



Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera



Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera



**Ministerio de Obras Públicas, Transportes
y Medio Ambiente**
Secretaría de Estado de Política Territorial y Obras Públicas
Dirección General de Carreteras

Edita: Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Obras Públicas, Transportes
y Medio Ambiente

I.S.B.N.: 84-498-1980-6

NIPO: 161-95-147-4

Depósito legal: M-193-1996

Imprime: Sucesores de Rivadeneyra, S. A.

Diseño cubierta: Carmen G. Ayala

Impreso en papel reciclado

PREAMBULO

El tiempo transcurrido desde la aparición de las «Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carreteras» publicadas por la Dirección General de Carreteras en el año 1982, así como los avances técnicos y la experiencia adquirida sobre los aparatos de apoyo para puentes de carreteras, han llevado a la necesidad de redactar la presente nota técnica que sirva de guía sobre los sistemas de aparatos de apoyo para puentes de carretera de uso común en la actualidad.

Esta nota técnica elaborada por Tecnología supone un complemento a las «Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera», donde se trataba de forma exhaustiva pero exclusiva los apoyos elastoméricos, pues además de considerar este tipo de aparato de apoyo, se contemplan otras tipologías, de frecuente utilización en los puentes de carretera.

En la presente nota técnica se analizan los tipos más comunes de apoyos que se utilizan hoy en día en los puentes de carretera, procurando que no aparezcan como algo independiente de la estructura a la que sustentan y de la subestructura a la que transmiten las cargas, sino como un elemento que interrelaciona el tablero del puente y su subestructura.

Se describen las características y rangos de utilización de cada tipo, se definen unos criterios para la elección apropiada del sistema de apoyo, se indican también aspectos relativos a la colocación, posibles patologías y sustitución de los aparatos de apoyo, por la relevancia que tienen a lo largo de la vida útil del puente.

Por último, en el Anejo, se hace un breve resumen, para un caso simple, aunque frecuente, del cálculo del reparto de acciones horizontales en puentes.

Madrid, marzo de 1995

INDICE

		<i>Páginas</i>
1.	GENERALIDADES	7
1.1.	Introducción	7
1.2.	Acciones transmitidas a los apoyos	7
1.3.	Movimiento de los apoyos	8
2.	TIPOLOGÍA DE APOYOS	9
2.1.	Apoyo de neopreno zunchado	9
2.1.1.	Esquema de funcionamiento	9
2.1.2.	Rango de utilización	11
2.2.	Aparatos de apoyo tipo «pot» o caja	13
2.2.1.	Esquema de funcionamiento	13
2.2.2.	Rango de utilización	14
2.3.	Apoyos deslizantes	14
2.3.1.	Esquema de funcionamiento	15
2.3.2.	El teflón	17
2.3.3.	Factores que influyen en el valor del coeficiente de rozamiento	17
2.3.4.	Rango de utilización	19
2.4.	Apoyos de neopreno zunchado anclados	19
2.5.	Aparatos de apoyo pretensados verticalmente	20
2.6.	Aparatos de apoyo metálicos	21
2.6.1.	Apoyos fijos	21
2.6.2.	Apoyos móviles	21
2.6.3.	Otros apoyos metálicos	22
2.7.	Otros apoyos	22
2.7.1.	Rótulas de hormigón	22
2.7.2.	Péndulos de hormigón	25
3.	CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA PARA LA ELECCIÓN DEL SISTEMA DE APOYO	27
4.	COLOCACIÓN Y ENTORNO DE LOS APARATOS DE APOYO ..	31
5.	PATOLOGÍA Y SUSTITUCIÓN DE LOS APARATOS DE APOYO .	35
5.1.	Patología	35
5.2.	Sustitución	36
ANEJO	REPARTO DE ACCIONES HORIZONTALES	39
A.1.	Tableros de planta recta	41
A.1.1.	Introducción	41
A.1.2.	Rigidez de los aparatos de apoyo	41
A.1.3.	Rigidez de la subestructura	43
A.1.4.	Rigidez de la línea de apoyo	44
A.1.5.	Algunos casos particulares de reparto de acciones horizontales	46
A.1.5.1.	Puente continuo con apoyos de neopreno zunchado	46
A.2.	Tableros de planta curva	50

1.1. INTRODUCCIÓN

El tablero de los puentes transmite las cargas a los estribos y en su caso a las pilas bien de forma directa (como en el caso de los puentes pórtico), bien mediante la interposición de unos elementos comúnmente denominados «apoyos» o «aparatos de apoyo».

Los apoyos no solamente deberán ser capaces de absorber las fuerzas horizontales y verticales transmitidas por el tablero, originadas por las cargas permanentes y sobrecargas, sino también deben permitir (según la tipología de la estructura y de la subestructura) determinados movimientos e impedir otros.

1.2. ACCIONES TRANSMITIDAS A LOS APOYOS

De una manera general, y sin entrar por el momento en el análisis detallado que habrá que hacer en cada caso, en los puentes de tipo medio los aparatos de apoyo soportarán y transmitirán a la subestructura fuerzas que referidas al sistema de ejes de la figura 1 serán susceptibles de tener tres componentes. En el mencionado sistema de ejes, la dirección X corresponde a la paralela a la tangente al eje del tablero en la línea de apoyos estando los otros dos ejes definidos de acuerdo con el criterio de la figura 1.

A continuación se analizan, para el caso general de un puente de planta recta (en el anejo se harán los comentarios oportunos para puentes de planta curva), el origen de las tres componentes de las fuerzas en los casos más corrientes.

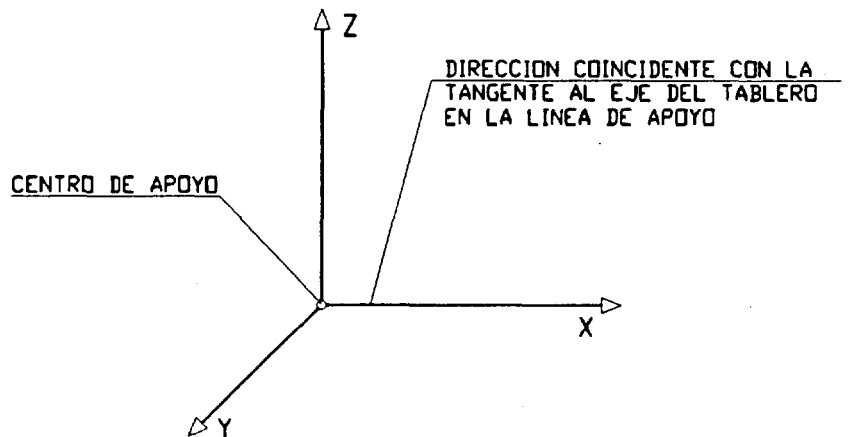


Fig. 1

Componente F_z

Debida a las cargas verticales transmitidas por el tablero, esto es, cargas permanentes, sobrecargas y pretensado en su caso. De existir descensos en la cimentación o fuerzas sísmicas de componente vertical se generarán fuerzas adicionales por estas acciones de componente según el eje z.

Igualmente, en un análisis detallado de los esfuerzos de viento sobre el tablero (transversales al eje del puente) se producirán fuerzas de componente según z en el caso de existir más de un apoyo en la línea de apoyos considerada ¹.

¹ Se entiende por línea de apoyo el conjunto de apoyos situados en la misma línea y que soporta el tablero a todo su ancho, bien en los estribos, bien sobre las pilas.

Componente Fx

Debida a:

- Efectos de frenado y arranque de vehículos.
- Acortamiento elástico en el caso de tableros pretensados.
- Deformaciones termohigrométricas del tablero (temperatura, retracción, fluencia). Como se comentará más adelante, esta fuerza dependerá en gran medida no sólo del tipo de apoyo utilizado, sino también de la rigidez de la subestructura.
- Efectos sísmicos de componente según X.
- Errores en la nivelación del tablero sobre los aparatos de apoyo.

Componente Fy

Debida a:

- Efectos del viento
- Movimientos termohigrométricos en el caso de puentes con anchura apreciable.
- Fuerza centrífuga en el caso de puentes de planta curva.
- Efectos sísmicos de componente transversal.

También en algunos casos, las cargas verticales son susceptibles de originar fuerzas horizontales en la dirección «X» y en la dirección «Y». Estas fuerzas resultan, en general, despreciables.

1.3. MOVIMIENTOS DE LOS APOYOS

Los aparatos de apoyos establecen un vínculo entre el tablero del puente y la subestructura (pilas y estribos). De una manera general, en los aparatos de apoyo serán susceptibles de producirse movimientos relativos (giros y desplazamientos) entre el tablero y la subestructura según los ejes coordenados de la figura 1. Al hablar en los apartados siguientes de tipología de apoyos se verá cuáles de estos movimientos van a estar permitidos y cuáles no, dándose lugar a distintas clases de apoyos, fijos, libres, etc., que definirán el sistema de apoyo del puente y cuya disposición y tipología deberá quedar claramente definida en el proyecto del mismo.

2.

TIPOLOGÍA DE APOYOS

En lo que sigue se describen los apoyos comúnmente utilizados en los puentes de tipo medio. No se contemplan aquellos apoyos que en determinados casos pueden ser objeto de un diseño especial.

2.1. APOYOS DE NEOPRENO ZUNCHADO

Aparecen descritos con gran extensión en la publicación de la Dirección General de Carreteras de título: «*Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera*»². Están constituidos en esencia por un bloque de elastómero que lleva intercaladas en su masa y vulcanizadas con la goma, y por tanto firmemente adheridas a ella, unas chapas de acero. La palabra elastómero es un término genérico para los materiales sintéticos similares al caucho natural. Lo normal es utilizar cauchos sintéticos de los cuales el más común es el neopreno cuya denominación química es «poli-2-clorobutadieno».

Responden en esencia al esquema de la figura 2 en que se aprecia que las chapas o zunchos de acero quedan completamente embebidas en el bloque de elastómero lo que sirve para protegerlas de la corrosión.

Habitualmente se designa por «a» al lado menor del apoyo y por «b» al mayor. Se distingue asimismo la altura neta de la goma del apoyo «T» de la altura total del apoyo (suma del espesor de las láminas o zunchos de acero y de la altura neta de goma).

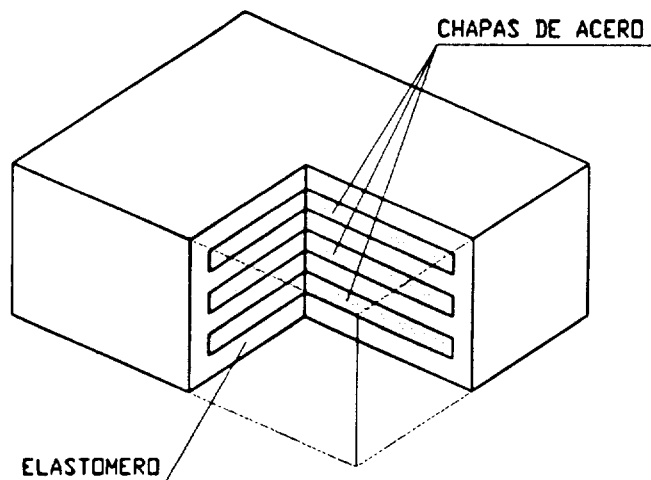


Fig. 2

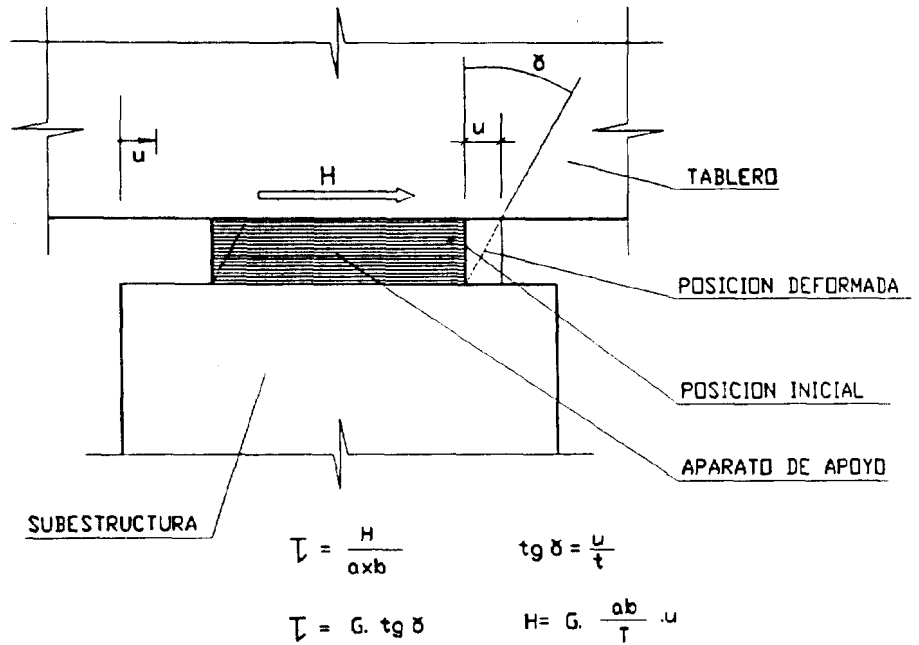
2.1.1. Esquema de funcionamiento

Frente a las cargas verticales transmitidas por el tablero los apoyos son deformables, es decir, sufren acortamientos según el sentido del eje -z (ver figura 1), aunque en general esta flexibilidad vertical no se suele tener en cuenta en el diseño del tablero. En cualquier caso, en las RPAE está indicada la expresión del acortamiento vertical de los aparatos de apoyo en función de la tensión media a que esté sometido y de las características elásticas y geométricas del aparato de apoyo.

