



Giros:

De los apoyos, tanto los de eje normal al del tablero como los del eje del tablero.

Desplazamientos horizontales:

Del apoyo tanto en sentido longitudinal como transversal. Tales desplazamientos pueden ser debidos, por ejemplo, a:

Temperatura

Retracción

Fluencia, etc.

2.2.2 Características mecánicas del apoyo

Módulo de elasticidad transversal, G:

Del elastómero de que está constituido el apoyo. El valor de G está directamente relacionado con la dureza Shore del elastómero, y caso de no realizarse ensayos será facilitado por el proveedor o fabricante de los apoyos. Los valores habituales de G oscilan entre 8 kp/cm² y 12 kp/cm².

Límite elástico y tensión de rotura:

Del acero de que están constituidos los zunchos.

2.3 METODO DE CALCULO

Para el cálculo del aparato de apoyo se considerarán las combinaciones de acciones más desfavorables, de acuerdo con la «Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera».

2.3.1 Comportamiento del aparato de apoyo bajo distintas sollicitaciones

El dimensionamiento de los aparatos de apoyo se basa esencialmente en la limitación de las tensiones tangenciales que se producen en el elastómero al nivel de la unión de la goma con el metal. Estas tensiones son debidas tanto a las fuerzas transmitidas a los apoyos como a los movimientos (desplazamientos y giros) que deben absorber.

Cargas verticales:

Bajo un esfuerzo vertical N, las tensiones tangenciales que aparecen en el plano de los zunchos siguen la distribución que se indica en la figura 7. Las tensiones tangenciales máximas se desarrollan en los bordes de los zunchos en el punto medio de la cota mayor. Precisamente es en este punto donde normalmente aparecen las primeras degradaciones de los apoyos (fig. 8).

Indicador

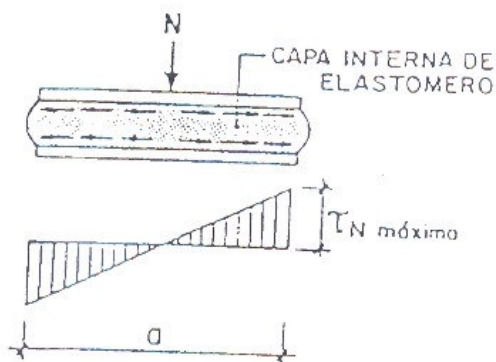


Figura 7

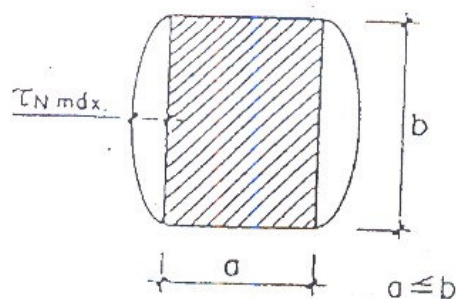


Figura 8

Se tiene entonces:

$$\tau_N = \frac{1,5 \times \sigma_m}{S}, \quad \text{donde} \quad S = \frac{ab}{2l(a+b)} \quad \text{y} \quad \sigma_m = \frac{N}{ab}$$

N: carga vertical actuante sobre el apoyo;

S: factor de forma de la capa de elastómero considerada.

σ_m : tensión media.

↑ espesor de la capa mayor de caucho

El acortamiento vertical que sufre el apoyo viene dado por:

$$e_r = \Delta e_r + 1 \text{ mm}, \quad \text{donde}$$

$$\Delta e_r = K_1 \times n^* \times \frac{t^3}{a^2} \times \frac{(\sigma_m + 30)}{G}$$

donde σ_m y G están expresados en kp/cm² y n^* es el número de capas internas n de elastómero para los apoyos tipos A y C y el número de capas internas, más uno, para los apoyos tipo B. Los valores de K_1 se indican en la siguiente tabla, en función de la relación b/a.

b/a	1	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,5	10	∞
K_1	2,37	2,01	1,94	1,88	1,78	1,70	1,64	1,58	1,53	1,49	1,46	1,34	1,07	1

Fuerzas y desplazamientos horizontales:

