamiento horizontal de cálculo en la dirección de la dimensión  $b$  del apoyo, generado por las deformaciones impuestas

$v''_{y,d}$  desplazamiento horizontal de cálculo en la dirección de la dimensión  $b$  del apoyo, generado por las fuerzas instantáneas

$F''_{x,d}$  fuerza horizontal instantánea de cálculo en la dirección de la dimensión  $a$  del apoyo

$F''_{y,d}$  fuerza horizontal instantánea de cálculo en la dirección de la dimensión  $b$  del apoyo

$T_q$  espesor total de las capas de material elastómero que se deforman a cortante, incluyendo las capas exteriores superior e inferior siempre y cuando su deformación a cortante no esté restringida

**Comentario:** A la hora de determinar el valor de  $T_q$ , se deberá tener en cuenta que en su apartado 5.3.3, UNE-EN 1337-3 indica que los cálculos de ELU no deben aplicarse a las capas externas superior e inferior cuando el espesor de estas sea igual o inferior a 2,5 milímetros.

En el caso de estructuras complejas en las que la estimación de una primera distribución de las fuerzas y desplazamientos horizontales no sea evidente, se podrá recurrir al criterio recogido en las Recomendaciones de 1982, para la estimación de la altura de elastómero del apoyo: en dicho documento, para garantizar la estabilidad del apoyo, la altura total del elastómero se limita a 1/5 de la dimensión mínima del apoyo ( $a$ ). Asimismo, la altura mínima de elastómero debe ser superior a 1/10 de la dimensión mínima del apoyo.

$$a / 10 \leq T \leq a / 5 \quad (64)$$

Los criterios de predimensionamiento recogidos en este capítulo permiten estimar las dimensiones de un apoyo elastomérico, pero no eximen de la realización de todas las comprobaciones incluidas en el apartado 5.3.3 de UNE-EN 1337-3.



# 8

## EJEMPLO DE PLANO DE APOYOS A INCLUIR EN PROYECTO

Los planos de apoyos de un proyecto deben incluir, como mínimo, la siguiente información:

- 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. Estas reacciones, desplazamientos y giros deben indicarse para las hipótesis de:
  - Reacción vertical máxima ( $F_{z,d,max}$ )
  - Reacción vertical mínima ( $F_{z,d,min}$ )
  - Fuerza longitudinal máxima ( $F''_{x,d,max}$ )
  - Fuerza transversal máxima ( $F''_{y,d,max}$ )
  - Desplazamiento longitudinal máximo ( $v'_{x,d,max}$ )
  - Desplazamiento transversal máximo ( $v'_{y,d,max}$ )
  - Giro longitudinal máximo ( $\alpha_{a,d,max}$ )
  - Giro transversal máximo ( $\alpha_{b,d,max}$ )

Las hipótesis de cálculo de fuerza longitudinal o transversal máxima, desplazamiento longitudinal o transversal máximo y giro transversal máximo pueden ser concomitantes con varios valores de reacción vertical, debido a los distintos valores que puede asumir la carga permanente: carga permanente máxima a  $T_0$  o  $T_\infty$  y carga permanente mínima a  $T_0$  o  $T_\infty$ . Por sencillez, en la tabla de reacciones se podrán

presentar los valores de reacciones, desplazamientos y giros únicamente para una de las situaciones de carga permanente (la más condicionante); no obstante, en el dimensionamiento de cualquier aparato de apoyo deben ser analizadas todas las hipótesis.

- 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.

A continuación, se incluyen dos ejemplos de plano de apoyos a incluir en un proyecto. El primer ejemplo corresponde a un puente con tablero de hormigón; el segundo a un puente con tablero metálico. La necesidad de distinción entre los dos tipos de tableros viene asociada a los diferentes métodos empleados para garantizar la horizontalidad del contacto entre tablero y apoyo: en el primer ejemplo se necesitan mesetas de nivelación de hormigón; en el segundo ejemplo se necesitan cuñas de nivelación metálicas. En esta guía, por simplicidad, se incluyen únicamente las tablas con las reacciones en Estado Límite Último para algunos de los ejes de apoyos. Un plano de apoyos de proyecto deberá definir las reacciones para todos los ejes de apoyo.

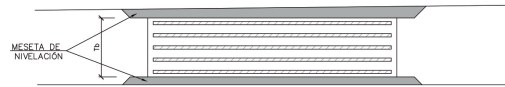
La información incluida en los ejemplos corresponde a la información mínima a incluir en los planos de apoyos de proyecto. Cada proyecto particular podrá necesitar información complementaria específica.



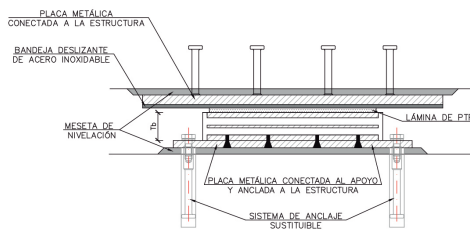
CUADRO DE DEFINICIÓN DE APARATOS DE APOYO			
EJE DE APOYO	TIPO DE APOYO	DIMENSIONES $a \times b \times t_b$ ( $T_e$ ) $D \times t_b$ ( $T_e$ )	COMPOSICIÓN DEL APARATO DE APOYO
E-1 TOPE ANTI-LEVANT.	TIPO C-E	200x250x60(24)	LÁMINA PTFE + PLACA EXTERNA DE ACERO DE 15 MM + 3 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 8 MM Y 2 PLACAS DE ACERO DE 3 MM + PLACA EXTERNA DE ACERO DE 15 MM
E-1	TIPO C	400x500x144(84)	PLACA EXTERNA DE ACERO DE 18 MM + 7 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 12 MM Y 6 PLACAS DE ACERO DE 4 MM + PLACA EXTERNA DE ACERO DE 18 MM
P-1	TIPO B	900x135(100)	CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM + 5 PLACAS DE ELASTÓMERO DE 20 MM Y 6 PLACAS DE ACERO DE 5 MM + CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM
P-2	TIPO B	900x135(100)	CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM + 5 PLACAS DE ELASTÓMERO DE 20 MM Y 6 PLACAS DE ACERO DE 5 MM + CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM
E-2	TIPO C	400x500x144(84)	PLACA EXTERNA DE ACERO DE 18 MM + 7 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 12 MM Y 6 PLACAS DE ACERO DE 4 MM + PLACA EXTERNA DE ACERO DE 18 MM
E-2 TOPE ANTI-LEVANT.	TIPO C-E	200x250x60(24)	LÁMINA PTFE + PLACA EXTERNA DE ACERO DE 15 MM + 3 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 8 MM Y 2 PLACAS DE ACERO DE 3 MM + PLACA EXTERNA DE ACERO DE 15 MM

LEYENDA:

a [mm]: DIMENSIÓN LONGITUDINAL DE UN APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR  
b [mm]: DIMENSIÓN TRANSVERSAL DE UN APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR  
D [mm]: DIÁMETRO DE UN APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO CIRCULAR  
 $t_b$  [mm]: ESPESOR TOTAL DEL APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO  
 $T_e$  [mm]: ESPESOR NETO DE GOMA DEL APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO (SEGÚN LO INDICADO EN UNE-EN 1337-3, NO SE TIENE EN CUENTA LAS CAPAS DE ELASTÓMERO EXTERIORES SI ESTAS TIENEN UN ESPESOR IGUAL O INFERIOR A 2,5 MILÍMETROS)



DETALLE 1: VISTA LONGITUDINAL (A-A) DE APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO TIPO B  
SIN ESCALA  
NOTA: CROQUIS ORIENTATIVO. LAS DIMENSIONES DE LOS APOYOS SE DEFINEN EN EL CUADRO DE DEFINICIÓN DE APARATOS DE APOYO

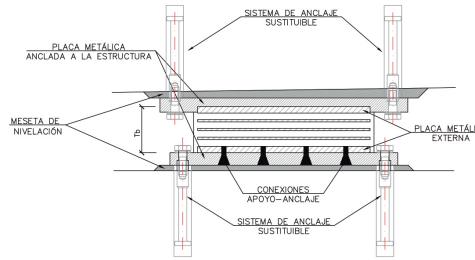


DETALLE 3: VISTA LONGITUDINAL (A-A) DE APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO TIPO C-E.  
SIN ESCALA  
NOTA: CROQUIS ORIENTATIVO. LAS DIMENSIONES DE LOS APOYOS SE DEFINEN EN EL CUADRO DE DEFINICIÓN DE APARATOS DE APOYO

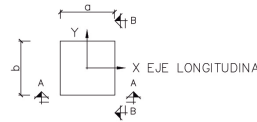
LEYENDA DE APARATOS DE APOYO ELASTOMÉRICOS

- APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR TIPO C
- APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR TIPO C-E
- APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO CIRCULAR TIPO B

- TIPO B: APOYOS ELASTOMÉRICOS.
- TIPO C: APOYOS ELASTOMÉRICOS ANCLADOS.
- TIPO C-E: APOYOS ELASTOMÉRICOS TIPO C PROVISTOS DE UNA LÁMINA DE PTFE EN LA CARA SUPERIOR, ENCASTRADA SOBRE UNA PLACA DE ACERO VULCANIZADA AL APOYO.