Un dato de gran importancia para el diseño de los aparatos de apoyo de neopreno zunchado es el módulo de elasticidad transversal de la goma o elastómero (G) que,

² En lo sucesivo, a las «*Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los apoyos elastoméricos para puentes de carretera*» se les denominará RPAE.

de acuerdo con el esquema de la figura 3, relaciona las fuerzas horizontales aplicadas al apoyo con los movimientos horizontales del mismo, según los conceptos clásicos de Resistencia de Materiales. El valor de G para acciones lentas (deformaciones termohigrométricas) suele estar comprendido entre 8 y 12 kp/cm². Para acciones instantáneas (frenado, viento, etc.) el valor de G es del orden del doble.



expresiones en las que:

- a y b: Dimensiones en planta del apoyo
- τ : Tension tangencial
- H: Fuerza horizontal
- u: Desplazamiento horizontal del tablero y del apoyo
- T: Altura neta de goma del apoyo
- tg δ : Distorsion del aparato de apoyo o deformacion angular

Fig. 3

Con respecto a los giros, los apoyos de neopreno zunchado, gracias a su deformabilidad, permiten los giros relativos entre el tablero y la subestructura (giros cuyo eje esté contenido en el plano xy, figura 1) sin apenas ejercer coacción a los mismos. En las RPAE está indicada la expresión del momento reacción que se origina en el aparato de apoyo en función del giro a absorber y de las características elásticas y geométricas del apoyo. El descentramiento de las reacciones verticales provocado por este momento no es frecuente tenerlo en consideración para el diseño de la subestructura.

Con respecto a los movimientos horizontales, estos apoyos gracias a su deformabilidad en el plano xy (ver figura 1), y de acuerdo con el esquema de la figura 3, permiten los movimientos relativos horizontales entre el tablero y la subestructura.

En base al esquema de la citada figura 3, la vinculación que establecen los apoyos de neopreno zunchado entre la subestructura (cabeza de las pilas o coronación de los estribos) y el tablero es de tipo elástico ya que permiten los movimientos relativos mediante su propia deformación siendo la relación entre la fuerza transmitida al apoyo (H) y el citado movimiento relativo (u) de tipo elástico lineal ($F = K u$) donde K (rigidez del aparato de apoyo) viene dada por

$$K = \frac{G \times a \times b}{T} \quad (\text{Ver figura 3})$$

Para que este esquema de funcionamiento no se desvirtúe en ninguna circunstancia, no se debe producir el deslizamiento del tablero sobre el apoyo o el de éste sobre la cabeza de la subestructura arrastrado por aquél. Es, por lo tanto, un requisito de diseño importante el que en cualquier hipótesis de carga se verifique siempre que la acción horizontal transmitida al apoyo sea menor que el producto del coeficiente de rozamiento entre el apoyo y el hormigón por la reacción vertical concomitante con la fuerza horizontal. (Véanse las RPAE).

2.1.2. Rango de utilización

Los apoyos de neopreno zunchado son los más usados en los puentes de tipo medio. Las reglas para su diseño y las distintas limitaciones que deben cumplir están expuestas y desarrolladas en las RPAE por lo que a continuación tan sólo se comentan brevemente.

Limitación de la distorsión admisible bajo acciones lentas

De acuerdo con el esquema de la figura 3, se ha de verificar:

$$\tan \gamma = \frac{u}{T} \leq 0,5$$

siendo u el movimiento relativo entre el tablero y la subestructura debido a las deformaciones termohigrométricas (acciones lentas).

Limitación de la distorsión admisible total

Se ha de verificar (ver figura 3) que:

$$\tan \gamma = \frac{u}{T} \leq 0,7$$

siendo u el movimiento relativo entre el tablero y la subestructura debido tanto a acciones lentas como a acciones instantáneas (frenado, viento, etc). En situaciones con sismo la limitación anterior será:

$$\tan \gamma = \frac{u}{T} \leq 1,0$$

Limitación de la presión vertical máxima

Las tensiones verticales máximas para las que se dimensionan estos apoyos deben cumplir ³:

$$\sigma = \frac{N_{m\acute{a}x}}{a \times b} \leq 150 \text{ Kp/cm}^2$$

donde $N_{m\acute{a}x}$ = Reacción vertical máxima.

³ Cuando las dimensiones en planta son iguales o mayores que 700 x 700 (dimensiones en milímetros) la tensión vertical máxima es aconsejable limitarla a 120 Kp/cm².

Condición de no deslizamiento

Ya comentada anteriormente y que exige que en cualquier hipótesis de carga se cumpla que:

$$H < f \times N \quad (f : \text{coeficiente de rozamiento})$$

para asegurar que no se desvirtúa el funcionamiento del apoyo de neopreno zunchado como tal (vinculación elástica en cuanto a movimientos horizontales entre el tablero y la subestructura).

Condición de estabilidad

La dimensión mínima en planta «a» del apoyo de neopreno zunchado debe ser tal que se verifique que:

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

donde, como se ha dicho, T es la altura neta de elastómero del apoyo.

Giro admisible

El giro admisible de estos apoyos depende de la carga vertical (tensión media) que soporta el apoyo ya que la condición que se impone (véanse RPAE) es que en ninguna hipótesis de carga se pueda producir en parte del apoyo descompresión del mismo quedando sólo parte de él cargado. Con el esquema de la figura 4 se aclara lo acabado de exponer, ya que al exigir $e > e'$ se asegura la condición anterior.

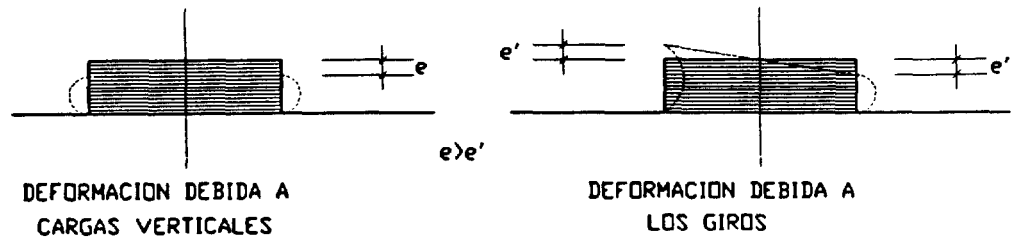


Fig. 4

Es decir, cuanto mayor es la carga vertical que soporta el apoyo, mayor es su capacidad de absorción de giro.

En este sentido, la capacidad de absorción de giro de estos apoyos con tensiones de trabajo reducidas puede resultar muy baja.

En las RPAE está indicada la expresión que relaciona el giro admisible del apoyo con la tensión vertical que soporta y las características elásticas y geométricas del propio apoyo.

Limitación de la tensión tangencial total en el contacto goma-zunchos de acero

Se limita dicha tensión tangencial total debida a:

- Cargas verticales (Γ_N)
- Giros a absorber (Γ_α)
- Distorsión del aparato de apoyo (Γ_H)

al valor de $5G$ donde G , como se indicó, es el módulo de elasticidad transversal del aparato de apoyo. En las RPAE están indicadas las expresiones, que en función de las características elásticas y geométricas de los apoyos y de las cargas y movimientos a absorber, permiten obtener Γ_N , Γ_α y Γ_H .

Espesor mínimo de los zunchos de acero

El espesor mínimo de los zunchos de acero aumenta al aumentar la tensión vertical a que va a estar sometido el aparato de apoyo. Igualmente, en las RPAE viene indicada la expresión que relaciona el citado espesor mínimo con la tensión vertical y las características geométricas del apoyo.

En cualquier caso, el espesor de las chapas no debe ser menor de 2 mm.

2.2. APARATOS DE APOYO TIPO «POT» O CAJA

La necesidad de disponer de aparatos de apoyo capaces de absorber cargas verticales elevadas, al mismo tiempo que permitir con la mínima coacción posible los giros del tablero (giros de eje «x» y giros de eje «y», figura 1), no se puede satisfacer, en general, con apoyos de neopreno zunchado porque habría que disponer grandes superficies de apoyo para que todos los lados del mismo estuviesen en compresión. Recuérdese que la tensión máxima vertical de trabajo de los apoyos de neopreno zunchado no debía superar los 150 Kp/cm².

Se utilizan entonces los aparatos de apoyo tipo «pot» que consisten esencialmente en una lámina cilíndrica de caucho o neopreno de, relativamente, poco espesor, que está completamente encapsulada en una caja o cápsula de acero como se puede ver en la figura 5. Sobre la lámina de caucho actúa, a su vez, un pistón de acero que es solidario con el tablero mediante los oportunos pernos constituyendo el conjunto el aparato de apoyo.

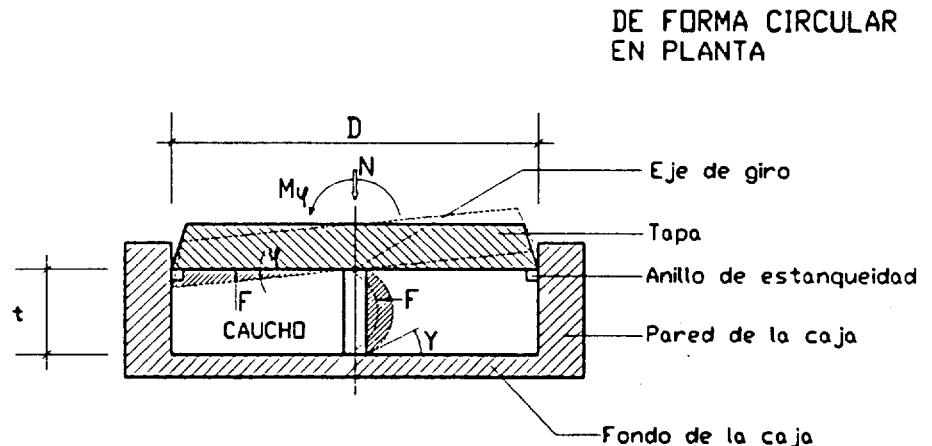


Fig. 5

2.2.1. Esquema de funcionamiento

El elastómero que constituye el relleno de la cápsula se trata de un elastómero blando (Dureza Shore -A 50º, módulo de elasticidad transversal $G = 8 \text{ Kp/cm}^2$) que, sometido a alta presión, actúa como un líquido viscoso en una prensa hidráulica. Se debe disponer una junta hermética (anillo de estanqueidad) entre la placa que tapa la cápsula y la pared del cilindro para evitar la salida de posibles rebabas del elastómero.

Sometido a una compresión centrada, el elastómero actúa como un líquido prácticamente incompresible, por lo que estos apoyos se pueden considerar infinitamente rígidos en sentido vertical.

Al girar la placa superior debido a los giros del tablero se ofrece una pequeña resistencia al giro que viene dada por la expresión (ver figura 5).

$$M_{\phi} = 1,3 (\alpha \times \tan \phi + 0,005 p) \times D^3$$

con los valores del coeficiente α siguientes en función de la relación D/t y siendo p la tensión media del elastómero.

D/t	10	15	20
α [Kp/cm ²]	7.500	7.500	7.500

En general, este pequeño grado de empotramiento elástico resulta despreciable y no es frecuente tenerlo en cuenta ni en el diseño del tablero ni de la subestructura (estribos y pilas). Es decir, a todos los efectos se suele considerar que la vinculación que este tipo de apoyos establece entre el tablero y las pilas o estribos es la correspondiente a una articulación perfecta.

Esto es, se trata de apoyos fijos que permiten los giros relativos entre el tablero y la subestructura e impiden los movimientos relativos en el plano «xy» (ver figura 1).