En este caso, la distribución de tensiones tangenciales al nivel del plano de los zunchos es uniforme, como se indica en la figura 9. Se pueden presentar dos casos:

a) La deformación u_1 del apoyo es lenta (fig. 10) (dilatación, retracción, fluencia) y conocida. Por tanto:

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{u_1}{T} \quad \operatorname{tg} \gamma_1 = u_1 / T$$

donde T es el espesor total de elastómero, es decir:

$$\begin{array}{lll} nt + 5 & nt + 5 & \text{para los apoyos tipo A} \\ t(n+1) & t(n+1) & \text{para los apoyos tipo B} \\ nt & nt & \text{para los apoyos tipo C} \end{array}$$

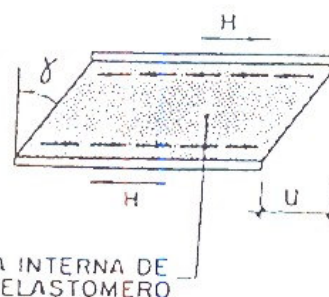


Figura 9

se tendrá inmediatamente que

$$\tau_{H1} = G \times \tan \gamma_1 = G \frac{u_1}{T} \quad \tau_{H1} = G \times \tan \gamma_1 = G \times \frac{u_1}{T}$$

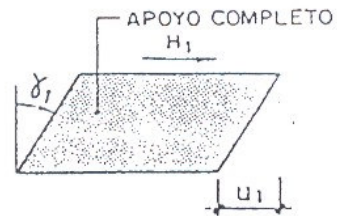


Figura 10

y por lo tanto $H_1 = ab \times \tau_{H1} = G \times ab \times \frac{u_1}{T}$

$$H_1 = ab \tau_{H1} = G \times ab \times \frac{u_1}{T}$$

b) El apoyo está sometido a una fuerza (fig. 11) horizontal instantánea H_2 . En este caso se supondrá que el módulo de elasticidad transversal G instantáneo vale dos veces el módulo de elasticidad transversal G .

$$\tau_{H2} = \frac{H_2}{ab}$$

$$\tan \gamma_2 = \frac{u_2}{T}$$

y

$$\tan \gamma_2 = \frac{\tau_{H2}}{2G} \quad \frac{\tau_{H2}}{2G}$$

luego $u_2 = \frac{H_2}{2G \times ab} \times T$

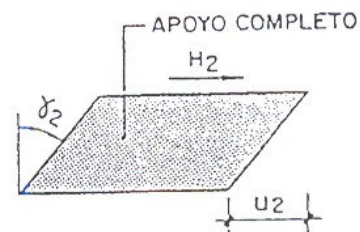


Figura 11

Cuando se den simultáneamente las dos situaciones indicadas en a) y b) se tendrá *(no se pretende limitar γ o μ , no τ)* $u_{total} = u_1 + u_2$

$$\tau_H = G \tan \gamma = G \frac{u_1 + u_2}{T} = G \frac{u_1}{T} + G \frac{u_2}{T} = \tau_{H1} + 0,5 \tau_{H2}$$

0.5 *

es decir

$$\tau_H = G \times \gamma = \frac{G u_1}{T} + \frac{2G u_2}{T} = \tau_{H1} + \tau_{H2}$$

TRUJILLO

$$\tau_H = G \frac{u_1}{T} + \frac{H_2}{2ab}$$

NO !!! $\tau_H = G \frac{u_1}{T} + \frac{H_2}{ab}$

Cuando los desplazamientos y las fuerzas se produzcan al mismo tiempo según el eje del tablero y según la normal al eje del tablero, las tensiones tangenciales que se producen, τ_{H2} en la dirección del eje del tablero y τ_{H1} según la normal al eje del tablero, se adicionan vectorialmente, es decir

$$\tau_{H \text{ total}} = \sqrt{\tau_{H1}^2 + \tau_{H2}^2}$$

Giros:

Cuando un zuncho gira con respecto a otro zuncho solidario con la misma capa de elastómero la distribución de tensiones tangenciales es la que se indica en la figura 12. La tensión tangencial máxima viene dada por

$$\tau_{\text{max}} = \frac{G}{2} \times \left(\frac{a}{l} \right)^2 \times \alpha_1$$