DETALLE 2: VISTA LONGITUDINAL (A-A) DE APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO TIPO C  
SIN ESCALA  
NOTA: CROQUIS ORIENTATIVO. LAS DIMENSIONES DE LOS APOYOS SE DEFINEN EN EL CUADRO DE DEFINICIÓN DE APARATOS DE APOYO



CROQUIS DE PLANTA DE APARATO DE APOYO  
SIN ESCALA

NOTAS GENERALES:

- LOS APARATOS DE APOYO DEBERÁN CONTAR CON MARCADO CE Y ESTAR DISEÑADOS Y FABRICADOS CONFORME A LA NORMA UNE-EN 1337
- TODOS LOS APOYOS DEBEN SER SUSTITUIBLES
- LAS DIMENSIONES DE LOS APOYOS SON APROXIMADAS Y DEBERÁN SER CONFIRMADAS POR EL FABRICANTE, CUALQUIER CAMBIO EN LA GEOMETRÍA EN PLANTA Y ESPESOR NETO TOTAL QUE NO CUMPLA CON LAS TOLERANCIAS DE LA NORMA UNE-EN 1337-3, EXIGIRÁ VERIFICAR LA AFECTACIÓN AL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL FUENTE
- LOS VALORES ADOPTADOS PARA EL DISEÑO DE LOS APOYOS Y DE LA SUBESTRUCTURA HAN SIDO:
  - $G_{nom} = 0,9 \text{ MPa}$  (DEFORMACIONES LENTAS)
  - $G_{inst} = 1,8 \text{ MPa}$  (FUERZAS INSTANTÁNEAS)
  - DISTORSIÓN MÁXIMA, EN ELU, DEBIDO A FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES = 1,0
- LOS APOYOS SE DEBERÁN INSTALAR EN SUPERFICIES TOTALMENTE HORIZONTALES, CUMPLIENDO CON LAS TOLERANCIAS DE LA NORMA UNE-EN 1337, MEDIANTE LA EJECUCIÓN DE MESETAS DE NIVELACIÓN (VER NOTAS DE MESETAS DE NIVELACIÓN)
- EL SISTEMA DE ANCLAJE DEFINIDO EN ESTE PLANO ES MERAMENTE ORIENTATIVO. EL SISTEMA DE ANCLAJE DE LOS APARATOS DE APOYO DEBERÁ SER DISEÑADO POR EL SUMINISTRADOR DE LOS MISMOS PARA LAS FUERZAS HORIZONTALES DEFINIDAS EN EL CUADRO DE DEFINICIÓN DE REACCIONES EN APARATOS DE APOYO Y DE FORMA QUE SE GARANTICE LA TRANSMISIÓN DE FUERZAS ENTRE TABLERO Y SUBESTRUCTURA
- EL SISTEMA DE ANCLAJE DE LOS APARATOS DE APOYOS DEBERÁ GARANTIZAR LA SUSTITUCIÓN DE LOS MISMOS
- SE DEBERÁN DEFINIR LOS REFUERZOS NECESARIOS PARA LA CORRECTA TRANSMISIÓN DE LAS FUERZAS VERTICALES Y HORIZONTALES AL TABLERO Y SUBESTRUCTURA
- SE DEBERÁ COMPROBAR EL ARMADO LOCAL DE LAS MESETAS QUE SE VEA AFECTADO POR EL SISTEMA DE ANCLAJE PROPUESTO
- LAS PLACAS METÁLICAS QUE QUEDEN EXPUESTAS A LA ATMÓSFERA DEBERÁN SER CONVENIENTEMENTE PROTEGIDAS (PINTURA, VULCANIZADA CON GOMA, ACERO INOXIDABLE, ETC.)
- EL FABRICANTE DEBERÁ GARANTIZAR, MEDIANTE EL DEBIDO CERTIFICADO Y DE ACUERDO A LA NORMATIVA VIGENTE, LA VIDA ÚTIL DE LAS DIFERENTES PARTES DEL APOYO TIPO C-E.
- EL MATERIAL DESLIZANTE DEBERÁ ASEGURAR UN ROZAMIENTO MÁXIMO DEL 3% DE LA CARGA VERTICAL Y UNA VIDA ÚTIL CONFORME A LOS REQUISITOS DE LA NORMATIVA VIGENTE.

NOTAS PARA EL CUADRO DE DEFINICIÓN DE APOYOS:

- EL ESPESOR BRUTO ( $t_b$ ) DE LOS APARATOS DE APOYO TIPO C NO TIENE EN CUENTA LAS PLACAS DE FIJACIÓN DE LOS APOYOS A LA ESTRUCTURA (VEASE EL DETALLE 2)
- EL ESPESOR BRUTO ( $t_b$ ) DE LOS APARATOS DE APOYO TIPO C-E NO TIENE EN CUENTA NI LAS PLACAS DE FIJACIÓN DE LOS APOYOS A LA ESTRUCTURA NI LA LÁMINA PTFE (VEASE EL DETALLE 3)
- EL ESPESOR NETO ( $T_e$ ) NO TIENE EN CUENTA LAS CAPAS DE ELASTÓMERO EXTERIORES SI ESTAS TIENEN UN ESPESOR IGUAL O INFERIOR A 2,5 MILÍMETROS

NOTAS PARA LAS MESETAS NIVELACIÓN:

- LAS MESETAS DE NIVELACIÓN DEBERÁN GARANTIZAR EL APOYO DE LOS APARATOS DE APOYO DE FORMA PLANA Y HORIZONTAL
- TODAS LAS MESETAS SE EJECUTARÁN MEDIANTE UN GROUT DE ALTA RESISTENCIA ( $f_{ck, min} = 50 \text{ MPa}$  A LAS 48 H), AUTONIVELANTE Y SIN RETRACCIÓN
- LAS MESETAS QUE SUPEREN LOS 5 CM DE ALTURA DEBERÁN SER ARMADAS
- EL SOBRECARGO DE LAS MESETAS RESPECTO A LAS DIMENSIONES DEL APOYO DEBERÁ SER, COMO MÍNIMO, 1,5 VECES LA ALTURA DE ESTA



**LEYENDA DE APARATOS DE APOYO ELASTOMÉRICOS**

- APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR TIPO C
- APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR TIPO C-E
- APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO CIRCULAR TIPO B

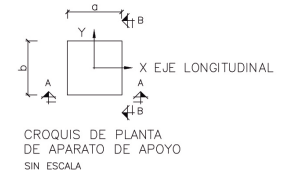
- **TIPO B:** APOYOS ELASTOMÉRICOS.
- **TIPO C:** APOYOS ELASTOMÉRICOS ANCLADOS.
- **TIPO C-E:** APOYOS ELASTOMÉRICOS TIPO C PROVISTOS DE UNA LAMINA DE PTFE EN LA CARA SUPERIOR, ENCASTRADA SOBRE UNA PLACA DE ACERO VULCANIZADA AL APOYO.

**CUADRO DE DEFINICIÓN DE REACCIONES EN APOYOS: E-1 (APOYOS INFERIORES)**

COMBINACIÓN DE ESTADO LÍMITE ÚLTIMO	$F_{x,d}$ [kN]	$F''_{x,d}$ (long) [kN]	$F''_{y,d}$ (transv) [kN]	$v'_{x,d}$ (long) [mm]	$v'_{y,d}$ (transv) [mm]	$\alpha_{o,d}$ (long) [mrad]	$\alpha_{o,d}$ (transv) [mrad]
$F_{x,d}$ máx	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F_{x,d}$ mín	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{y,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$v'_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$v'_{y,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (longitudinal)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor

**CUADRO DE DEFINICIÓN DE REACCIONES EN APOYOS: E-1 (APOYOS ANTI-LEVANTAMIENTO)**

COMBINACIÓN DE ESTADO LÍMITE ÚLTIMO	$F_{x,d}$ [kN]	$F''_{x,d}$ (long) [kN]	$F''_{y,d}$ (transv) [kN]	$v'_{x,d}$ (long) [mm]	$v'_{y,d}$ (transv) [mm]	$\alpha_{o,d}$ (long) [mrad]	$\alpha_{o,d}$ (transv) [mrad]
$F_{x,d}$ máx	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F_{x,d}$ mín	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{y,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$v'_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$v'_{y,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (longitudinal)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor



**CUADRO DE DEFINICIÓN DE REACCIONES EN APOYOS: P-1**

COMBINACIÓN DE ESTADO LÍMITE ÚLTIMO	$F_{x,d}$ [kN]	$F''_{x,d}$ (long) [kN]	$F''_{y,d}$ (transv) [kN]	$v'_{x,d}$ (long) [mm]	$v'_{y,d}$ (transv) [mm]	$\alpha_{o,d}$ (long) [mrad]	$\alpha_{o,d}$ (transv) [mrad]
$F_{x,d}$ máx	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F_{x,d}$ mín	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{y,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$v'_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$v'_{y,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (longitudinal)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor

**LEYENDA DEL CUADRO DE DEFINICIÓN DE REACCIONES:**

$F_{x,d}$  [kN]: REACCIÓN VERTICAL, EN ELU

$F''_{x,d}$  [kN]: REACCIÓN HORIZONTAL LONGITUDINAL, EN ELU (FUERZAS INSTANTÁNEAS)

$F''_{y,d}$  [kN]: REACCIÓN HORIZONTAL TRANSVERSAL, EN ELU (FUERZAS INSTANTÁNEAS)

$v'_{x,d}$  [mm]: MOVIMIENTO IMPUESTO EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL, EN ELU (DEFORMACIONES IMPUESTAS)

$v'_{y,d}$  [mm]: MOVIMIENTO IMPUESTO EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL, EN ELU (DEFORMACIONES IMPUESTAS)