En la figura 6 se puede ver un esquema de un apoyo tipo «pot» ya instalado. Obsérvense los anclajes al tablero y a la subestructura que deben estar dimensionados para absorber las acciones epigrafiadas en 1.2. En particular, el apoyo debe ser capaz de transmitir del tablero a la subestructura sin que se desvirtúe su funcionamiento, las acciones horizontales contenidas en el plano «xy» (ver figura 1).

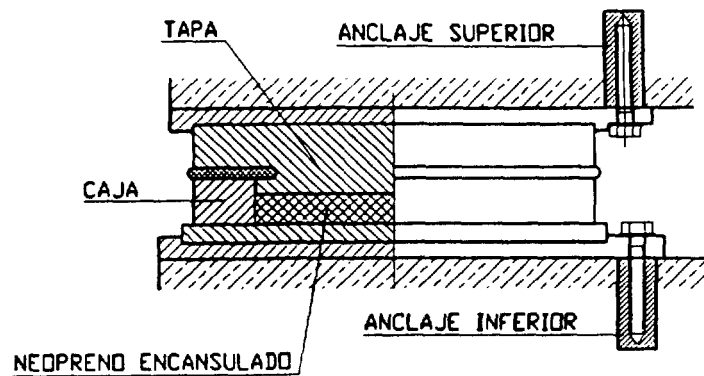


Fig. 6

2.2.2. Rango de utilización

Las tensiones verticales de trabajo, los giros admisibles y las acciones horizontales que pueden absorber estos apoyos son objeto de patentes comerciales y por tanto los datos anteriores aparecen reflejados en los catálogos de las distintas casas comerciales.

Se suelen utilizar, de una manera general, hasta tensiones verticales del orden de los 250-300 Kp/cm², empezando a tener una capacidad de rotación apreciable para tensiones verticales por encima de los 50 Kp/cm², pudiendo ésta llegar a ser del orden de los 0,02 radianes. Debe tenerse presente, como se deduce de lo acabado de indicar, que la capacidad de rotación del apoyo tipo «pot» es función de la tensión vertical (carga Fz) incrementándose al aumentar ésta. En este sentido, con tensiones verticales muy bajas, cualquier pequeño giro provocaría la separación física de parte del pistón, del elastómero de la cápsula, originándose así descentramientos apreciables de las reacciones verticales y desvirtuándose por tanto el esquema de funcionamiento del aparato de apoyo. Es decir, la excentricidad de la carga vertical «N» aplicada al apoyo, esto es, $e = M\phi/N$, debe estar siempre dentro del núcleo central en planta del cilindro de caucho.

2.3. APOYOS DESLIZANTES

Los apoyos deslizantes son una tipología derivada de las dos anteriores y que en ambos casos tienen en común el que los movimientos horizontales del tablero se absorben por deslizamiento de éste sobre las pilas y estribos transmitiendo a la subestructura (pilas o estribos) una fuerza horizontal no mayor de $\mu.N$ donde μ es el coeficiente

de rozamiento entre las superficies que deslizan y N la reacción vertical que soporta el aparato de apoyo. Su comportamiento en cuanto a cargas verticales y giros es en todo análogo, de una manera general, a las tipologías ya descritas.

Es común recurrir al uso de los apoyos deslizantes, entre otras, en las situaciones siguientes:

- Cuando las longitudes de dilatación - contracción de los tableros son tales que no es posible absorber los movimientos horizontales de los mismos por la deformabilidad conjunta de la subestructura y de apoyos de neopreno zunchado convencionales (ver Anejo), en el supuesto de que fuese factible su utilización por la carga vertical y el giro a absorber.
- Cuando al ser necesario un apoyo tipo «pot» por carga vertical o giro, al establecer una vinculación fija entre el tablero y la subestructura, que como se ha dicho es la que establecen los apoyos «pot», los esfuerzos originados en la subestructura resulten inadmisibles. Esto lógicamente va a suceder en puentes con pilas cortas o con longitudes de contracción-dilatación elevadas.

Debe tenerse presente que no es factible pensar en un tablero en que los aparatos de apoyo de todas sus líneas de apoyo sean deslizantes, porque de ser así el tablero quedaría completamente libre, salvedad hecha del rozamiento, en el plano horizontal.

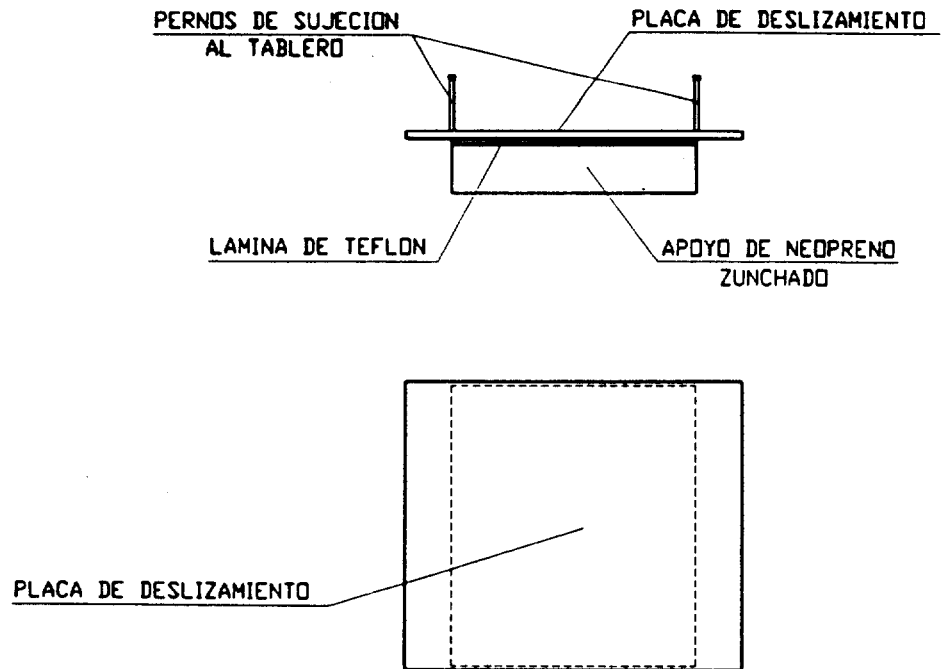


Fig. 7

2.3.1. Esquema de funcionamiento

Tanto en el caso de que se trate de apoyos de neopreno zunchado deslizantes o de apoyos tipo «pot» deslizantes, el esquema básico de funcionamiento es el mismo, consistiendo éste fundamentalmente en que el aparato de apoyo, bien de neopreno zunchado, bien tipo «pot», lleva adherida en su parte superior una lámina de teflón y a su vez el tablero lleva solidario con él un palastro de acero en el que en su cara inferior se dispone una lámina de acero inoxidable (de 1 a 2 mm. de espesor) constituyendo este conjunto (palastro de acero más lámina de acero inoxidable) la placa de deslizamiento que desliza sobre el teflón.

En la figura 7 se puede ver un apoyo de neopreno zunchado deslizante y en la figura 8 un apoyo tipo «pot» deslizante.

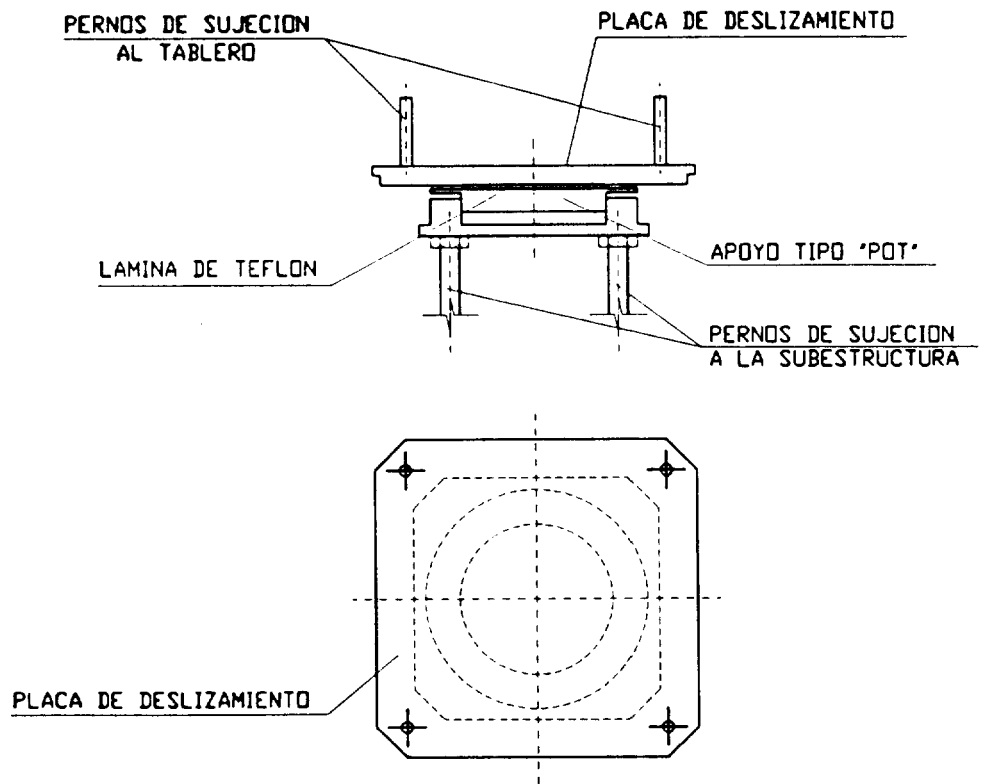


Fig. 8

Los esquemas de los aparatos de apoyo de las figuras 7 y 8 corresponden ambos a apoyos de los normalmente denominados bidireccionales ya que permiten el deslizamiento en cualquier dirección del plano. Habitualmente cuando se utilizan dos aparatos de apoyo deslizantes en una misma línea de apoyos, uno es completamente libre pero el otro, aun permitiendo el deslizamiento en el sentido longitudinal (dilataciones - contracciones), lo tiene impedido en sentido transversal.

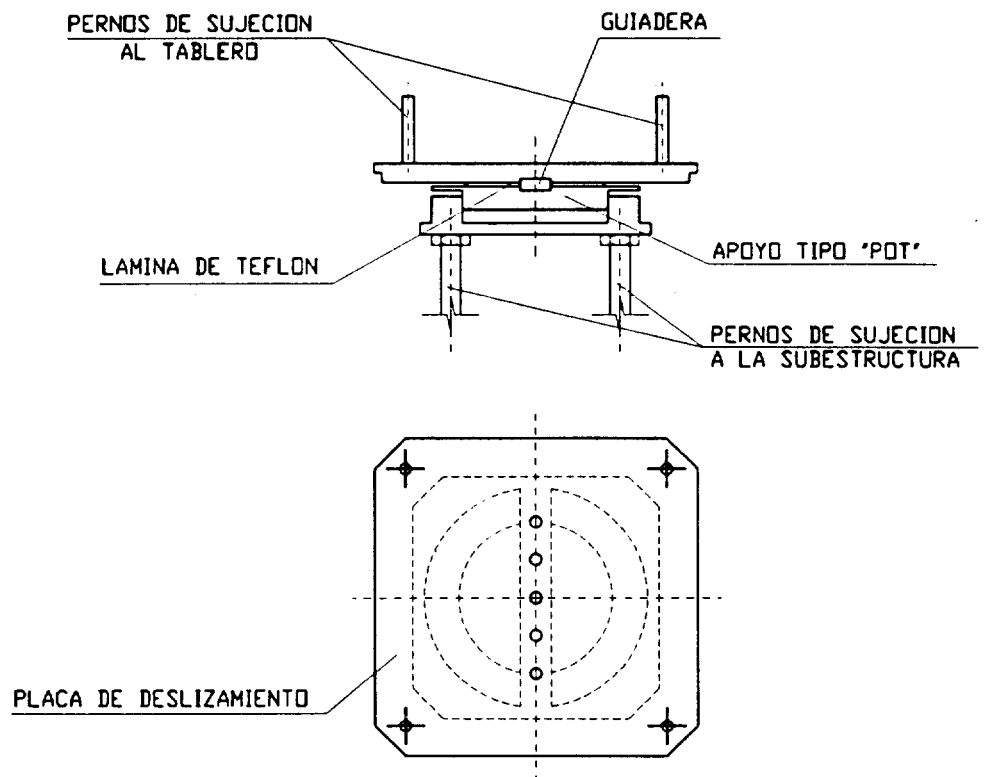


Fig. 9

Esto es así ya que si se utilizasen apoyos bidireccionales para todos los de la línea, el puente quedaría completamente libre, salvedad hecha del rozamiento, tanto en sentido longitudinal como transversal no siendo posible entonces, por ejemplo, transmitir las acciones transversales de viento a la subestructura.