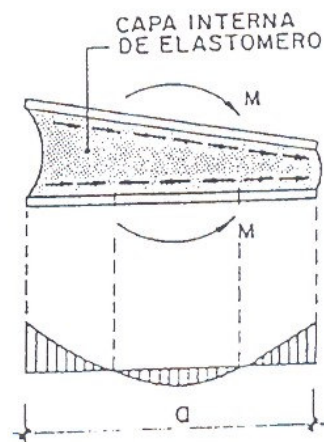


Figura 12

* La fórmula de Trujillo es correcta $\tau_H = G \frac{u_1}{T} + \frac{H_2}{2ab} = \tau_{H1} + \tau_{H2}$

donde $\alpha_1 = \frac{\alpha_t}{n}$ siendo α_t el giro total que debe absorber el apoyo expresado en radianes.

La rotación de un aparato de apoyo puede ser debida al funcionamiento de la estructura o también puede ser debida a un defecto de falta de paralelismo inicial entre el tablero y la pila o estribo.

El valor del momento de reacción M viene dado por

$$M = G \frac{\alpha_t}{n} \times \frac{a^3 b}{l^3} \times \frac{1}{K_2}$$

los valores de K_2 se indican en la tabla siguiente en función de la relación b/a

b/a	1	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,5	10	∞
K_2	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

Cuando las rotaciones se efectúan según el eje normal al del tablero (caso habitual) y según el eje del tablero, las tensiones tangenciales $\tau_{n,a}$ y $\tau_{n,b}$ se suman vectorialmente.

$$\tau_{n, total} = \sqrt{\tau_{n,a}^2 + \tau_{n,b}^2}$$

donde

$$\tau_{\alpha a} = \tau_{\alpha_1 a} = \frac{G}{2} \left(\frac{a}{l} \right)^2 \cdot \alpha_{1a}$$

$$\tau_{\alpha b} = \tau_{\alpha_1 b} = \frac{G}{2} \left(\frac{b}{l} \right)^2 \cdot \alpha_{1b}$$

$$\tau_{\alpha TOTAL} = \sqrt{\tau_{\alpha_1 a}^2 + \tau_{\alpha_1 b}^2} = \sqrt{\tau_{\alpha a}^2 + \tau_{\alpha b}^2}$$

siendo

$$\alpha_{1a} = \frac{\alpha_{1a}}{n} \quad y \quad \alpha_{1b} = \frac{\alpha_{1b}}{n}$$

$$\alpha_{1a} = \frac{\alpha_{ta}}{n} \quad y \quad \alpha_{1b} = \frac{\alpha_{tb}}{n}$$

Para tener en cuenta las posibles faltas de paralelismo entre el tablero y la pila o estribo se tomará $\alpha_t = \alpha_o + \alpha$, donde α es la rotación obtenida en los cálculos, y para α_o se tomará

tableros hormigonados in situ $\alpha_o = 3/1000 \text{ rad.}$

tableros prefabricados $\alpha_o = 10/1000 \text{ rad.}$

tableros metálicos $\alpha_o = 3/1000 \text{ rad.}$

2.3.2 Limitaciones

Limitaciones de la tensión tangencial:

Se ha de verificar que:

$$\tau = \tau_N + \tau_{H, total} + \tau_{\alpha, total} \leq 5G \quad y$$

$$\tau_{N, total} \leq 0,5G \quad y \quad \tau_{H, total} \leq 0,7G$$

$$\tau = \tau_N + \tau_{H, total} + \tau_{\alpha, total} \leq 5G$$

$$\tau_{H, total} \leq 0,5G$$

$$\tau_{H, total} \leq 0,7G^{15}$$

$$\tau_{\alpha} \leq \tau$$

Limitaciones de la tensión media:

$$\sigma_m \leq 150 \text{ kp/cm}^2$$

Condición de no desplazamiento del apoyo de su posición inicial:

Se han de verificar las dos condiciones siguientes:

$$\sigma_m \geq 20 \text{ kp/cm}^2$$

$$H \leq f \times N$$

donde H es la fuerza horizontal concomitante con la carga vertical N.