$\alpha_{o,d}$  [mRad]: GIRO A LO LARGO DE LA DIMENSIÓN a DEL APOYO (GIRO LONGITUDINAL), EN ELU

$\alpha_{o,d}$  [mRad]: GIRO A LO LARGO DE LA DIMENSIÓN b DEL APOYO (GIRO TRANSVERSAL), EN ELU

LOS MOVIMIENTOS IMPUESTOS,  $v$ , NO INCLUYEN LAS DEFORMACIONES GENERADAS POR LAS FUERZAS HORIZONTALES INSTANTÁNEAS, F

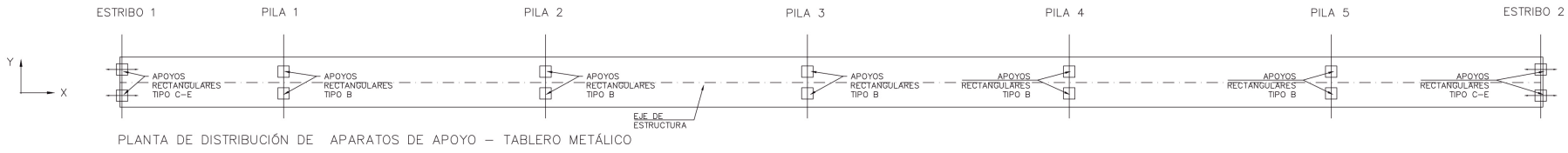
LAS FUERZAS HORIZONTALES INSTANTÁNEAS, F, NO INCLUYEN LAS FUERZAS GENERADAS POR LAS DEFORMACIONES IMPUESTAS,  $v$

**NOTA:**

EN ESTE EJEMPLO, POR SIMPLICIDAD, SE INCLUYEN ÚNICAMENTE LAS TABLAS CON LAS REACCIONES EN ESTADO LÍMITE ÚLTIMO PARA EL ESTRIBO E-1 (APOYOS INFERIORES Y ANTI-LEVANTAMIENTO) Y PILA P-1. UN PLANO DE APOYOS DE PROYECTO DEBERÁ DEFINIR LAS REACCIONES PARA TODOS LOS EJES DE APOYO.

**NOTA (\*):**

LAS HIPÓTESIS DE CÁLCULO DE FUERZA LONGITUDINAL O TRANSVERSAL MÁXIMA, DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL O TRANSVERSAL MÁXIMO Y GIRO TRANSVERSAL MÁXIMO PUEDEN SER CONCOMITANTES CON VARIOS VALORES DE REACCIÓN VERTICAL, DEBIDO A LOS DISTINTOS VALORES QUE PUEDE ASUMIR LA CARGA PERMANENTE: CARGA PERMANENTE MÁXIMA A  $T_0$  O  $T_{perm0}$  Y CARGA PERMANENTE MÍNIMA A  $T_0$  Y  $T_{perm0}$ . POR SENCILLEZ, EN LA TABLA DE REACCIONES SE PODRÁN EXPONER LOS VALORES DE REACCIONES, DESPLAZAMIENTOS Y GIROS ÚNICAMENTE PARA UNA DE LAS SITUACIONES DE CARGA PERMANENTE (LA MÁS CONDICIONANTE). NO OBSTANTE, EN EL DIMENSIONAMIENTO DE CUALQUIER APARATO DE APOYO DEBEN SER ANALIZADAS TODAS LAS HIPÓTESIS.



**CUADRO DE DEFINICIÓN DE APARATOS DE APOYO**

EJE DE APOYO	TIPO DE APOYO	DIMENSIONES $a \times b \times t_b$ ( $T_b$ ) D x $t_b$ ( $T_b$ )	COMPOSICIÓN DEL APARATO DE APOYO
E-1	TIPO C-E	450x600x100(48)	PLACA EXTERNA DE ACERO DE 20 MM + 4 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 12 MM Y 3 PLACAS DE ACERO DE 4 MM + PLACA EXTERNA DE ACERO DE 20 MM
P-1	TIPO B	800x800x210(160)	CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM + 8 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 20 MM Y 9 PLACAS DE ACERO DE 5 MM + CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM
P-2	TIPO B	800x800x135(100)	CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM + 5 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 20 MM Y 6 PLACAS DE ACERO DE 5 MM + CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM
P-3	TIPO B	800x800x135(100)	CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM + 5 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 20 MM Y 6 PLACAS DE ACERO DE 5 MM + CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM
P-4	TIPO B	800x800x135(100)	CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM + 5 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 20 MM Y 6 PLACAS DE ACERO DE 5 MM + CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM
P-5	TIPO B	800x800x210(160)	CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM + 8 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 20 MM Y 9 PLACAS DE ACERO DE 5 MM + CAPA EXTERNA DE ELASTÓMERO DE 2,5 MM
E-2	TIPO C-E	450x600x100(48)	PLACA EXTERNA DE ACERO DE 20 MM + 4 CAPAS DE ELASTÓMERO DE 12 MM Y 3 PLACAS DE ACERO DE 4 MM + PLACA EXTERNA DE ACERO DE 20 MM

**LEYENDA:**  
 $a$  [mm]: DIMENSIÓN LONGITUDINAL DE UN APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR  
 $b$  [mm]: DIMENSIÓN TRANSVERSAL DE UN APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR  
 $D$  [mm]: DIÁMETRO DE UN APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO CIRCULAR  
 $T_b$  [mm]: ESPESOR TOTAL DEL APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO  
 $T_n$  [mm]: ESPESOR NETO DE GOMA DEL APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO (SEGÚN LO INDICADO EN UNE-EN 1337-3, NO SE TIENE EN CUENTA LAS CAPAS DE ELASTÓMERO EXTERIORES SI ESTAS TIENEN UN ESPESOR IGUAL O INFERIOR A 2,5 MILÍMETROS)

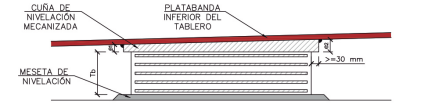
**LEYENDA DE APARATOS DE APOYO ELASTOMÉRICOS**

□ APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR TIPO B  
 ◻ APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR TIPO C-E

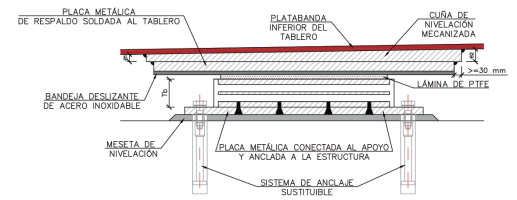
- TIPO B: APOYOS ELASTOMÉRICOS.
- TIPO C-E: APOYOS ELASTOMÉRICOS TIPO C PROVISTOS DE UNA LÁMINA DE PTFE EN LA CARA SUPERIOR, ENCASTRADA SOBRE UNA PLACA DE ACERO VULCANIZADA AL APOYO.

**CUÑAS DE NIVELACIÓN:**

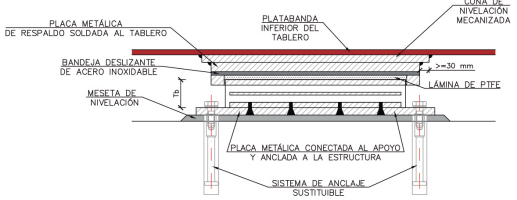
1. LAS CUÑAS DE NIVELACIÓN DEBERÁN GARANTIZAR EL CORRECTO APOYO DEL TABLERO SOBRE LOS APOYOS Y LA PENDIENTE EN ALZADO CORRESPONDIENTE A CADA PILA
2. TANTO LAS MESETAS COMO LAS CUÑAS DE NIVELACIÓN DEBERÁN RESPETAR LAS HUELGAS Y RESGUARDOS MÍNIMOS DE LOS APARATOS DE APOYO ESTABLECIDOS EN LOS PLANOS



DETALLE 1: VISTA LONGITUDINAL (A-A) DE APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO TIPO B SIN ESCALA  
 NOTA: CROQUIS ORIENTATIVO. LAS DIMENSIONES DE LOS APOYOS SE DEFINEN EN EL CUADRO DE DEFINICIÓN DE APARATOS DE APOYO



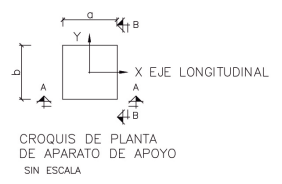
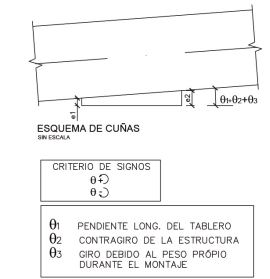
DETALLE 2: VISTA LONGITUDINAL (A-A) DE APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO TIPO C-E SIN ESCALA  
 NOTA: CROQUIS ORIENTATIVO. LAS DIMENSIONES DE LOS APOYOS SE DEFINEN EN EL CUADRO DE DEFINICIÓN DE APARATOS DE APOYO



DETALLE 3: VISTA TRANSVERSAL (B-B) DE APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO TIPO C-E SIN ESCALA  
 NOTA: CROQUIS ORIENTATIVO. LAS DIMENSIONES DE LOS APOYOS SE DEFINEN EN EL CUADRO DE DEFINICIÓN DE APARATOS DE APOYO

**CUADRO DE DEFINICIÓN DE CUÑAS**

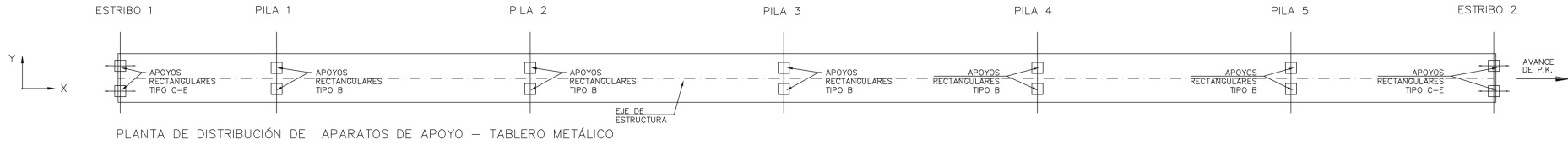
APOYO	$\theta_1$ [mrad]	$\theta_2$ [mrad]	$\theta_3$ [mrad]	$\theta_{Total}$ [mrad]	e1[mm]	e2[mm]
E-1	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
P-1	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
P-2	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
P-3	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
P-4	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
P-5	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
E-2	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor



- NOTAS GENERALES:**
1. LOS APARATOS DE APOYO DEBERÁN CONTAR CON MARCADO CE Y ESTAR DISEÑADOS Y FABRICADOS CONFORME A LA NORMA UNE-EN 1337
  2. TODOS LOS APOYOS DEBEN SER SUSTITUIBLES
  3. LAS DIMENSIONES DE LOS APOYOS SON APROXIMADAS Y DEBERÁN SER CONFIRMADAS POR EL FABRICANTE, CUALQUIER CAMBIO EN LA GEOMETRÍA EN PLANTA Y ESPESOR NETO TOTAL QUE NO CUMPLA CON LAS TOLERANCIAS DE LA NORMA UNE-EN 1337-3, EXIGIRÁ VERIFICAR LA AFEECIÓN AL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PUENTE
  4. LOS VALORES ADOPTADOS PARA EL DISEÑO DE LOS APOYOS Y DE LA SUBESTRUCTURA HAN SIDO:
    - $G_{nom} = 0,9$  MPa (DEFORMACIONES LENTAS)
    - $G_{inst} = 1,8$  MPa (FUERZAS INSTANTÁNEAS)
    - DISTORSIÓN MÁXIMA, EN ELU, DEBIDO A FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES = 1,0
  5. LOS APOYOS SE DEBERÁN INSTALAR EN SUPERFICIES TOTALMENTE HORIZONTALES, CUMPLIENDO CON LAS TOLERANCIAS DE LA NORMA UNE-EN 1337, MEDIANTE LA EJECUCIÓN DE MESETAS DE NIVELACIÓN (VER NOTAS DE MESETAS DE NIVELACIÓN)
  6. EL SISTEMA DE ANCLAJE DEFINIDO EN ESTE PLANO ES MERAMENTE ORIENTATIVO. EL SISTEMA DE ANCLAJE DE LOS APARATOS DE APOYO DEBERÁ SER DISEÑADO POR EL SUMINISTRADOR DE LOS MISMOS PARA LAS FUERZAS HORIZONTALES DEFINIDAS EN EL CUADRO DE DEFINICIÓN DE REACCIONES EN APARATOS DE APOYO Y DE FORMA QUE SE GARANTICE LA TRANSMISIÓN DE FUERZAS ENTRE TABLERO Y SUBESTRUCTURA
  7. EL SISTEMA DE ANCLAJE DE LOS APARATOS DE APOYOS DEBERÁ GARANTIZAR LA SUSTITUCIÓN DE LOS MISMOS
  8. SE DEBERÁN DEFINIR LOS REFUERZOS NECESARIOS PARA LA CORRECTA TRANSMISIÓN DE LAS FUERZAS VERTICALES Y HORIZONTALES AL TABLERO Y SUBESTRUCTURA
  9. SE DEBERÁ COMPROBAR EL ARMADO LOCAL DE LAS MESETAS QUE SE VEA AFECTADO POR EL SISTEMA DE ANCLAJE PROPUESTO
  10. LAS PLACAS METÁLICAS QUE QUEDEN EXPUESTAS A LA ATMÓSFERA DEBERÁN SER CONVENIENTEMENTE PROTEGIDAS (PINTURA, VULCANIZADO CON GOMA, ACERO INOXIDABLE, ETC.)
  11. EL FABRICANTE DEBERÁ GARANTIZAR, MEDIANTE EL DEBIDO CERTIFICADO Y DE ACUERDO A LA NORMATIVA VIGENTE, LA VIDA ÚTIL DE LAS DIFERENTES PARTES DEL APOYO TIPO C-E.
  12. EL MATERIAL DESLIZANTE DEBERÁ ASEGURAR UN ROZAMIENTO MÁXIMO DEL 3% DE LA CARGA VERTICAL Y UNA VIDA ÚTIL CONFORME A LOS REQUISITOS DE LA NORMATIVA VIGENTE.

- NOTAS PARA EL CUADRO DE DEFINICIÓN DE APOYOS:**
1. EL ESPESOR BRUTO ( $T_b$ ) DE LOS APARATOS DE APOYO TIPO C-E NO TIENE EN CUENTA NI LAS PLACAS DE FIJACIÓN DE LOS APOYOS A LA LÁMINA PTFE (VÉASE EL DETALLE 3)
  2. EL ESPESOR NETO ( $T_n$ ) NO TIENE EN CUENTA LAS CAPAS DE ELASTÓMERO EXTERIORES SI ESTAS TIENEN UN ESPESOR IGUAL O INFERIOR A 2,5 MILÍMETROS

- NOTAS PARA LAS MESETAS NIVELACIÓN:**
1. LAS MESETAS DE NIVELACIÓN DEBERÁN GARANTIZAR EL APOYO DE LOS APARATOS DE APOYO DE FORMA PLANA Y HORIZONTAL
  2. TODAS LAS MESETAS SE EJECUTARÁN MEDIANTE UN GROUT DE ALTA RESISTENCIA ( $f_{ck, min} = 50$  MPa A LAS 48 H), AUTONIVELANTE Y SIN RETRACCIÓN
  3. LAS MESETAS QUE SUPEREN LOS 5 CM DE ALTURA DEBERÁN SER ARMADAS
  4. EL SOBREAÑO DE LAS MESETAS RESPECTO A LAS DIMENSIONES DEL APOYO DEBERÁ SER, COMO MÍNIMO, 1,5 VECES LA ALTURA DE ESTA



CUADRO DE DEFINICIÓN DE REACCIONES EN APOYOS: E-1

COMBINACIÓN DE ESTADO LÍMITE ÚLTIMO	$F_{x,d}$ [kN]	$F''_{y,d}$ (long) [kN]	$F''_{y,d}$ (transv) [kN]	$\nu'_{x,d}$ (long) [mm]	$\nu'_{x,d}$ (transv) [mm]	$\alpha_{o,d}$ (long) [mrad]	$\alpha_{o,d}$ (transv) [mrad]
$F_{x,d}$ máx	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F_{x,d}$ mín	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{y,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\nu'_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\nu'_{x,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (longitudinal)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor

CUADRO DE DEFINICIÓN DE REACCIONES EN APOYOS: P-1

COMBINACIÓN DE ESTADO LÍMITE ÚLTIMO	$F_{x,d}$ [kN]	$F''_{y,d}$ (long) [kN]	$F''_{y,d}$ (transv) [kN]	$\nu'_{x,d}$ (long) [mm]	$\nu'_{x,d}$ (transv) [mm]	$\alpha_{o,d}$ (long) [mrad]	$\alpha_{o,d}$ (transv) [mrad]
$F_{x,d}$ máx	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F_{x,d}$ mín	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{y,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\nu'_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\nu'_{x,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (longitudinal)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor

LEYENDA DE APARATOS DE APOYO ELASTOMÉRICOS

- APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR TIPO B
- APARATO DE APOYO ELASTOMÉRICO RECTANGULAR TIPO C-E
- TIPO C: APOYOS ELASTOMÉRICOS.
- TIPO C-E: APOYOS ELASTOMÉRICOS TIPO C PROVISTOS DE UNA LAMINA DE PTFE EN LA CARA SUPERIOR, ENCASTRADA SOBRE UNA PLACA DE ACERO VULCANIZADA AL APOYO.

CUADRO DE DEFINICIÓN DE REACCIONES EN APOYOS: P-2

COMBINACIÓN DE ESTADO LÍMITE ÚLTIMO	$F_{x,d}$ [kN]	$F''_{y,d}$ (long) [kN]	$F''_{y,d}$ (transv) [kN]	$\nu'_{x,d}$ (long) [mm]	$\nu'_{x,d}$ (transv) [mm]	$\alpha_{o,d}$ (long) [mrad]	$\alpha_{o,d}$ (transv) [mrad]
$F_{x,d}$ máx	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F_{x,d}$ mín	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$F''_{y,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\nu'_{x,d}$ máx (longitudinal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\nu'_{x,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (longitudinal)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor
$\alpha_{o,d}$ máx (transversal) (ver NOTA*)	valor	valor	valor	valor	valor	valor	valor

LEYENDA DEL CUADRO DE DEFINICIÓN DE REACCIONES:

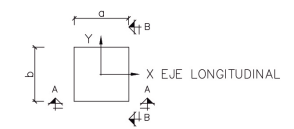
- $F_{x,d}$  [kN]: REACCIÓN VERTICAL, EN ELU
- $F''_{x,d}$  [kN]: REACCIÓN HORIZONTAL LONGITUDINAL, EN ELU (FUERZAS INSTANTÁNEAS)
- $F''_{y,d}$  [kN]: REACCIÓN HORIZONTAL TRANSVERSAL, EN ELU (FUERZAS INSTANTÁNEAS)
- $\nu'_{x,d}$  [mm]: MOVIMIENTO IMPUESTO EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL, EN ELU (DEFORMACIONES IMPUESTAS)
- $\nu'_{y,d}$  [mm]: MOVIMIENTO IMPUESTO EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL, EN ELU (DEFORMACIONES IMPUESTAS)
- $\alpha_{o,d}$  [mRad]: GIRO A LO LARGO DE LA DIMENSIÓN a DEL APOYO (GIRO LONGITUDINAL), EN ELU
- $\alpha_{o,d}$  [mRad]: GIRO A LO LARGO DE LA DIMENSIÓN b DEL APOYO (GIRO TRANSVERSAL), EN ELU
- LOS MOVIMIENTOS IMPUESTOS,  $\nu$ , NO INCLUYEN LAS DEFORMACIONES GENERADAS POR LAS FUERZAS HORIZONTALES INSTANTÁNEAS, F
- LAS FUERZAS HORIZONTALES INSTANTÁNEAS, F, NO INCLUYEN LAS FUERZAS GENERADAS POR LAS DEFORMACIONES IMPUESTAS,  $\nu$

NOTA:

EN ESTE EJEMPLO, POR SIMPLICIDAD, SE INCLUYEN ÚNICAMENTE LAS TABLAS CON LAS REACCIONES EN ESTADO LÍMITE ÚLTIMO PARA EL ESTRIBO E-1 Y PILAS P-1 Y P-2. UN PLANO DE APOYOS DE PROYECTO DEBERÁ DEFINIR LAS REACCIONES PARA TODOS LOS EJES DE APOYO.