Se recurre entonces a los aparatos de apoyo deslizantes unidireccionales en los que se dispone una guía de manera que el movimiento está impedido en sentido transversal a la guía. Responden, en el caso de los tipo «pot», al esquema de la figura 9. En este último caso, tanto la guía como los pernos inferiores deben estar dimensionados para resistir las acciones transversales transmitidas por el tablero.

La vinculación que establecen estos apoyos entre el tablero y la subestructura es, mientras no se venza el rozamiento, análoga a los de neopreno zunchado (vinculación elástica) o a los tipo «pot» (fija) según sea la tipología de la que deriven.

Una vez vencido el rozamiento, el apoyo funciona como completamente libre sin establecer ningún tipo de vinculación entre el tablero y la subestructura y transmitiendo una fuerza constante $\mu.N$ a la subestructura.

Como se deduce de lo expuesto hasta ahora, un dato de gran importancia para la utilización de estos apoyos es el coeficiente de rozamiento μ entre la lámina de teflón y la placa de deslizamiento solidaria con el tablero. Un correcto deslizamiento entre la placa de acero y la lámina de teflón con un coeficiente de rozamiento bajo podrá dar lugar a acciones en cabeza de pilas y estribos de poca cuantía lo que favorecerá el dimensionamiento de estos elementos.

2.3.2. El teflón

El teflón se trata de un material sintético también conocido como politetrafluoretileno (PTE). En algunos casos al politetrafluoretileno se le añaden «fillers» como fibras de vidrio, carbono, etc., que son compactadas y sinterizadas con el teflón durante el proceso de fabricación a fin de conseguir un material con unas propiedades mecánicas y de resistencia al envejecimiento mejores que el teflón puro sin adiciones.

En cualquier caso, el teflón, bien puro o con adiciones, se trata de un material que es virtualmente inmune al ataque químico y que tiene unas excelentes características de resistencia al envejecimiento. Su otra característica, fundamento de los apoyos deslizantes, es su bajo coeficiente de rozamiento en combinación con la lámina de acero inoxidable de la placa de deslizamiento solidaria con el tablero.

2.3.3. Factores que influyen en el valor del coeficiente de rozamiento

El valor del coeficiente de rozamiento μ , es un aspecto fundamental para la utilización de este tipo de apoyos puesto que puede condicionar completamente el diseño de la subestructura. Con respecto a este valor de μ se pueden hacer los siguientes comentarios:

- Disminuye al aumentar la tensión vertical a la que está sometido el apoyo. En este sentido, será por tanto más común el utilizar apoyos tipo «pot» deslizantes, que admiten mayores tensiones verticales de trabajo, que apoyos de neopreno zunchado deslizantes que trabajan a tensiones máximas verticales del orden de la mitad. Para aumentar la tensión vertical en la lámina de teflón y disminuir así el coeficiente de rozamiento se recurre a diseños como el de la figura 10, correspondientes todos ellos a apoyos tipo «pot» en que más que de una lámina de teflón debe hablarse de elementos de teflón insertados en la tapa del apoyo.

Los esquemas «a» y «b» corresponden a apoyos bidireccionales, mientras que el esquema «c» corresponde a un apoyo unidireccional.

- La velocidad a la que se produce el deslizamiento afecta al valor de μ en el sentido de aumentar éste al incrementarse aquélla.

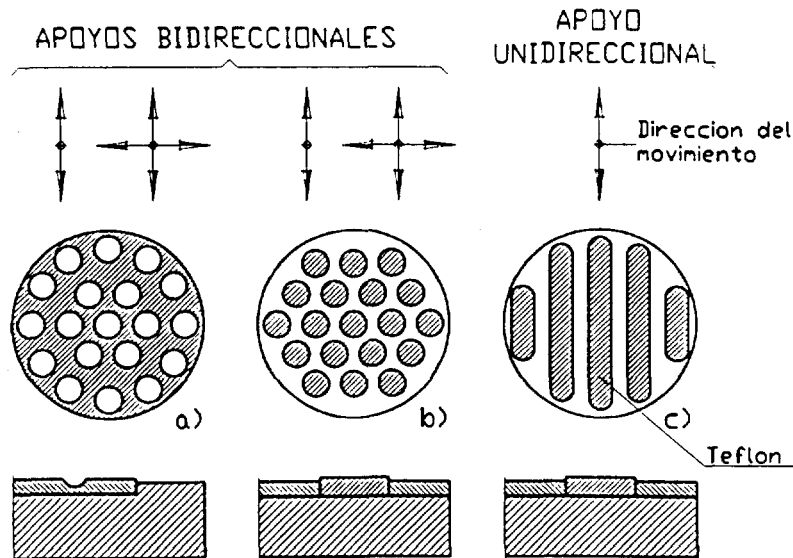


Fig. 10

- Inicialmente, antes de que se produzca el primer movimiento en los apoyos deslizantes, se puede hablar de un coeficiente de rozamiento de pico notablemente mayor que el que posteriormente se va a producir en el libre juego del apoyo. Se han llegado a medir valores para μ de pico de hasta 0,2. Para disminuir este coeficiente de pico se utilizan lubricantes en la interfase teflón-acero tales como grasas siliconadas y aceites minerales. Esta lubricación se trata de mantener, en general, a lo largo de toda la vida útil del apoyo.
- A medida que aumentan los ciclos de dilatación-contracción del aparato de apoyo (recorrido total efectuado por la placa de deslizamiento sobre el teflón) aumenta el coeficiente de rozamiento.
- El valor de μ disminuye al aumentar la temperatura en la interfase teflón-acero pudiéndose señalar que a 20°C el coeficiente de rozamiento (para una misma tensión vertical y una misma velocidad de deslizamiento) es del orden de la mitad que a -5°C.
- Se puede adoptar como expresión para el coeficiente de rozamiento en los apoyos deslizantes la siguiente:

$$\mu = 2,632 \times K \times p_c^{-0,42}$$

($P_c < 400 \text{ Kp/cm}^2$, presión vertical)

donde K es función de la temperatura en la interfase teflón-acero y de la velocidad de deslizamiento.

- Como valores del coeficiente de rozamiento μ para unas condiciones medias de trabajo, en función de la tensión vertical σ aplicada se pueden tomar los de la siguiente tabla:

$\sigma \text{ Kp/cm}^2$	100	200	300	400
μ	0,050	0,040	0,030	0,027

- En cualquier caso, como puede deducirse de todo lo anterior, la elección del coeficiente μ debe ser objeto de un cuidadoso análisis en la fase de proyecto por la importancia que dicha elección puede tener en el diseño de la subestructura.

2.3.4. Rango de utilización

El rango de utilización de los apoyos deslizantes en lo que a cargas verticales y giros se refiere es el mismo que el de los apoyos de neopreno zunchado o tipo «pot» según sea la tipología de la que deriven. Por lo que respecta a los desplazamientos horizontales, éstos no constituyen ningún tipo de limitación para el diseño de estos aparatos de apoyo, aunque la magnitud y sentido de los mismos condicionará, como se comentará más adelante, el tamaño y montaje de las placas de deslizamiento solidarias con el tablero.

2.4. APOYOS DE NEOPRENO ZUNCHADO ANCLADOS

Se recurre a la utilización de apoyos de neopreno zunchado anclados al tablero y a la subestructura en las dos situaciones siguientes siempre que las demás limitaciones de diseño se cumplan (ver RPAE citadas en 2.1.):

- Cuando no es posible asegurar la condición de estabilidad al deslizamiento del apoyo. Esto es, el tablero tiende a deslizarse por encima del apoyo desvirtuándose el esquema de funcionamiento del aparato de apoyo de neopreno. Esto sucede cuando:

$$H > f \times N$$

donde

- H: fuerza horizontal transmitida al apoyo
- f: coeficiente de rozamiento (ver RPAE)
- N: reacción vertical concomitante con H

- Cuando, aún verificándose la condición de estabilidad al deslizamiento, las tensiones medias en el aparato de apoyo están comprendidas, en algunas hipótesis de carga, entre 10 y 20 Kp/cm².

Responden los aparatos de apoyo de neopreno zunchado anclados al esquema general de la figura 11 en el que el bloque de neopreno zunchado lleva vulcanizados, junto con la goma del aparato de apoyo, dos palastros de los que a su vez derivan unos pernos que se anclan al tablero y a la subestructura.

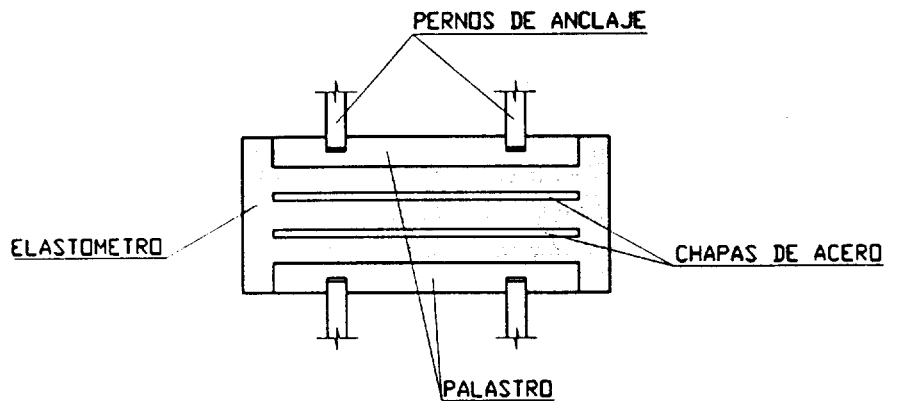


Fig. 11

Se señala de nuevo la necesidad de que se cumplan las restantes limitaciones de diseño de los apoyos de neopreno zunchado. En particular, cuando se recurre al uso de los apoyos descritos en este apartado, pueden resultar críticas:

- La limitación de la distorsión angular máxima.
- La relativa a la capacidad de absorción de giro del aparato de apoyo que, como se comentó en 2.1.2, es función de la tensión vertical aplicada.

No es recomendable recurrir a utilizar apoyos de neopreno zunchado anclados como elementos capaces de absorber reacciones negativas del tablero, siendo aconsejable

en estos casos recurrir a dispositivos como los que se describen en el apartado siguiente.

2.5. APARATOS DE APOYO PRETENSADOS VERTICALMENTE

En algunos casos, tales como por ejemplo, puentes continuos con vanos laterales cortos, o tableros con luces de torsión importantes en que ésta se acumula toda en los estribos (puentes con un solo apoyo en las pilas), es frecuente que en alguna de las hipótesis de carga del tablero en los apoyos más extremos se produzcan reacciones negativas que es necesario absorber en los aparatos de apoyo.

Con las tipologías descritas hasta ahora esto no es posible y es necesario recurrir a dispositivos de anclaje del tablero especiales que, combinados con los aparatos de apoyo, absorban las reacciones negativas.

Podría pensarse en recurrir a dispositivos de anclaje de tipo pasivo, independientes de los apoyos, pero ello conduciría a que los aparatos de apoyo para esas hipótesis de reacción negativa estuviesen prácticamente descargados, por lo que su capacidad de absorción de giros para todas las tipologías descritas se vería muy mermada, resultando prácticamente nula.

Resulta frecuente entonces tener que recurrir a sistemas de anclaje del tablero de tipo activo (pretensado) de manera que además de anclar el tablero a la subestructura garantizando la absorción de reacciones negativas, precompriman el apoyo a fin de que al producirse la reacción negativa quede en éste una compresión residual que garantice la capacidad de absorción de giro necesaria en cada caso.

Los sistemas de anclaje de tipo activo son variados y deberán ser objeto de un cuidadoso estudio y definición en el proyecto. Se debe prestar particular atención a garantizar la durabilidad del sistema que se proyecte y, en su caso, aunque pocas veces es posible, se debe prever la posibilidad de una sustitución. Asimismo, el sistema de anclaje proyectado debe permitir las libres dilataciones y contracciones del tablero.

En la figura 12 se representa, a título orientativo, un dispositivo de anclaje activo, con barra roscada, para un apoyo tipo «pot» fijo.