El coeficiente de rozamiento, f, toma los valores siguientes:

$$f = 0,12 + \frac{2}{\sigma_m} \quad \text{para los apoyos tipo C}$$

$$f = 0,10 + \frac{6}{\sigma_m} \quad \text{para los apoyos tipos A y B}$$

σ_m está expresado en kp/cm^2 .

Cuando $10 \text{ kp/cm}^2 \leq \sigma_m \leq 20 \text{ kp/cm}^2$ es conveniente prevenir el posible desplazamiento del aparato de apoyo de su posición inicial, dotándolo de dispositivos especiales como los descritos en 1.3.2.

Cuando $\sigma_m \leq 10 \text{ kp/cm}^2$ hay que prever incluso que el apoyo llegue a transmitir reacciones negativas a las pilas o estribos. Se dispondrán entonces aparatos de apoyo, por ejemplo, como el que se indica en el esquema adjunto (fig. 13).

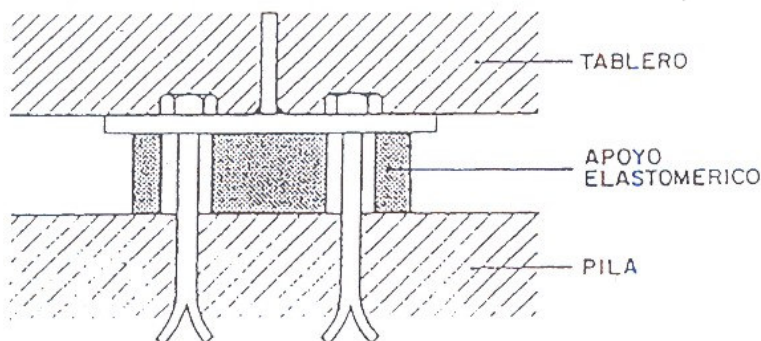


Figura 13

Condición de estabilidad:

Se ha de verificar la doble condición siguiente:

$$a/10 \leq T \leq a/5$$

$$a/10 \leq T \leq a/5$$

Condición de no levantamiento:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_t}{n} \leq \frac{3}{S} \times \frac{l^2}{a^2} \times \frac{\sigma_m}{G} \quad \alpha_1 = \frac{\alpha_t}{n} \leq \frac{3}{S} \times \frac{t^2}{a^2} \times \frac{\sigma_m}{G}$$

Esta condición asegura que no se produzca separación entre el borde menos cargado del apoyo y el tablero.

Espesor de los zunchos:

El espesor de los zunchos, e , debe verificar las dos condiciones siguientes:

$$e \geq \frac{a}{S} \times \frac{\sigma_m}{\sigma_e} \quad \text{y} \quad l \geq 2 \text{ mm}$$

donde σ_e es el límite elástico del acero de que están constituidos los zunchos.

Todas estas limitaciones y comprobaciones se aplican, bien al apoyo completo, bien a las capas interiores. En ningún caso será necesario efectuar estas comprobaciones para las capas de recubrimiento en el caso de que las haya. (Apoyos tipos A y B).

2.4 CASO PARTICULAR DE LOS APOYOS ARMADOS DESLIZANTES

En el caso de los apoyos armados deslizantes descritos en 1.3.4 su comportamiento frente a las cargas verticales y los giros es análogo al de los apoyos elastoméricos armados. Propiamente dichos, por lo que en general, siempre que las fuerzas horizontales transmitidas al aparato de apoyo al desplazarse la placa de deslizamiento sobre el teflón sean pequeñas se podrán dimensionar con lo dicho en 2.3 para cargas verticales y giros.

2.4.1 Dimensionamiento de las placas de deslizamiento

Las dimensiones en planta de la placa de deslizamiento son función de las dimensiones del bloque inferior de elastómero y de los desplazamientos previstos (fig. 14).