NOTA (\*):

LAS HIPÓTESIS DE CÁLCULO DE FUERZA LONGITUDINAL O TRANSVERSAL MÁXIMA, DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL O TRANSVERSAL MÁXIMO Y GIRO TRANSVERSAL MÁXIMO PUEDEN SER CONCOMITANTES CON VARIOS VALORES DE REACCIÓN VERTICAL, DEBIDO A LOS DISTINTOS VALORES QUE PUEDE ASUMIR LA CARGA PERMANENTE: CARGA PERMANENTE MÁXIMA A  $T_0$  O  $T_{perm0}$  Y CARGA PERMANENTE MÍNIMA A  $T_0$  Y  $T_{perm0}$ . POR SENCILLEZ, EN LA TABLA DE REACCIONES SE PODRÁN EXPONER LOS VALORES DE REACCIONES, DESPLAZAMIENTOS Y GIROS ÚNICAMENTE PARA UNA DE LAS SITUACIONES DE CARGA PERMANENTE (LA MÁS CONDICIONANTE). NO OBSTANTE, EN EL DIMENSIONAMIENTO DE CUALQUIER APARATO DE APOYO DEBEN SER ANALIZADAS TODAS LAS HIPÓTESIS.



CROQUIS DE PLANTA DE APARATO DE APOYO SIN ESCALA

# 9

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Comisión 4. Grupo de Trabajo 4/3 Apoyos y juntas en puentes existentes de hormigón. Monografía 18. *Conservación de aparatos de apoyo, juntas y drenaje en puentes*. 2011.
- [2] Arenas, J. y Aparicio, A.: *Aparatos de apoyo para puentes y estructuras*. Universidad de Cantabria. Escuela Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 1981.
- [3] Comité Técnico de Puentes: *Aparatos de apoyo de puentes*. Asociación Técnica de Carreteras, 1996.
- [4] Dirección General de Carreteras: *Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Centro de Publicaciones, 1995.
- [5] Dirección General de Carreteras: *Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Centro de Publicaciones. Segunda edición, 1982.
- [6] Dirección General de Carreteras: *Serie Guías Eurocódigos: Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica*.
- [7] Dirección General de Carreteras, *Serie Guías Eurocódigos: Guía para el cálculo de apoyos elastoméricos. Ejemplo de aplicación*.
- [8] Dirección General de Carreteras, *Serie Guías Eurocódigos: Guía para el cálculo de aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento en zona sísmica. Ejemplo de aplicación*.
- [9] Sétra: *Laminated elastomeric bearings*, 2007.



## ANEJO 1

# SISTEMA DE EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD. ENSAYOS

El sistema de evaluación de conformidad exige la realización de ensayos e inspecciones que deben llevarse a cabo para demostrar la conformidad de los productos con la normativa. Las tablas ZA.3.a y ZA.3.c de la norma UNE-EN 1337-3 (tabla 7 y tabla 8 de esta guía) remiten al capítulo 8 de las normas UNE-EN 1337-3, Apoyos elastoméricos, y UNE-EN 1337-2, Elementos de deslizamiento, para la definición de los ensayos que permitirán validar y dar conformidad a los apoyos elastoméricos. Según dicho capítulo, es necesaria la realización de ensayos de dos categorías: ensayos de tipo iniciales (*initial type tests*) y ensayos de rutina (*routine testing*), también denominados ensayos de control de producción en fábrica (*factory production control testing*):

- Ensayos de tipo iniciales (*initial type tests*): esta categoría de ensayos permite determinar y establecer los valores representativos de las propiedades de los aparatos de apoyo que caracterizan su comportamiento, con el propósito de validar la combinación particular de materiales empleada o el procedimiento particular de fabricación empleado. Estos ensayos deben llevarse a cabo antes de comenzar la fabricación por un laboratorio de ensayo aprobado, o bajo su dirección.
- Ensayos de rutina (*routine testing*) o ensayos de control de producción en fábrica (*factory production control testing*): se trata de ensayos que debe realizar el fabricante de manera regular, junto con un sistema de control de la calidad, para asegurar que todos los aparatos de apoyo fabricados pueden asimilarse a los ensayados con los ensayos de tipo.

Según las tablas ZA.3.a y ZA.3.c de la norma UNE-EN 1337-3, correspondientes al sistema de evaluación de conformidad 1:

- El fabricante es el responsable de:
  - El control de producción en fábrica (CPF).
  - Los ensayos adicionales de muestras tomadas en la fábrica.
- El organismo notificado es el responsable de:
  - La realización de ensayos tipo iniciales.
  - La inspección inicial de la fábrica y del CPF.
  - La supervisión continua, evaluación y aprobación del CPF.

La definición del tipo de ensayo a realizar para cada prestación, su frecuencia y tipo de muestra a emplear en cada caso se recoge en:

- Tabla 7 de UNE-EN 1337-3, para apoyos elastoméricos completos.
- Tabla 8 de UNE-EN 1337-3, para las propiedades de las materias primas de los apoyos elastoméricos.
- Tabla 15 de UNE-EN 1337-2, para elementos deslizantes.
- Tabla 16 de UNE-EN 1337-2, para las materias primas de los elementos deslizantes.

Las tablas enumeradas, que se incluyen en los siguientes apartados de esta guía, recogen todos los ensayos de determinación de prestaciones de los apoyos elastoméricos recogidos por las normas UNE-EN 1337-3 y UNE-EN 1337-2, tanto para el elemento como para el material que lo compone. Se recuerda que, en territorio europeo, la presunción de aptitud de un apoyo elastomérico viene dada por el marcado CE (y, por ende, por la conformidad con el anexo ZA de UNE-EN 1337-3). En el apartado 4.3.1 de esta guía se han recogido los criterios exigidos por la norma UNE-EN 1337-3 para la atribución del certificado CE a un apoyo elastomérico que, en algunos casos, solamente exige algunos de los numerosos ensayos recogidos en las normas UNE-EN 1337-3 y UNE-EN 1337-2.

**Comentario:** En el caso de que la estructura se encuentre en condiciones medioambientales o de aplicación excepcionales, el proyectista siempre podrá especificar la realización de ensayos adicionales a los mínimos exigidos para la obtención del marcado CE (anexo ZA de UNE-EN 1337-3) y que permitan garantizar el correcto funcionamiento del apoyo en dichas condiciones. Para ello, se deberán indicar claramente las condiciones del ensayo a realizar, tales como el tipo de ensayo y la norma de referencia correspondiente, el lote y cantidad a ensayar, valores de aceptación, etc. El coste de los ensayos adicionales deberá reflejarse o bien en el valor de la partida correspondiente a los apoyos, o bien como una partida independiente.

## AN 1.1 UNE-EN 1337-3: ensayos para apoyos elastoméricos completos

El tipo de ensayo a realizar para cada prestación se define en la tabla 7 de UNE-EN 1337-3, en la que se recogen, además de los tipos de ensayo, el tipo de muestra a emplear y la frecuencia de éstos.

Tabla 13 Frecuencia de ensayo y tipo de muestra del apoyo para los ensayos en apoyos completos (tabla 7 de UNE-EN 1337-3)

#	Ref.	Designación	Tipo de ensayo	Tipo de muestra (véase la tabla 6 de UNE-EN 1337-3)	Frecuencia	
1	4.3.1	<u>Rigidez a cortante</u>	Ensayo tipo inicial	I-II-III	1	
	4.3.1.1	A temperatura ambiente	Ensayo de rutina	Véase el apartado 8.2.3	Véase el apartado 8.2.3	
	2	4.3.1.2	A baja temperatura	Ensayo tipo inicial	I	1
	3	4.3.1.4	Después de envejecimiento	Ensayo tipo inicial	I-II-III	1
4	4.3.2	<u>Resistencia de la unión cortante</u>	Ensayo tipo inicial	I-II-III	1	
	4.3.2.1	A temperatura ambiente	Ensayo tipo inicial	Véase el apartado 8.2.3	Véase el apartado 8.2.3	
	5	4.3.2.2	Después del envejecimiento	Ensayo tipo inicial	I-II-III	1
6	4.3.3	<u>Rigidez a compresión</u>	Ensayo tipo inicial	I-II-III	1	
			Ensayo de rutina	Véase el apartado 8.2.3	Véase el apartado 8.2.3	
7	4.3.4	<u>Compresión bajo carga repetida</u>	Ensayo tipo inicial	I	1	
8	4.3.5	<u>Rotación estática</u>				
	4.3.5.2	Método de excentricidad	Ensayo tipo inicial	I-II-III	1 <sup>(a)</sup> y/o	
9	4.3.5.3	Momento de recuperación	Ensayo tipo inicial <sup>a</sup>	I	1 <sup>(a)</sup>	
10	4.3.6	<u>Resistencia al ozono</u>	Ensayo tipo inicial	I	1 <sup>(a)</sup>	
11	4.3.7	<u>Resistencia de la unión a cortante del PTFE/ elastómero (solo para tipo D)</u>	Ensayo tipo inicial	Véase el anexo M	1 <sup>(a)</sup>	

<sup>(a)</sup> Si se especifica por el proyectista de la estructura.