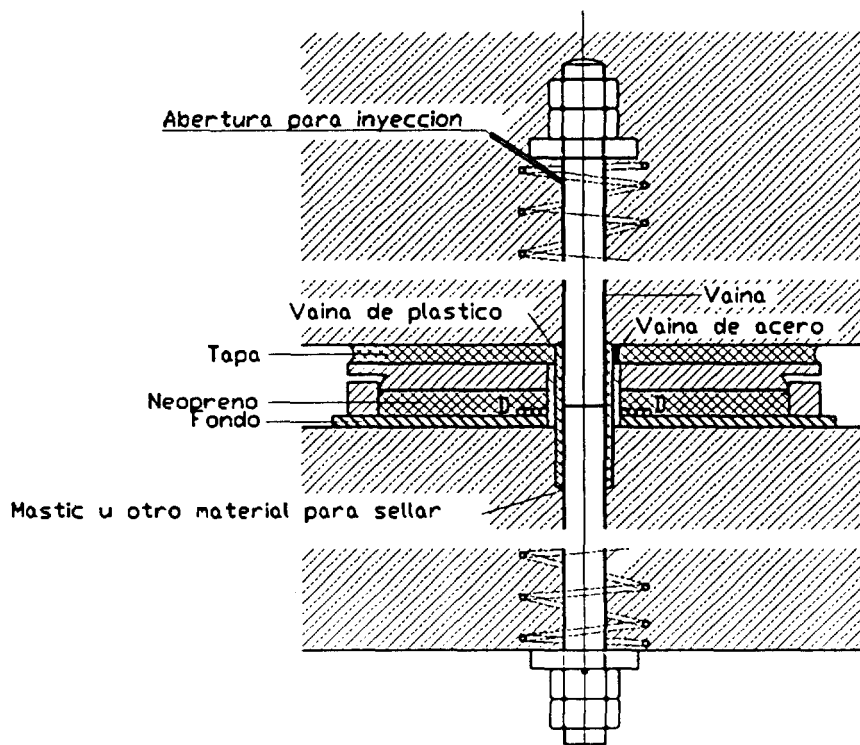


Fig. 12

2.6. APARATOS DE APOYO METÁLICOS

No resulta frecuente su utilización en el caso de aparatos de apoyo para puentes de hormigón de tipo medio como los que se contemplan en esta nota técnica. De cualquier manera, con los distintos tipos de aparatos de apoyo metálicos se pueden conseguir vinculaciones entre el tablero y la subestructura equivalentes a las que se consiguen con los apoyos descritos hasta ahora.

Responden al esquema clásico de rótulas metálicas o rótulas metálicas con rodillos, profusamente utilizadas en puentes hasta la aparición de los apoyos de goma, fabricándose hoy en día de aleaciones metálicas muy resistentes tanto a las cargas como al desgaste, habiéndose reducido notablemente su tamaño. Existen además algunos diseños especiales, merced a la utilización de teflón y casquetes de acero de forma esférica, que se apartan ya de las tipologías clásicas de rótula o de rótula con rodillos. A continuación, en los apartados siguientes, se describen los ejemplos más comúnmente utilizados en la práctica.

2.6.1. Apoyos fijos

En la figura 13 se pueden ver algunas de las tipologías más comunes. Las indicadas son las clásicas rótulas esféricas, y de acuerdo con el esquema de la figura 1 permiten el giro de eje «y». Mediante la disposición de dos cojinetes ortogonales se pueden conseguir rótulas que permiten tanto el giro de eje «y» como de eje «x». Obsérvense en los esquemas de la figura 13 que en todos los casos hay bulones o pernos de anclaje del aparato de apoyo a la subestructura y al tablero.

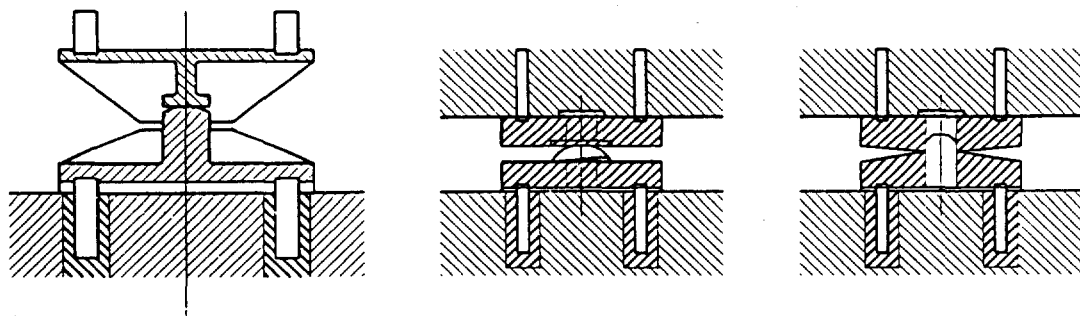


Fig. 13

2.6.2. Apoyos móviles

En la figura 14 se pueden ver algunas de las tipologías más comunes. Las indicadas, además de permitir el giro según el eje «y», debido a la disposición de los rodillos cilíndricos, permiten los desplazamientos relativos entre el tablero y la subestructura según la dirección del eje «x».

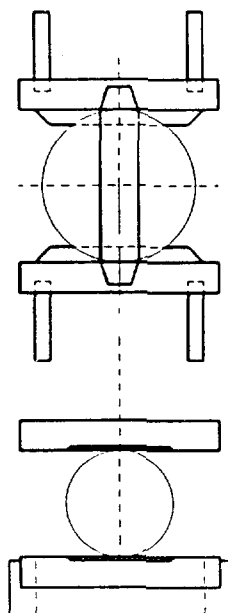


Fig. 14

La resistencia al movimiento que ofrecen los apoyos de rodillos, dato importante para el diseño de la subestructura, se suele estimar entre el 1% y el 2% de la carga vertical transmitida por el mismo. Este porcentaje puede aumentar considerablemente si no se cuida el mantenimiento de los rodillos y éstos se encuentran viejos y oxidados.

2.6.3. Otros apoyos metálicos

En la figura 15 se puede ver un corte esquemático de un aparato de apoyo metálico que, gracias a la utilización de un casquete esférico (aleación de aluminio) y la disposición de láminas de teflón, permite tanto los giros como los desplazamientos relativos entre el tablero y la subestructura en el plano «xy». (Véase figura 1).

Se trata de un diseño de gran sofisticación y capaz de soportar cargas verticales de hasta 3.000 toneladas. Esta tipología ya no responde a los esquemas más convencionales de rótulas o rótulas y rodillos, constituyendo otra posibilidad de elección de aparatos de apoyo para el proyecto de puentes. Todos los diseños similares al acabado de indicar, con distintas posibilidades de cargas y movimientos, son objeto de patente y aparecen descritos en los distintos catálogos de las casas comerciales.

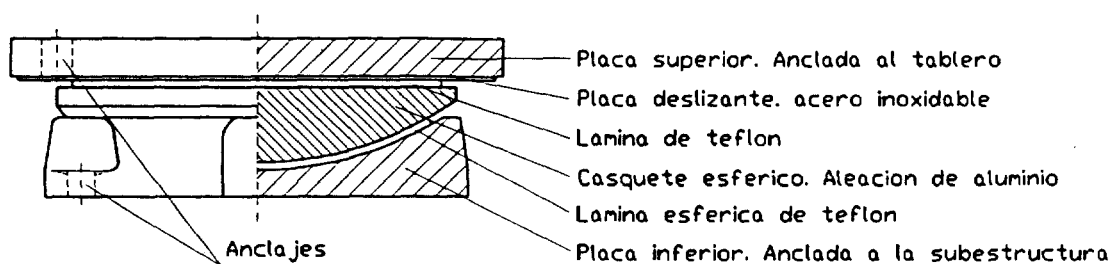


Fig. 15

2.7. OTROS APOYOS

Dentro del epígrafe «Otros apoyos» se incluyen aquellas vinculaciones, entre el tablero y la subestructura o entre ésta y la cimentación, que no se materializan mediante la interposición de un elemento (aparato de apoyo) sino que se realizan directamente en hormigón armado. A continuación se describen brevemente las tipologías más comunes.

2.7.1. Rótulas de hormigón

Es probablemente la tipología más usada, recurriéndose a ella con mucha frecuencia en el caso de puentes arco o puentes pórtico para la unión con la cimentación. En la figura 16 se puede ver el detalle de una rótula de hormigón en el caso de la unión de un jalcón de un puente pórtico con la cimentación.

La más común de las rótulas utilizadas es la Freyssinet que consiste, esencialmente, en una estrangulación de la pieza (garganta de la articulación) realizada mediante una entalla que puede ser de labios paralelos o de labios divergentes (figura 17), siendo la garganta propiamente dicha, recta o redondeada.

El giro entre los elementos unidos a través de la rótula es posible ya que, en la garganta, el hormigón se encuentra plastificado, dado que se dimensiona para que la compresión media a que está sometido garantice la citada plastificación.

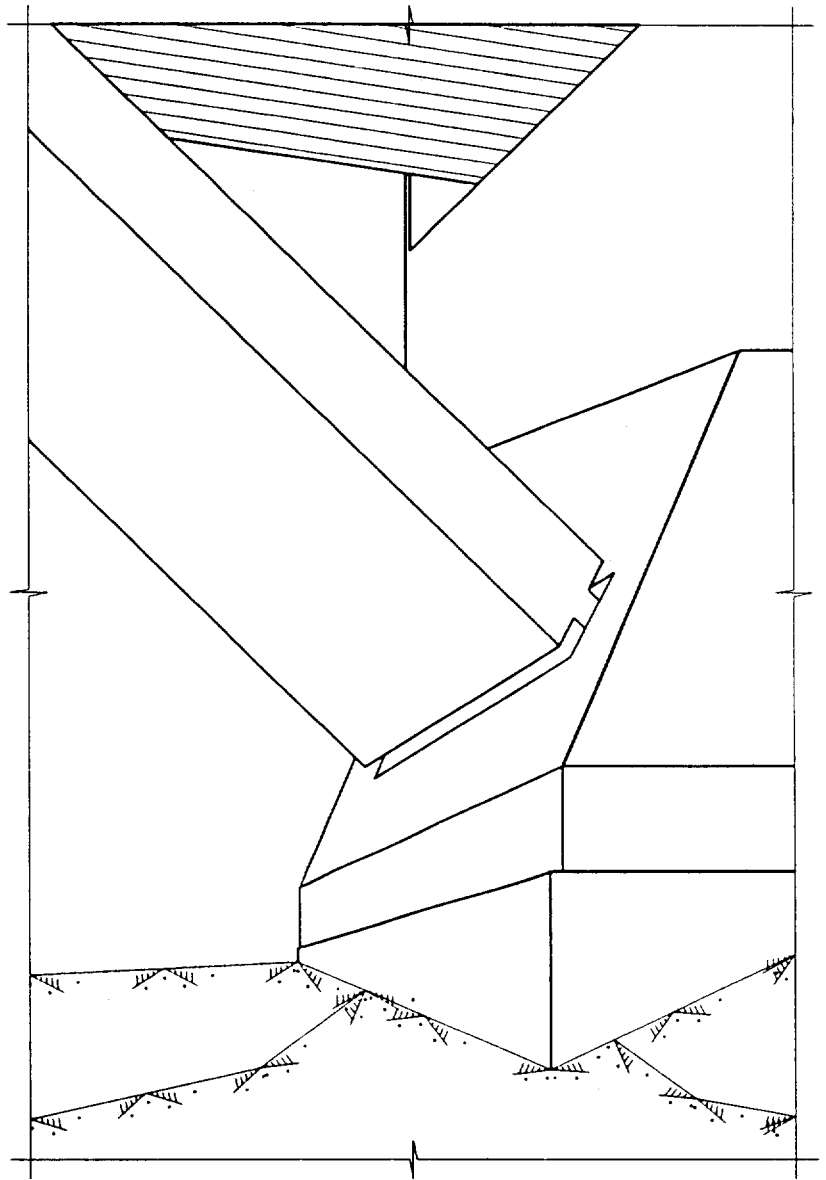


Fig. 16

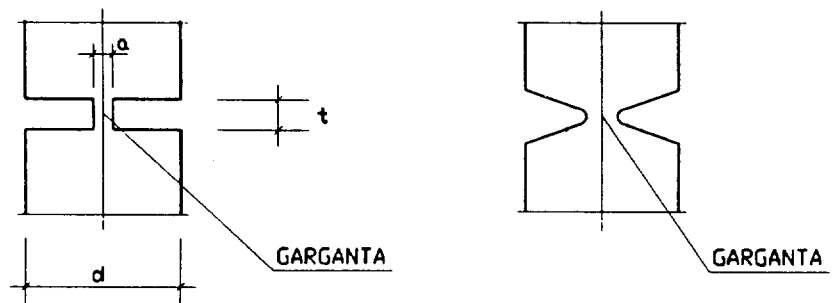


Fig. 17

El momento que transmiten las rótulas Freyssinet, si están correctamente diseñadas, resulta prácticamente despreciable, pudiéndose evaluar, según la siguiente expresión:

$$M = K \times \theta$$

donde:

- M: momento transmitido
K: rigidez de la articulación, que se determina según se indica a continuación
 θ : giro a absorber

$$K = \frac{E \times a^3}{12 \times H_e}$$

donde:

- E: módulo de elasticidad del hormigón
 H_e : altura efectiva de la articulación determinada según se expresa a continuación.

$$H_e = 1,33 \times t + 2 \times a \times \left(\frac{a}{d} \right)^{0,7}$$

donde:

- t: espesor de la garganta
a: anchura de la garganta
d: dimensión transversal de las piezas unidas

En el diseño de las articulaciones Freyssinet deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- La anchura «a» de la garganta debe estar comprendida entre el tercio y el cuarto de la dimensión «d» (figura 17), aunque en algunos casos se llega a valores del orden del octavo.
- El espesor «t» de garganta debe ser menor que 0,20 veces «a» y resulta aconsejable que sea menor que 2 centímetros. De todos modos, el espesor «t» será el suficiente para que al girar las piezas conectadas por la articulación no se produzca el contacto entre ambas.
- Las rotaciones máximas admisibles en las articulaciones están, en general, entre las 5 y las 10 milésimas de radián.
- No suele ser necesario, e incluso puede resultar perjudicial, el disponer armaduras pasantes cruzadas por el cuello de la rótula. Por otra parte, en los extremos enfrentados de las piezas conectadas por la articulación, es preciso disponer las oportunas armaduras de cosido de las tracciones transversales que se producen debido al fuerte estrangulamiento que provoca la garganta en las trayectorias de las tensiones principales. Véase la figura 18 en que sólo se ha presentado la armadura necesaria para el cosido de las tracciones citadas.