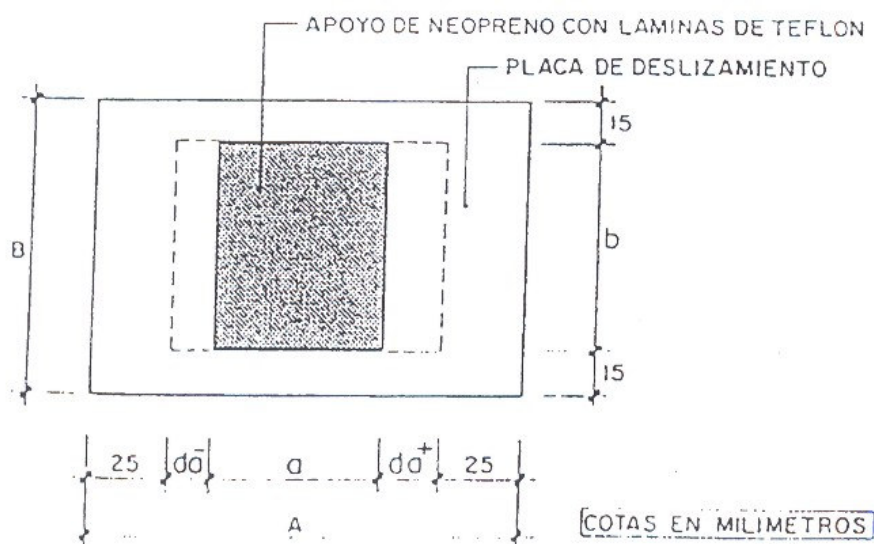


Figura 14

Para un desplazamiento, d_s , paralelo al eje longitudinal del tablero se tendrá:

$$A = a + |d_s^+| + |d_s^-| + 50 \text{ mm.} \quad \text{donde}$$

d_s^+ y d_s^- son los desplazamientos en un sentido y en el opuesto, y

$$B = b + 30 \text{ mm}$$

Para un desplazamiento compuesto, d_s y d_n , según el eje del tablero y la normal al eje del tablero se tendrá:

$$A = a + |d_s^+| + |d_s^-| + 50 \text{ mm}$$

$$B = b + |d_n^+| + |d_n^-| + 50 \text{ mm}$$

2.4.2 Coeficiente de rozamiento

Los valores que se pueden dar del coeficiente de rozamiento no son más que valores medios ya que éste depende de numerosos factores.

Se puede expresar que el máximo esfuerzo horizontal transmitido por el apoyo a la pila o estribo viene dado por:

$$H = 1,2 f \times N$$

siendo H y N correspondientes a la misma hipótesis o combinación de carga y f el coeficiente de rozamiento para el que se pueda adoptar

$$f \% = \frac{1}{100} \left(6 - \frac{\sigma_m}{40} \right) \quad \text{con } \sigma_m \text{ expresada en kp/cm}^2.$$

Cuando los aparatos de apoyo deslizantes se utilicen de una manera provisional, por ejemplo en el caso de lanzamiento de vigas en puentes prefabricados, se pueden adoptar unos valores más bajos del coeficiente de rozamiento. Se puede adoptar en este caso:

$$f \% = \frac{1}{100} \left(3,5 - \frac{\sigma_m}{100} \right)$$

Es conveniente señalar aquí que el coeficiente de rozamiento aumenta al disminuir la temperatura.

3. TABLAS DE PREDIMENSIONADO

De acuerdo con el método de dimensionamiento expuesto en 2.3 y con las relaciones dimensionales recomendadas en 2.1 se incluyen a continuación unas tablas de predimensionado. Estas tablas son por lo tanto válidas únicamente para los aparatos de apoyo que cumplan con las relaciones dimensionales indicadas en 2.1. La comprobación del aparato de apoyo se realizará entonces de acuerdo con lo indicado en I.1 del apéndice I.

Caso de no ajustarse a las relaciones dimensionales recomendadas en 2.1 el apoyo se comprobará de acuerdo con lo especificado en I.2 del apéndice I.

3.1 NUMERO MAXIMO DE CAPAS

En las tablas 3.1 y 3.2 se indica el número máximo, n , de capas interiores de elastómero para los apoyos tipos A y B.

Análogamente se hace en la tabla 3.3 para los apoyos tipo C. (En este último caso todas las capas son interiores).

3.2 CARGA VERTICAL MAXIMA ADMISIBLE

En la tabla 3.4 se indica para los apoyos tipo A, B y C la carga vertical máxima admisible expresada en toneladas. Se señala aquí lo ya indicado en 2.1 con respecto a los apoyos de dimensiones en planta 700×700 , 700×800 , 800×800 y 900×900 .