Nota editorial: el texto en verde no es parte de la tabla 7 de UNE-EN 1337-3; se ha añadido para facilitar la lectura y comprensión de este apartado.

Como se puede analizar en la tabla anterior, todos los ensayos deben ser realizados como ensayos tipo iniciales y solamente tres de ellos se realizarían como ensayos de rutina: los ensayos #1, #4 y #6.

Ensayos tipo:

Según lo indicado en el apartado 8.2.2 de UNE-EN 1337-3, los ensayos tipo iniciales deben ser realizados antes de empezar la fabricación y mediante muestras según se define en la tabla 6 de UNE-EN 1337-3. Si un fabricante no produce estos tamaños normalizados, los apoyos deberían ser del tamaño más cercano dentro del intervalo del fabricante.

Tabla 14 Dimensiones de las muestras tipo I, II y III a emplear en los ensayos (tabla 6 de UNE-EN 1337-3)

Tipos de muestra de apoyo	<i>a</i>	<i>b</i>	Número de capas	(espesor de las capas y de las placas de zunchado de acero)
I	200	300	3	(8+3)
II	400	500	5	(12+4)
III	600	700	7	(16+5)

La frecuencia de estos ensayos está definida en la tabla 13 de esta guía (tabla 7 de UNE-EN 1337-3).

Ensayos de rutina:

Los ensayos de rutina deben realizarse de forma continua por el fabricante en muestras elegidas al azar dentro del intervalo de producción.

Según el apartado 8.2.3 de UNE-EN 1337-3, la producción completa de apoyos se divide en cuatro categorías, función del espesor  $T_b$ :

- $T_b \leq 50$  mm
- $50 \text{ mm} < T_b \leq 100$  mm
- $100 \text{ mm} < T_b \leq 150$  mm
- $150 \text{ mm} < T_b$

Deben ser ensayados los primeros apoyos fabricados de cada categoría y los nuevos ensayos deben realizarse tan pronto como el fabricante haya producido los volúmenes indicados en la tabla 5 de UNE-EN 1337-3.

Tabla 15 Frecuencia de los ensayos de rutina en apoyos completos  
(tabla 5 de UNE-EN 1337-3)

Tipo de ensayo	Espesor total			
	$T_b \leq 50$	$50 < T_b \leq 100$	$100 < T_b \leq 150$	$T_b > 150$
Rigidez a compresión <sup>(e)</sup>	150 dm <sup>3</sup>	250 dm <sup>3</sup>	300 dm <sup>3</sup>	350 dm <sup>3</sup>
Rigidez a cortante	1500 dm <sup>3</sup>	2500 dm <sup>3</sup>	3000 dm <sup>3</sup>	3500 dm <sup>3</sup>
Unión a cortante	3000 dm <sup>3</sup> en muestra tipo I (véase el apartado 8.2.3 de UNE-EN 1337-3)			

NOTA 1: Los volúmenes indicados arriba se refieren al volumen de caucho en los apoyos.

NOTA 2: Para la rigidez a compresión y la rigidez a cortante, el ensayo debería realizarse en el primer apoyo fabricado de la producción de cada categoría.

<sup>(e)</sup> Ensayo de compresión rápido como se describe en el apartado 4.3.3.2 de UNE-EN 1337-3.

Si bien la definición del tipo de ensayo asociado a cada prestación se recoge en el capítulo 8 de UNE-EN 1337-3, la definición de los métodos, requisitos y condiciones de éstos se recogen en el capítulo 4. En la siguiente tabla se recoge un resumen de los métodos, requisitos y condiciones de realización de los ensayos recogidos en el capítulo 4 de UNE-EN 1337-3.

Tabla 16 Requisitos y condiciones de ensayo para apoyos completos, según el capítulo 4 de UNE-EN 1337-3

Requisito de aptitud al uso para apoyos completos		Tipo de ensayo	Método de ensayo	Requisitos	Condiciones de ensayo
Módulo de elasticidad transversal (Véase el apartado 4.3.1 de UNE-EN 1337-3)	Módulo de elasticidad transversal a temperatura nominal (Véase el apartado 4.3.1.1 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo y ensayo de rutina	Anexo F de UNE-EN 1337-3	$G_g = 0,9 \text{ MPa} \pm 0,15 \text{ MPa}$ $G_g^* = 0,7 \text{ MPa} \pm 0,10 \text{ MPa}$ $G_g^* = 1,15 \text{ MPa} \pm 0,20 \text{ MPa}$ *sólo si se especifica por el proyectista de la estructura	Ensayo tipo: $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ Ensayo de rutina: $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ Los ensayos no deberán realizarse antes de un día después de la vulcanización.  Presión media: 6 MPa. $0,7T_q \leq v_{xm} \leq 0,9T_q$
	Módulo de elasticidad transversal a baja temperatura (Véase el apartado 4.3.1.2 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo		$G_g$ baja temperatura $\leq 3G_g$	En una cámara a $-25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ o a una temperatura máxima de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ siempre que, durante el ensayo, la temperatura de la superficie del extremo no sea mayor de $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ .  Presión media: 6 MPa. $0,7T_q \leq v_{xm} \leq 0,9T_q$
	Módulo de elasticidad transversal a muy baja temperatura <sup>(1)</sup> (Véase el apartado 4.3.1.3 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo		$G_g$ muy baja temperatura $\leq 3G_g$	En una cámara a $-40 \text{ }^\circ\text{C} \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ o a una temperatura máxima de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ siempre que, durante el ensayo, la temperatura de la superficie del extremo no sea mayor de $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ .  Presión media: 6 MPa. $0,7T_q \leq v_{xm} \leq 0,9T_q$
	Módulo de elasticidad transversal después de envejecimiento (tres días a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Véase el apartado 4.3.1.4 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo		$G_g$ después de envejecimiento $\leq G_g$ antes de envejecimiento + $0,15 \text{ MPa}$	El ensayo debe realizarse a temperatura de laboratorio ( $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), no antes de dos días después del final del procedimiento de envejecimiento.  Presión media: 6 MPa. $0,7T_q \leq v_{xm} \leq 0,9T_q$
Resistencia de unión a cortante (Véase el apartado 4.3.2 de UNE-EN 1337-3)	Resistencia de unión a cortante a temperatura ambiente (Véase el apartado 4.3.2.1 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo y ensayo de rutina	Anexo G de UNE-EN 1337-3	La pendiente de la curva fuerza-deformación no debe mostrar un valor máximo o mínimo hasta la deformación tangencial máxima de 2. A la deformación máxima, el extremo del apoyo debe estar libre de divisiones dentro del caucho debidas a defectos de moldeo o de unión.	A una temperatura de $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  Presión media: 12 MPa. $v_{xm} \leq 2T_q$
	Resistencia de unión a cortante después del envejecimiento (tres días a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Véase el apartado 4.3.2.2 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo		La pendiente de la curva fuerza-deformación no debe mostrar un valor máximo o mínimo hasta la deformación tangencial máxima de 2. A la deformación máxima, el extremo del apoyo debe estar libre de divisiones dentro del caucho debidas a defectos de moldeo o de unión.	El ensayo debe realizarse a temperatura de laboratorio ( $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), no antes de dos días después del final del procedimiento de envejecimiento.  Presión media: 6 MPa. $v_{xm} \leq 2T_q$

(Continuación)

Requisito de aptitud al uso para apoyos completos	Tipo de ensayo	Método de ensayo	Requisitos	Condiciones de ensayo
Rigidez a la compresión (Véase el apartado 4.3.3 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo (nivel 1 del método de ensayo) (Véase el apartado 4.3.3.1 de UNE-EN 1337-3)	Anexo H de UNE-EN 1337-3	La pendiente de la curva fuerza-deformación no debe mostrar un valor máximo o mínimo hasta la carga máxima de cálculo ( $5 \cdot G \cdot A' \cdot S / 1,5$ ). En la carga máxima, el extremo del apoyo debe estar libre de divisiones dentro del caucho debidas a defectos de moldeo o de unión. Las placas de zunchado no deben estar descolocadas. Debe anotarse el módulo de intersección convencional ( $E_{cs}$ ).	A temperatura ambiente: el módulo de intersección convencional ( $E_{cs}$ ) debe determinarse a $23 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ entre el 30 % y el 100 % de la carga máxima ( $5 \cdot G \cdot A' \cdot S / 1,5$ ).
	Ensayo de rutina: ensayo rápido de compresión (nivel 2 del método de ensayo) (Véase el apartado 4.3.3.2 de UNE-EN 1337-3)		No debe haber evidencia visual de fallo de la vulcanización, de desalineación de las placas de zunchado o divisiones en la superficie del elastómero. Las ondulaciones debidas a los efectos de restricción de las placas deben ser uniformes.	Se aplica al apoyo el estado de carga en servicio especificado, a temperatura ambiente ( $23 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ ) y se mantiene constante durante un examen visual para los defectos definidos en la columna 4, Requisitos, de esta tabla. Cuando se sospeche de la existencia de defectos, éstos deben comprobarse mediante la realización de otros ensayos apropiados. Durante este ensayo, debe anotarse la deformación entre el 30 % y el 100 % de la carga máxima para la aplicación y debe utilizarse para comprobar la consistencia de los valores de rigidez.
	Inspección bajo carga de compresión (nivel 3 del método de ensayo). Cuando se especifique, este ensayo se llevará a cabo en cada apoyo como parte del proceso de producción normal. Su principal objetivo es eliminar por inspección visual los apoyos pobremente fabricados de una forma rápida y eficiente. (Véase el apartado 4.3.3.3 de UNE-EN 1337-3)		No debe haber evidencia visual de fallo de la vulcanización, de desalineación de las placas de zunchado o defectos desarrollados durante el ensayo en la superficie del elastómero bajo la carga máxima para la aplicación. Las ondulaciones debidas a los efectos de restricción de las placas deben ser uniformes.	Se aplica el estado de carga en servicio especificado. La temperatura de la habitación en la cual se ensayan los apoyos no debe variar en más de $10 \text{ °C}$ a lo largo del ensayo.