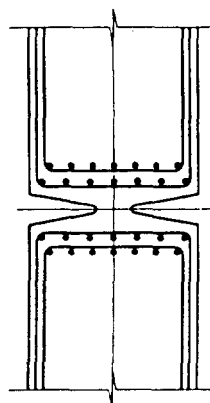


Fig. 18

— La ejecución de las rótulas debe ser muy cuidada (zonas con alta densidad de armaduras) siendo aconsejable la utilización de superplastificantes así como de hormigones con resistencias características por encima de los 250-300 Kp/cm².

2.7.2. Péndulos de hormigón

Se utilizan con mucha menos frecuencia que las rótulas de hormigón y consisten, en esencia, en la combinación de dos articulaciones Freyssinet tal y como se indica en el esquema A de la figura 19. La articulación superior une el tablero con el péndulo y la inferior el citado péndulo con la cimentación. La vinculación que establecen entre el tablero y la cimentación es la clásica de biela, como se indica en el esquema B de la figura 19.

La longitud del péndulo L (ver figura 19) vendrá determinada por el movimiento horizontal «u» del tablero que deba absorber. Dado que en las rótulas Freyssinet cuando menos se puede contar, en general, con una capacidad de giro de 5 milésimas de radián, se tendrá que la longitud mínima necesaria de péndulo, en función del desplazamiento del tablero, será:

$$L \geq 200 \cdot u$$

La determinación del movimiento «u» se hará de acuerdo con el método general expuesto en el Anejo de esta Nota Técnica.

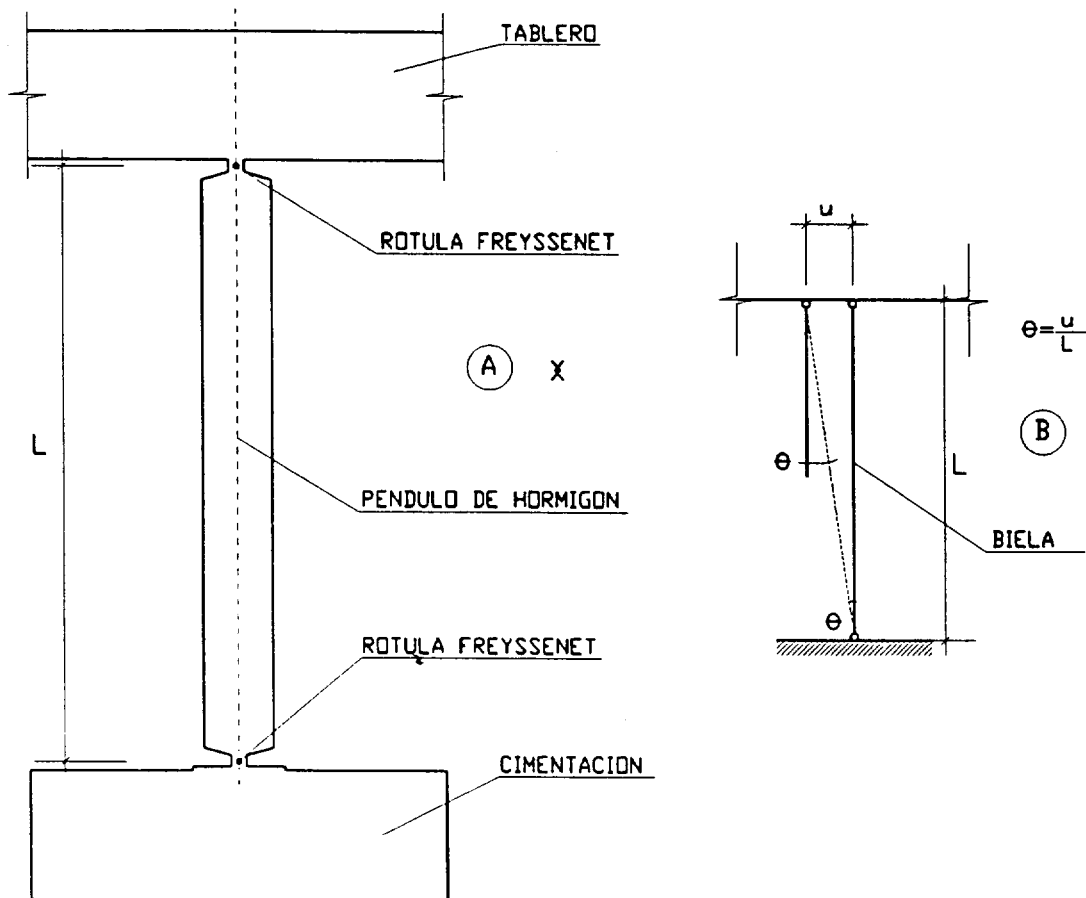


Fig. 19

Dada la vinculación establecida por los péndulos (esquema B de la figura 19), éstos, no son susceptibles de absorber cargas horizontales ni de transmitir las a la cimentación.

Los péndulos, al igual que las rótulas Freyssinet de las que derivan, son elementos de hormigón que deben ser objeto de un cuidadoso diseño y ejecución.

3.

CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA PARA LA ELECCIÓN DEL SISTEMA DE APOYO

A continuación se exponen algunas consideraciones que es conveniente tener en cuenta en el diseño de los aparatos de apoyo de los puentes. La lista no pretende ser exhaustiva y lo que se trata es de llamar la atención sobre los hechos que se considerarán más significativos, quedando el análisis detallado de cada caso particular para la fase de proyecto:

- Los aparatos de apoyo establecen una vinculación entre el tablero y la subestructura (pilas y estribos). Esta vinculación permite unos movimientos e impide otros y transmite fuerzas a la subestructura (ver Anejo) siendo este reparto de fuerzas en la subestructura (fuerzas horizontales) función de las acciones exteriores, de la tipología de los apoyos y de la rigidez de la subestructura.

Por lo tanto, los sistemas de apoyos no son independientes de la subestructura. Dos tableros idénticos con las mismas cargas verticales y giros en las líneas de apoyo tendrán, o podrán tener, una tipología de apoyos completamente distinta si en un caso las pilas son muy cortas y por tanto muy rígidas y en otro caso se trata de pilas esbeltas y, por consiguiente, flexibles.

En el caso de pilas esbeltas, en función de la longitud del puente sin juntas, al menos en las pilas centrales podrá incluso prescindirse de aparatos de apoyo empotrando las pilas en el tablero. En el caso de pilas cortas, esto no sería aconsejable por las sollicitaciones que generarían en las pilas las deformaciones termohigrométricas del tablero.

- Debe huirse de los sistemas de apoyo complicados. Siempre que se pueda, porque se cumplan todas las limitaciones de diseño (véanse las RPAE), será conveniente recurrir a aparatos de apoyo de neopreno zunchado.
- Cuando se utilicen aparatos de apoyo deslizantes, debe hacerse una valoración precisa del coeficiente de rozamiento. Incluso en puentes de envergadura, en que sea prioritario un dimensionamiento ajustado de la subestructura, puede ser aconsejable la realización de ensayos para determinar en las condiciones más desfavorables los valores extremos del mencionado coeficiente de rozamiento.
- Cuando se utilicen aparatos de apoyo deslizantes, éstos deben ir en combinación con otras tipologías de aparatos de apoyo en otras líneas de apoyo (fijos, de neopreno zunchado) porque, de no ser así, los tableros quedarían libres en un plano horizontal.
- Insistiendo en lo anterior, en función de la longitud del puente sin juntas, las distintas líneas de apoyo del tablero podrán tener, en general, apoyos de diferentes tipologías.
- El proceso constructivo puede influir en la elección del sistema de apoyo del puente o, en su caso, determinar distintas funciones para los aparatos de apoyos según se esté en fase constructiva o con el tablero terminado.

Deben prestarse particular atención en este sentido a los puentes construidos por fases o empujados. Es necesario recurrir a veces a sistemas de apoyo provisionales distintos de los definitivos.

- Variando las distintas tipologías de apoyo (o los espesores de neopreno en el caso de apoyos de neopreno zunchado) se puede modificar el esquema de reparto de las acciones horizontales en la subestructura (ver Anejo), lo que puede resultar determinante en el diseño de ésta.
- En el caso de disponer una línea de apoyos con apoyos fijos tipo «pot», uno deberá ser completamente fijo en sentido horizontal (direcciones x e y de la figura 1), pero el otro o los otros, aún siendo fijos en la dirección x , deberán permitir el movimiento en la dirección y (dirección transversal al eje del tablero) para evitar, fun-

damentalmente en el caso de los tableros anchos, que aparezcan coacciones debidas a las deformaciones termohigrométricas en sentido transversal al eje del puente.

- Se señala aquí de nuevo lo ya indicado al hablar de apoyos deslizantes, que de utilizarse en una misma línea de apoyo esta tipología, al menos uno, en general, debe estar fijo en sentido transversal.

En el esquema de la figura 20 se representa la manera habitual de definir los aparatos de apoyo de un tablero. El caso a) corresponde a un apoyo fijo, el b) a un apoyo deslizante unidireccional y el c) a un apoyo deslizante bidireccional o completamente libre.

En el caso de los apoyos de neopreno zunchado, como la vinculación que establecen entre el tablero y las pilas es elástica (en cuanto a movimientos horizontales), se ha optado por representarlos con el esquema del caso d).