3.3 MAXIMA DISTORSION ADMISIBLE POR CAPA

En las tablas 3.5 y 3.6 se indica para los apoyos tipo A, B y C el desplazamiento máximo admisible por capa en milímetros. La distorsión total admisible del apoyo será

$$n \times U_{adm}$$

siendo n , como se indicó en 1.3.1 el número de capas interiores de elastómero (fig. 15).

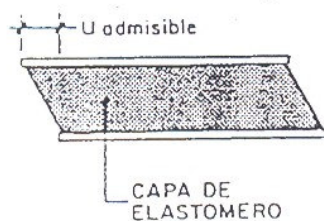


Figura 15

3.4 GIRO MAXIMO ADMISIBLE POR CAPA

En las tablas 3.7 y 3.8 se indica para los apoyos tipo A, B y C el giro máximo admisible por capa en milésimas de radián de eje normal al lado a del apoyo. ($\alpha_{a, 100, 10}$)

En las tablas 3.9 y 3.10 se indica para los apoyos tipo A, B y C el giro máximo admisible por capa en milésimas de radián de eje normal al lado b del apoyo. ($\alpha_{b, 100, 10}$)

Como se indicó en 1.3.1 $a \leq b$.

Se entiende por $\alpha_{a, 100, 10}$ el giro admisible por capa de eje normal al lado a , cuando la tensión media, σ_m , es de 100 kp/cm^2 y el módulo de elasticidad transversal, G , vale 10 kp/cm^2 .

Para cualquier otro valor de σ_m y de G el giro admisible por capa de eje normal al lado a , viene dado por la expresión

$$\alpha_{a, \sigma_m, G} = \alpha_{a, 100, 10} \times \frac{\sigma_m}{100} \times \frac{10}{G} \quad \sigma_m \text{ y } G \text{ en } \text{kp/cm}^2$$

Análogas consideraciones se aplican para los giros de eje normal al lado b, siendo entonces

$$\alpha_{b, \sigma_m, G} = \alpha_{b, 100, 10} \times \frac{\sigma_m}{100} \times \frac{10}{G} \quad \sigma_m \text{ y } G \text{ en kp/cm}^2$$

El giro máximo admisible del apoyo de eje normal al lado a, será

$$\alpha_{1a} = n \times \alpha_{a, \sigma_m, G}$$

Análogamente

$$\alpha_{1b} = n \times \alpha_{b, \sigma_m, G}$$

En ambas expresiones, n, es el número de capas interiores de elastómero.

3.5 TABLAS

A continuación se incluyen las tablas descritas en los apartados anteriores.

Tabla 3.1

NUMERO MAXIMO DE CAPAS INTERIORES APOYOS TIPO A DE ACUERDO CON LOS ESPESORES DE CAPA RECOMENDADOS EN LA TABLA 2.1.

Dimensiones en planta	100 x 100	100 x 150	100 x 200	150 x 200	150 x 250	150 x 300	200 x 250	200 x 300	250 x 300	250 x 400	300 x 400
Número máximo de capas	3	3	3	5	5	3	4	4	5	5	6

Dimensiones en planta	300 x 500	350 x 500	400 x 500	500 x 500	500 x 600	600 x 600	600 x 700	700 x 700	700 x 800	800 x 800	900 x 900
Número máximo de capas	5	5	6	8	8	7	7	9	9	8	9

Tabla 3.2

NUMERO MAXIMO DE CAPAS INTERIORES APOYOS TIPO B DE ACUERDO CON LOS ESPESORES DE CAPA RECOMENDADOS EN LA TABLA 2.2.

Dimensiones en planta	100 x 100	100 x 150	100 x 200	150 x 200	150 x 250	150 x 300	200 x 250	200 x 300	250 x 300	250 x 400	300 x 400
Número máximo de capas	1	1	1	2	2	2	4	4	4	4	5

Dimensiones en planta	300 x 500	350 x 500	400 x 500	500 x 500	500 x 600	600 x 600	600 x 700	700 x 700	700 x 800	800 x 800	900 x 900
Número máximo de capas	5	6	7	9	9	9	9	10	10	12	14