(Continuación)

Requisito de aptitud al uso para apoyos completos	Tipo de ensayo	Método de ensayo	Requisitos	Condiciones de ensayo
Resistencia a la carga repetida en compresión (Véase el apartado 4.3.4 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo <sup>(2)</sup>	Anexo I de UNE-EN 1337-3	El módulo de compresión de intersección después de fatiga dinámica debe ser menor o igual al módulo de intersección antes de la fatiga dinámica + 12 %. No se aceptan fallos: defectos de vulcanización, grietas, etc.	A la temperatura de laboratorio 23 °C ± 2 °C. El incremento de temperatura en el apoyo durante el ensayo no debería exceder los 42 °C y la frecuencia puede ajustarse para conseguir este requisito.  Número de ciclos: 2 000 000 Frecuencia: < 3 Hz  Durante el ensayo, la variación de la tensión debe estar entre los siguientes dos valores: Presión media mínima: 7,5 MPa Presión media máxima: 25 MPa  Es esencial llevar a cabo el ensayo a tensiones superiores a las que puedan producirse en la práctica, debido a que el número de ciclos es mucho menor que el esperado durante la vida del apoyo.
Capacidad de rotación estática (El fin de estos ensayos es determinar el comportamiento de los apoyos elastoméricos bajo condiciones de rotación estáticas. Véase el apartado 4.3.5 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo	Ensayo de carga excéntrica Anexo J de UNE-EN 1337-3 (Véase el apartado 4.3.5.2 de UNE-EN 1337-3)	Ni el área de contacto elevada, ni la presión media de contacto deben exceder los valores especificados.  Cuando no se hayan especificado valores deben satisfacerse los siguientes requisitos: no se aceptan fallos (defectos de vulcanizado, grietas, etc.) bajo un ángulo de rotación de 0,025 rad y una excentricidad de 1/6 de la dimensión plana más pequeña de la pieza de ensayo.	A la temperatura de laboratorio (23 °C ± 2 °C), el ensayo se lleva a cabo con una disposición experimental con fricción conocida y baja que permita la rotación de la superficie superior con respecto a la superficie inferior y cargar el apoyo para el valor de cálculo con una excentricidad determinada o en distintos grados de excentricidad.  Medición de área de contacto para una excentricidad dada: Carga especificada (límite superior: $(3,5 \cdot G_d \cdot A' \cdot S) / 1,5$ )  Medición de la excentricidad máxima correspondiente al contacto total del área en planta del apoyo: Excentricidad de partida: 1/6 de la dimensión del apoyo Carga especificada (límite superior: $(3,5 \cdot G_d \cdot A' \cdot S) / 1,5$ )
	Ensayo tipo	Ensayo del momento de recuperación anexo K de UNE-EN 1337-3 (Véase el apartado 4.3.5.3 de UNE-EN 1337-3)	Los valores experimentales del momento de recuperación ( $M_r$ ) no deben exceder del valor acordado entre el comprador y el suministrador.	A la temperatura de laboratorio (23 °C ± 5 °C), el ensayo se lleva a cabo bajo una presión media de 7 MPa. Se aplica un momento de forma repetida durante 10 ciclos a una frecuencia ≤ 0,03 Hz para producir la rotación requerida.

(Continuación)

Requisito de aptitud al uso para apoyos completos	Tipo de ensayo	Método de ensayo	Requisitos	Condiciones de ensayo
Resistencia al ozono (determinar la resistencia al ozono de un apoyo completo bajo compresión y deformación tangencial. Véase el apartado 4.3.6 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo <sup>(2)</sup>	Anexo L de UNE-EN 1337-3	Sin grietas en el caucho.  Sin grietas o fallos de vulcanizado en la superficie de contorno del apoyo.	Presión media: $1,3G \cdot S$ Deformación tangencial: $v_x = 0,7 \cdot T_q$ Temperatura de ensayo: $40 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ Concentración de ozono: NR: 25 pphm CR: 50 pphm Tiempo de ensayo: 72 h
Resistencia de la unión a cortante del PTFE/elastómero (Véase el apartado 4.3.7 de UNE-EN 1337-3)	Ensayo tipo <sup>(2)</sup>	Anexo M de UNE-EN 1337-3	La pendiente de la curva fuerza-deformación no debe mostrar un valor máximo o mínimo hasta la deformación tangencial máxima de 2. A la deformación máxima, la superficie de contacto PTFE/elastómero debe estar libre de defectos de unión.	Este ensayo debe realizarse a una temperatura de $23 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$  Presión media: 6 MPa $v_{xm} \leq 2T_q$

<sup>(1)</sup> La norma UNE-EN 1337-3 trata de los apoyos para uso en temperaturas de operación en un intervalo de  $-25 \text{ °C}$  a  $+50 \text{ °C}$  y, para cortos periodos, de hasta  $+70 \text{ °C}$ . Según lo indicado en el capítulo 1 de dicha norma, en el caso de temperatura de operación muy baja (hasta  $-40 \text{ °C}$ ), es esencial que las características del apoyo cumplan también con el módulo de elasticidad transversal a muy bajas temperaturas.

<sup>(2)</sup> Según la tabla 7 del apartado 8 de UNE-EN 1337-3.

De forma sucinta, adicionalmente a los ensayos exigidos por el marcado CE (anexo ZA de UNE-EN 1337-3), el proyectista puede especificar la realización de:

- Ensayos de inspección bajo carga de compresión (apartado 4.3.3.3 de UNE-EN 1337-3): cuando se pretenda eliminar por inspección visual y de una forma rápida y eficiente los apoyos con defectos de fabricación evidentes.
- Ensayos de capacidad de rotación estática (apartado 4.3.5 de UNE-EN 1337-3): para la mayoría de los fines, el comportamiento de rotación estática calculado a partir de las ecuaciones de los apartados 5.3.3.6 y 5.3.3.7 de UNE-EN 1337-3 es adecuado, pero si el comportamiento rotacional es crítico y la razón principal para utilizar el apoyo es proporcionar rotación, debe llevarse a cabo un ensayo tipo para los apoyos elastoméricos de tipo E y D. Pueden evaluarse dos aspectos del comportamiento rotacional, el ángulo máximo de rotación y el momento de recuperación ejercido por el apoyo sobre la estructura. Estos dos aspectos pueden determinarse, respectivamente, mediante el ensayo de la carga excéntrica y el ensayo del momento de recuperación.
- Ensayos del módulo de elasticidad transversal a muy baja temperatura (apartado 4.3.1.3 de UNE-EN 1337-3): según el capítulo 1 de UNE-EN 1337-3, si se esperan temperaturas del aire inferiores a  $-25\text{ °C}$  en la región de instalación de los apoyos (regiones del norte de Europa), es esencial que las características del apoyo cumplan también con el módulo de elasticidad transversal que es a muy bajas temperaturas. Adicionalmente, en el apartado D.3 (del anexo D, que es informativo) de la misma norma, se indica que la experiencia muestra que los apoyos que cumplen con los criterios del apartado 4.3.1.2 de UNE-EN 1337-3 (ensayo para la determinación del módulo de elasticidad transversal a baja temperatura) deberían ser satisfactorios en la mayor parte de Europa. En regiones donde la temperatura media diaria esté continuamente por debajo de  $-10\text{ °C}$  durante más de seis semanas, sería prudente llevar a cabo ensayos más amplios, o buscar el consejo de expertos.

## AN 1.2 UNE-EN 1337-3: ensayos para las propiedades de las materias primas de los apoyos elastoméricos

Los tipos y frecuencias de ensayo y tipos de muestra se definen en la tabla 8 del apartado 8 de UNE-EN 1337-3. Según el apartado 4.4.2 de UNE-EN 1337-3, los requisitos indicados en la norma corresponden a probetas moldeadas o muestras tomadas de apoyos acabados completos.

Tabla 17 Frecuencia de ensayo y fuente de muestras para ensayos de las propiedades de las materias primas (tabla 8, UNE-EN 1337-3)

ISO Ref.	Designación	Tipo de ensayo	Frecuencia Número de ensayos	Fuente de muestra	Observación
ISO 37	Resistencia a tracción	Ensayo tipo inicial	1	Moldeado	Tipo de muestra II <sup>(a)</sup>
		Ensayo de rutina	Cada lote del compuesto	""	
	Alargamiento a la rotura	Ensayo tipo inicial	1	Del apoyo	
ISO 34-1	Resistencia al desgarro	Ensayo tipo inicial	1	Moldeado	
		Ensayo de rutina	4/año	""	
ISO 815	Propiedades de compresión	Ensayo tipo inicial	1	Moldeado	
		Ensayo de rutina	4/año	""	
ISO 188	Envejecimiento acelerado	Ensayo tipo inicial	1	Moldeado	
		Ensayo de rutina	4/año	""	
ISO 1431-1	Resistencia al ozono	Ensayo tipo inicial	1	Moldeado	
		Ensayo de rutina	1/año	""	

NOTA 1: Un lote es una mezcla individual o la unión de mezclas si éstas se utilizan para la producción de apoyos.