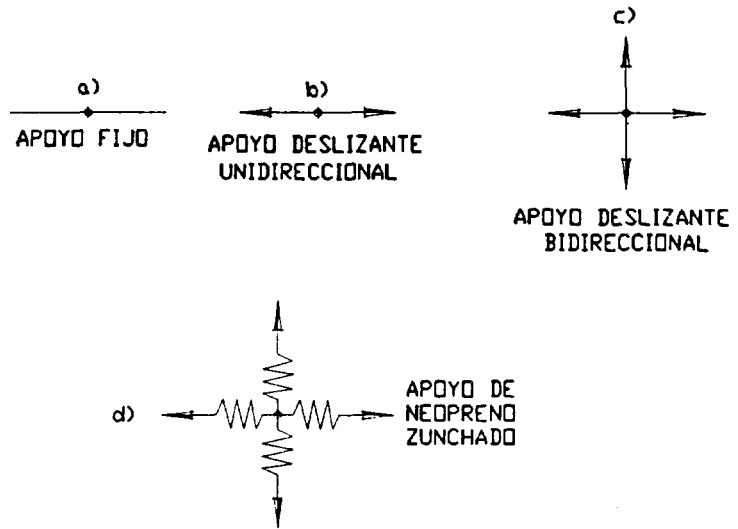


Fig. 20

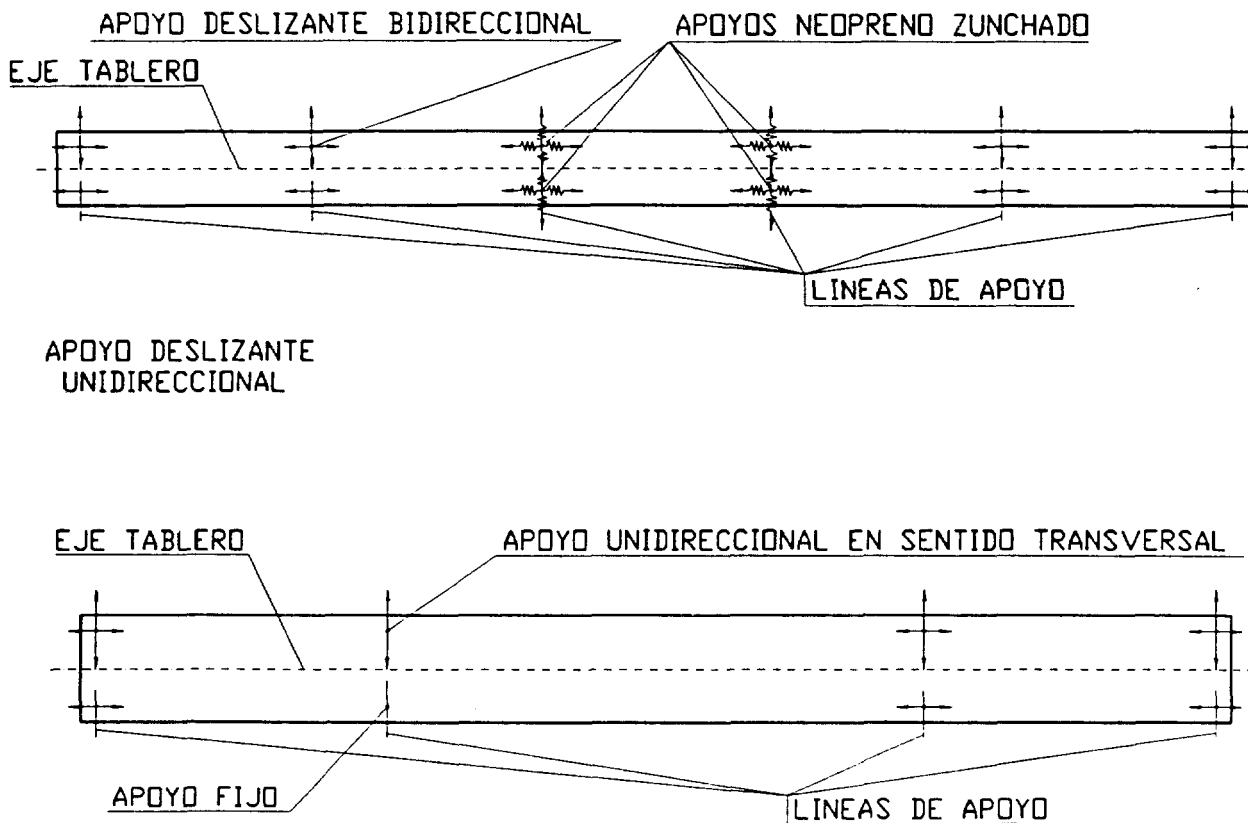


Fig. 21

En la figura 21 se representan dos disposiciones de apoyo para dos tableros, de cierta longitud, que podrían responder a un esquema típico de acuerdo con las consideraciones efectuadas en este apartado. Se trata en ambos casos de puentes con juntas sólo en los extremos.

En ambos esquemas se observa la existencia de distintas tipologías de apoyo según la línea de apoyos de que se trate.

4.

COLOCACIÓN Y ENTORNO DE LOS APARATOS DE APOYO

En la colocación de los aparatos de apoyo es necesario tener en cuenta una serie de reglas y consideraciones para garantizar su correcto funcionamiento y durabilidad (en general, intrínsecamente alta dadas las características de los materiales que los constituyen) a lo largo de la vida útil de la estructura. En particular, además de las recomendaciones que pueda hacer el fabricante de los apoyos en cada caso, es preciso tener en cuenta:

- Las caras superior (en contacto con el tablero) e inferior (en contacto con la subestructura) deben ser perfectamente paralelas y estar en planos horizontales.

Téngase en cuenta que los tableros pueden tener pronunciados acuerdos verticales y fuertes peraltes transversales.

La manera habitual de conseguir esta condición de planeidad y horizontalidad es mediante la colocación de morteros de nivelación y tacones de apoyo, tal como se indica en los esquemas de la figura 22. En los casos A) y B) de la figura citada las camas de mortero superiores, al haberse dispuesto tacón de apoyo, pueden no ser necesarias; no siendo así en los casos C) y D) correspondientes, por ejemplo, a un puente de vigas prefabricadas.

De cualquier manera, la capa de mortero inferior, aunque pueda no ser necesaria por la geometría de la traza, es siempre aconsejable para absorber las posibles irregularidades de la parte superior de la subestructura.

Todos los esquemas anteriores son orientativos, pudiéndose adoptar en cada situación las disposiciones oportunas para asegurar siempre la condición de planeidad y horizontalidad.

No obstante lo anterior, siempre es aconsejable prever en el diseño de los aparatos de apoyo un posible giro inicial debido a errores de nivelación.

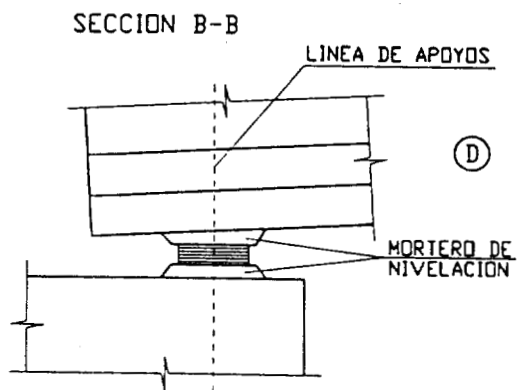
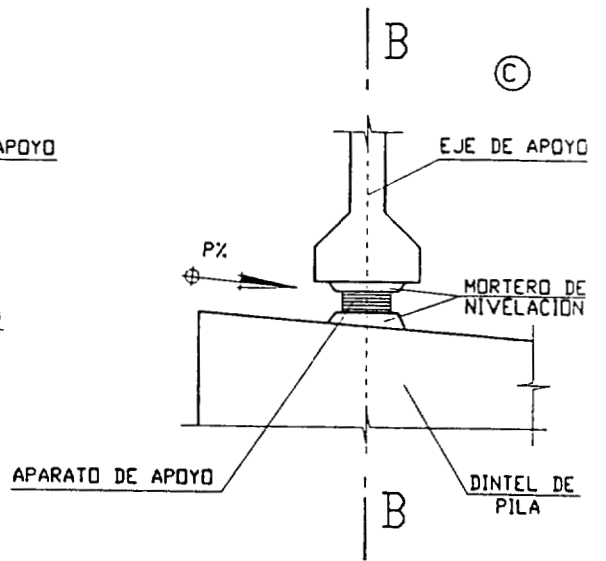
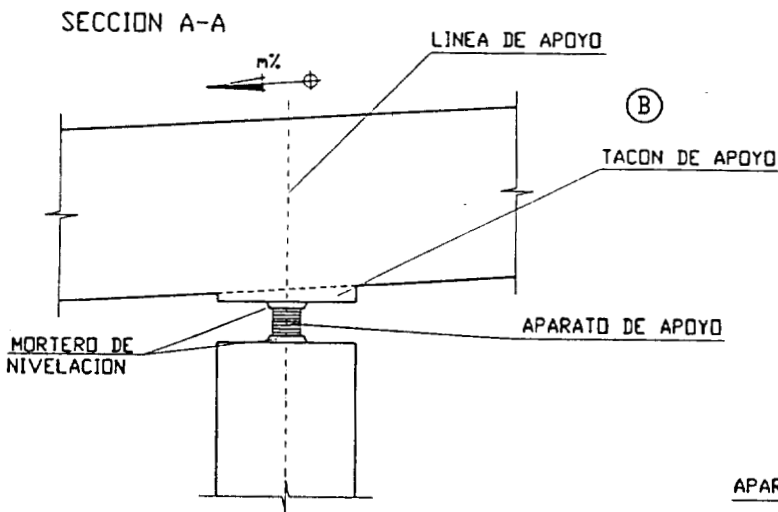
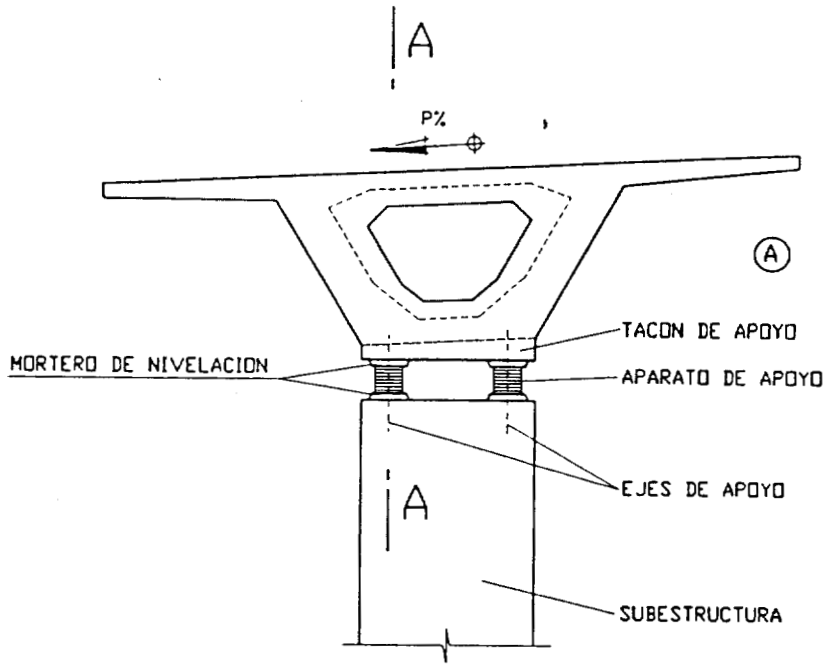


Fig. 22

- Las placas de mortero de nivelación, en función del espesor que tengan, puede ser aconsejable armarlas, debiéndose disponer en este caso una armadura ortogonal que cubra en cada dirección $0,04R$, siendo R la reacción máxima vertical transmitida al aparato de apoyo.
- Es necesario siempre dejar unos resguardos mínimos en planta desde el borde de los aparatos de apoyo a los paramentos verticales de la subestructura. En el esquema de la figura 23 se puede ver la disposición aconsejada en la planta para un apoyo de neopreno zunchado de tipo medio ($a \leq 500$ mm. $b \leq 500$ mm.) Al aumentar las dimensiones del aparato de apoyo es recomendable incrementar las dimensiones de los resguardos mínimos. En ocasiones las dimensiones necesarias de los aparatos de apoyo pueden condicionar las dimensiones de la cabeza de la subestructura.

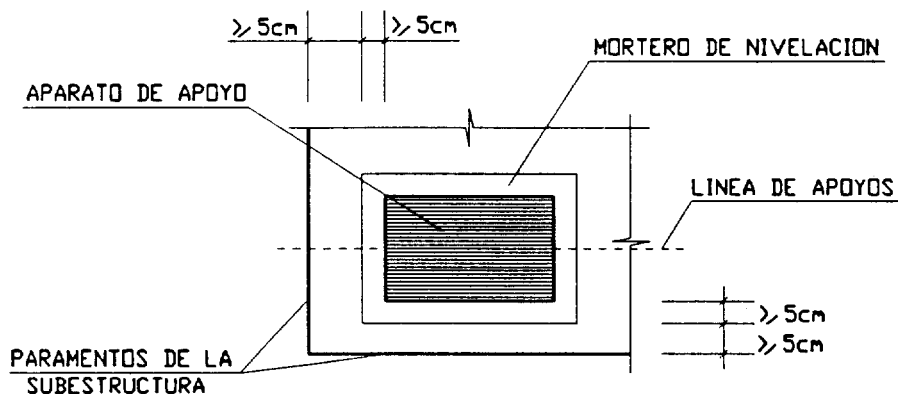


Fig. 23

- Los apoyos de neopreno zunchado siempre se colocarán con el lado mayor paralelo a la línea de apoyos al objeto de ofrecer la mínima coacción posible al giro longitudinal del tablero. (Giro de eje «y», ver figura 1).
- Al diseñar la subestructura, siempre que sea posible, debe tenerse en cuenta que la coronación de los estribos y la cabeza de las pilas deben permitir una inspección y mantenimiento cómodo de los aparatos de apoyo. Debería también preverse la posibilidad de tener que efectuar un levantamiento del tablero para sustituir los aparatos de apoyo.
- Cuando se utilizan aparatos de apoyo deslizantes es muy importante en el momento de la colocación de la placa superior el reglaje de la misma (desplazamiento del centro de la placa con respecto al centro del apoyo) en función de los movimientos, reversibles o no y de su sentido, que queden por producirse, para que en ningún momento se pueda dar otro contacto que no sea entre el teflón y la placa de deslizamiento.
Este reglaje será función de la temperatura media en el momento del montaje, de la edad del hormigón del tablero (deformaciones por retracción y fluencia), de los incrementos máximos y mínimos de temperatura posibles y del proceso constructivo seguido.
El reglaje (valor y sentido) de las placas de acero de los apoyos deslizantes debe quedar perfectamente definido en proyecto.
- Las dimensiones de las placas de acero serán tales que, además de cubrir los desplazamientos máximos en un sentido y en otro sin que se pierda el contacto entre la citada placa y el teflón, tengan unas holguras de seguridad para prevenir las posibles incertidumbres de cálculo.
- Tan importante como un diseño y fabricación correcta de los aparatos de apoyo es una colocación cuidadosa durante la construcción del puente como se deduce de lo expuesto en párrafos anteriores.