NOTA 2: Los ensayos de rutina y tipo se proyectan para asegurar que los apoyos de hasta (900 x 900) mm en planta se fabrican satisfactoriamente. Para tamaños mayores, el suministrador y el comprador deberían ponerse de acuerdo en el tamaño o tamaños a ensayar, así como en el procedimiento de ensayo.

<sup>(a)</sup> Véase la tabla 6 de UNE-EN 1337-3.

Según el apartado 4.4.2 de UNE-EN 1337-3, si el apoyo es de caucho natural y tiene un recubrimiento de policloropreno, el caucho natural no tiene que ser ensayado para la resistencia al ozono. El compuesto de policloropreno para el recubrimiento debe cumplir con los requisitos para el policloropreno y el núcleo debe cumplir los requisitos para el caucho natural, excepto la resistencia al ozono.

Los requisitos a cumplir por el elastómero se recogen en el apartado 4.4.2 y en la tabla 1 de UNE-EN 1337-3, en función del polímero base empleado (caucho natural (NR) o caucho cloropreno (CR)).

Tabla 18 Propiedades físicas y mecánicas del elastómero (tabla 1 de UNE-EN 1337-3)

Características	Requisitos			Métodos de ensayo
	0,7	0,9 <sup>(a)</sup>	1,15	
<b>Módulo <math>G</math> (MPa)</b>	0,7	0,9 <sup>(a)</sup>	1,15	
<b>Resistencia a tracción (MPa)</b> Probeta moldeada Probeta del apoyo	≥16 ≥14	≥16 ≥14	≥16 ≥14	ISO 37 tipo 2
<b>Alargamiento mínimo a la rotura (%)</b> Probeta moldeada Probeta del apoyo	450 400	425 375	300 250	
<b>Resistencia mínima al desgarro (kN/m)</b> CR NR	≥7 ≥5	≥10 ≥8	≥12 ≥10	ISO 34-1 Pantalón (Método A)
<b>Propiedades de compresión (%)</b> 24 h; 70 °C	CR ≤ 15 NR ≤ 30			ISO 815 Ø 29 x 12,5 mm Espaciamento: 9,38-25 %
<b>Envejecimiento acelerado</b> (cambio máximo del valor sin envejecimiento) <u>Dureza (IRHD)</u> NR 7 d, 70 °C CR 3 d, 100 °C <u>Resistencia a la tracción (%)</u> NR 7 d, 70 °C CR 3 d, 100 °C <u>Alargamiento a la rotura (%)</u> NR 7 d, 70 °C CR 3 d, 100 °C	-5+10 ±5  ±15 ±15  ±25 ±25			ISO 48 ISO 188
<b>Resistencia al ozono</b> <u>Alargamiento:</u> 30 %-96 h 40 °C ± 2 °C NR 25 pphm CR 100 pphm	Sin grietas			ISO 1431-1

<sup>(a)</sup> Véase el apartado 4.3.1.1.

Las placas de zunchado deben cumplir con lo especificado en el apartado 4.4.3 de UNE-EN 1337-3. Tanto las placas internas como las placas externas (o de extremo) deben ser de acero de clase S235 de acuerdo con la norma UNE-EN 10025 o acero con un alargamiento a la rotura equivalente mínimo. Los requisitos para los espesores mínimos de las placas se incluyen en el apartado 4.2.2 de esta guía.

## AN 1.3 UNE-EN 1337-2: ensayos para elementos deslizantes

En la tabla 15 de UNE-EN 1337-2 se recogen los tipos de ensayos a realizar para las prestaciones de elementos deslizantes y la frecuencia de éstos.

Tabla 19 Control y ensayo del producto<sup>(a)</sup> (tabla 15 de UNE-EN 1337-2)

Tipo de control	Objeto de control	Control conforme a	Frecuencia
Control de producción en fábrica	Dimensiones	Planos del fabricante	Cada elemento de deslizamiento
	Adaptación de las láminas de PTFE confinadas	7.1.1	
	Planicidad de las placas de soporte	7.1.2	
	Adaptación de las superficies de deslizamiento	7.1.3	
	Contacto entre la placa de acero austenítico y la placa de soporte	Métodos operativos del fabricante	
	Aplicación de una junta de estanquidad		
	Fijación de las placas de acero austenítico mediante soldadura	6.2.1	
	Saliente de la lámina de PTFE		
	Superficie de referencia para la instalación	7.5	
	Indicadores de movimiento	Planos del fabricante	
	Funcionamiento <sup>(b)</sup>	Planos del fabricante	
	Asentamiento previo	Planos del fabricante	
	Medidas contra la corrosión	7.3	
	Dispositivos contra la contaminación de las superficies de deslizamiento	Planos del fabricante	
	Marcado	7.3 de la Norma Europea EN 1377-1:2000	
Ensayo de tipo inicial	Superficie de deslizamiento, incluyendo los materiales tomados en fábrica durante la producción del elemento de construcción	4.1.1 D.6.1	Una muestra al año
	Unión mediante adhesivo de las placas de acero austenítico	5.9.2	Una muestra por lote
	Todos los elementos que sean objeto de control de producción en fábrica	Como en los casos anteriores	Una muestra
	Superficie de deslizamiento, incluyendo un material tal como: PTFE CM1 o CM2 Lubricante	5.2.4 <sup>(c)</sup> 5.3.3 <sup>(c)</sup> 5.8.3 <sup>(c)</sup>	Una muestra Una muestra Una muestra
	Unión mediante adhesivo de las placas de acero austenítico	5.9.3	Una muestra

(Continuación)

Tipo de control	Objeto de control	Control conforme a	Frecuencia
Ensayo de auditoría	Ciertos elementos seleccionados para el control de la producción en fábrica y como se indica en la tabla 16	Control de la producción en fábrica y como se indica en la tabla 16	Según se exija

<sup>(a)</sup> En lo que respecta al marcado CE, sólo deberían considerarse a efectos de control y ensayo las características y parámetros importantes tal como se indica en la tabla ZA.1 de la norma de producto pertinente.

<sup>(b)</sup> Ensayo para verificar que el elemento de deslizamiento se mueve dentro de los límites establecidos en los planos.

<sup>(c)</sup> Sólo son necesarios los ensayos de rozamiento a largo plazo. Se requieren los ensayos si el material nunca ha sido sometido a ensayos de tipo en la combinación de materiales en cuestión (véase el apartado 8.3).

Los métodos, requisitos y condiciones de ensayo se definen en los apartados de la norma UNE-EN 1337-2 indicados en la tercera columna de la tabla 19 (tabla 15 de UNE-EN 1337-2).

## AN 1.4 UNE-EN 1337-2: ensayos para las materias primas de los elementos deslizantes

En la tabla 16 de UNE-EN 1337-2 se recogen los tipos de ensayos específicos de las materias primas y de los componentes de los elementos deslizantes.

Tabla 20 Ensayos específicos de las materias primas y de los componentes  
(tabla 16 de UNE-EN 1337-2)

Tipo de certificado de inspección	Objeto del control	Control conforme a:	Frecuencia
3.1.A	Material de deslizamiento de PTFE	5.2.2 5.2.4 <sup>(a)</sup>	Una muestra por cada lote ≤ 500 kg
3.1.B		5.2.3	Cada lámina
3.1.B	Material de deslizamiento CM1	5.3.1	Una muestra por bobina
3.1.A		5.3.3 <sup>(a)</sup>	Una muestra por bobina
3.1.B	Material de deslizamiento CM2	5.3.2	Una muestra por bobina
3.1.A		5.3.3 <sup>(a)</sup>	Una muestra por bobina
3.1.B	Placa de acero austenítico	5.4	Una muestra por bobina
	Placa de soporte para cromo duro	5.5.2	Una muestra por lote
	Recubrimiento de cromo duro	5.5.3.1	Cada componente Cada componente Cada componente Una muestra por cada suministro o, si fuera necesario, después de inspección visual
		5.5.3.2	
		5.5.3.3	
		5.5.3.4	
	Materiales férricos para placas soporte	5.6	Una muestra por lote
Aleación de aluminio	5.7.1		
Aluminio anodizado	5.7.2 5.7.3		
3.1.B	Lubricante	5.8.2 <sup>(b)</sup>	Una muestra por cada lote ≤ 500 kg
3.1.A		5.8.2 <sup>(c)</sup> 5.8.3 <sup>(a)</sup>	Una muestra por cada lote ≤ 500 kg

<sup>(a)</sup> Para comprobar la capacidad tribológica, en general, es suficiente realizar el ensayo de rozamiento a corto plazo. El ensayo de rozamiento a largo plazo debe realizarse, si fuera necesario, al hacer el ensayo de tipo inicial del producto de construcción (véase la tabla 15).

<sup>(b)</sup> Sin análisis de espectrometría con infrarrojos.

<sup>(c)</sup> Exclusivamente análisis de espectrometría con infrarrojos.

Los métodos, requisitos y condiciones de ensayo se definen en los apartados de la norma UNE-EN 1337-2 indicados en la tercera columna de la Tabla 20 (Tabla 16 de UNE-EN 1337-2).



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES  
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

SECRETARÍA GENERAL  
TÉCNICA

CENTRO  
DE PUBLICACIONES