5.1. PATOLOGÍA

Los aparatos de apoyo, como los demás elementos del equipamiento del puente (aceras, barreras, juntas, etc), son susceptibles de degradarse a lo largo de la vida útil del mismo por distintas causas tales como: mala colocación, calidad defectuosa de los materiales, diseño incorrecto de los aparatos de apoyo, filtraciones por falta de estanqueidad en las juntas del tablero, etc. A continuación se recogen los defectos más comunes observables en las distintas tipologías de aparatos de apoyo:

En los apoyos de neopreno zunchado

- Holguras entre la cara superior del aparato de apoyo y el tablero, lo que normalmente es debido a una mala nivelación. Se originan de esta manera descentramientos de las reacciones verticales transmitidas por el tablero y se sobrecargan los apoyos por encima de sus tensiones de trabajo admisibles.
- Degradaciones en el elastómero y despegues en la unión goma-metal debidas a mala calidad de los materiales y a defectuosos procesos de vulcanizado.
- Roturas locales en los morteros de nivelación.
- Desplazamiento del apoyo de su posición original; deformaciones, tanto verticales como horizontales excesivas, defectos todos ellos debidos normalmente a un incorrecto diseño de los aparatos de apoyo.
- Restos del momento de la construcción; encofrados, tablas, suciedad en general, que pueden llegar a dificultar el funcionamiento correcto del aparato de apoyo.
- Apoyos con procesos de fabricación defectuosa.

En los apoyos tipo «pot»

- Degradaciones de las partes metálicas de estos apoyos a causa de los procesos de corrosión. En este sentido, es muy importante prestar especial atención a la correcta evacuación del agua de las coronaciones de las pilas y estribos.

Asimismo, los pernos y tornillos de anclaje al tablero y a la subestructura es aconsejable que sean de acero galvanizado y, tanto la cápsula como el pistón o tapa superior, de acero inoxidable altamente resistente a la corrosión.
- Fallos en el anillo de estanqueidad o sellado del neopreno dentro de la cápsula de acero, lo que se manifiesta por rebabas visibles de elastómero en el exterior de la cápsula.
- Degradaciones del material elastomérico que rellena la cápsula por la entrada en la misma de agentes contaminantes debida a fallos en el sistema de estanqueidad del apoyo.
- Roturas y defectos (pérdidas, aflojamientos) en los sistemas de anclaje al tablero y a la subestructura.

En los apoyos deslizantes

- Reglaje incorrecto de la placa de deslizamiento, lo que en ocasiones origina que el teflón de la parte superior del apoyo pueda llegar a estar en contacto con el tablero, desvirtuándose entonces completamente el esquema de funcionamiento de los aparatos de apoyo deslizantes. Las causas, además de una mala colocación, pueden estar en errores de diseño (previsión de movimientos y dimensionado de las placas de deslizamiento).

- Separaciones de la lámina de teflón de la parte superior del apoyo por una mala adherencia en el momento de la fabricación del apoyo y a veces expulsión completa de la lámina de teflón.
- Pegado de partes de la lámina de teflón a la chapa de acero inoxidable que desliza sobre ella a causa de una excesiva rugosidad en esta última.
- Rugosidad excesiva en la lámina de teflón de manera que se producen indentaciones en la chapa de acero inoxidable de la placa de deslizamiento.
- Roturas en la guías de deslizamiento (en el caso de apoyos unidireccionales) normalmente a causa de una incorrecta valoración de los esfuerzos transversales que deben transmitir.
- Defectos de adherencia entre la chapa de acero inoxidable y la placa de deslizamiento.

Por otra parte la tipología de apoyos deslizantes como derivada de las de neopreno zunchado y tipo «pot» presenta también las patologías de éstas.

5.2. SUSTITUCIÓN

En determinadas ocasiones, cuando la patología de los aparatos de apoyo y la incidencia de esta patología en la subestructura así lo aconsejan, es necesario sustituir los aparatos de apoyo. Cualquier operación de sustitución de aparatos de apoyo pasa por un levantamiento del tablero que debe ser objeto de un cuidadoso estudio y definición.

En las operaciones de levantamiento de tableros es necesario, con carácter general, considerar los siguientes aspectos:

- Tipos de gatos hidráulicos a utilizar (convencionales o gatos planos) lo que será función del espacio que exista entre la parte inferior del tablero y la subestructura.
- Esquema del circuito hidráulico a usar para el levantamiento; una bomba independiente para cada gato o varios gatos conectados a una sola bomba.

Con el primer esquema se puede controlar exactamente la fuerza en cada gato, que no tiene por qué ser igual en todos ellos, lo que dependerá del tipo de estructura. Tiene el inconveniente de la posible avería de un circuito.

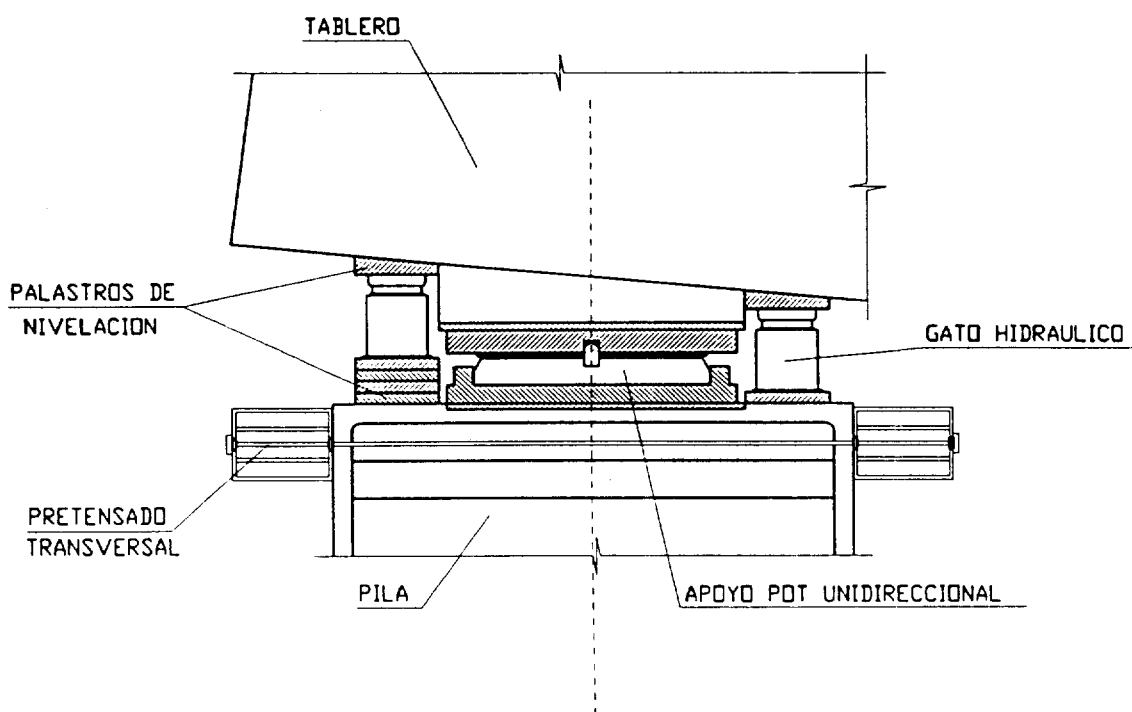


Fig. 24

Con el segundo esquema, las fuerzas en los distintos gatos son prácticamente iguales y, en determinadas tipologías de puentes, ésto puede dar lugar a esfuerzos transversales inadmisibles.

- Definición precisa de las fuerzas necesarias en los gatos y de la situación de los mismos. Como al colocar los gatos éstos no van a coincidir con los puntos de apoyo originales de la estructura, es decir, se modifica la situación de los mismos, será necesario hacer las comprobaciones estructurales oportunas tanto en el tablero como en la cabeza de la subestructura, sobre todo en lo referente a zonas de traviesas, cargas concentradas, etc.

A título de ejemplo en la figura 24 se representa un esquema de levantamiento de un apoyo tipo «pot» en que se recurre a un pretensado provisional de la cabeza de la pila ante la colocación tan próxima al borde de la misma de los gatos necesarios para el levantamiento.

- En el proyecto del levantamiento deberá quedar claramente definido el valor necesario de éste y a su vez, en función de dicho valor, habrá que hacer las comprobaciones estructurales oportunas en el tablero.
- Transmisión de acciones horizontales a la subestructura durante la sustitución de los apoyos lo que habitualmente conducirá a que las operaciones de levantamiento se hagan sin tráfico.
- En cualquier caso las operaciones de sustitución de apoyos deben ser objeto de un detallado proyecto en que se consideren todos los factores enumerados anteriormente y que además vendrá muy condicionado por la tipología de la estructura.

ANEJO

REPARTO DE ACCIONES HORIZONTALES

A.1. TABLEROS DE PLANTA RECTA

Se entienden por tableros de planta recta aquellos en que el eje de la calzada es una línea recta o en su caso la curvatura en planta es, prácticamente, despreciable. La situación anterior, aparentemente restrictiva, engloba, no obstante a una gran generalidad de puentes. Asimismo, se considera que en el caso de los tableros de planta recta las líneas de apoyo (conjunto de apoyos situados en la misma línea y que soportan al tablero a todo su ancho) son ortogonales al eje de la calzada que como se acaba de indicar es recto o asimilable a tal (curvatura en planta despreciable).

A.1.1. Introducción

Como se indicó en el apartado 1.2 de la memoria de esta nota técnica, los apoyos deben absorber y a su vez transmitir a la subestructura fuerzas horizontales contenidas en el plano XY (ver figura 1 de la memoria) debidas, bien a acciones exteriores sobre el tablero en el plano XY, tales como:

- frenado
- viento
- sismo longitudinal y transversal
- cargas verticales en algunos casos

o debidas a las deformaciones del tablero en el plano XY, tales como:

- acortamiento elástico (puentes pretensados)
- temperatura
- retracción
- fluencia (puentes pretensados)

Las fuerzas a que dan lugar los efectos anteriores dependen, fundamentalmente, además de la magnitud de dichos efectos, de la rigidez de las líneas de apoyo (rigidez conjunta de los propios aparatos de apoyo y de la subestructura), planteándose entonces para la obtención de las mencionadas fuerzas horizontales, como se verá a continuación, un problema clásico de Resistencia de Materiales en el que, por lo tanto, será preciso considerar:

- Relaciones entre fuerzas y desplazamientos en los aparatos de apoyo y en la subestructura, lo que se introducirá a continuación mediante el concepto de rigidez de línea de apoyo.
- Ecuaciones de Equilibrio. Es decir, el conjunto de fuerzas horizontales generadas sobre la subestructura actúa en sentido contrario sobre el tablero y éste debe estar en equilibrio, por lo que su suma debe equilibrar las acciones exteriores (viento, frenado, sismo) o bien ser nula (deformaciones).
- Ecuaciones de compatibilidad. Es decir el movimiento de la subestructura (pila o estribo más apoyo) debe coincidir con el del punto correspondiente del tablero (excepto en el caso de los apoyos deslizantes).

A.1.2. Rigidez de los aparatos de apoyo

La rigidez de los aparatos de apoyo frente a acciones horizontales es aquella constante K_a que relaciona la fuerza aplicada al apoyo con el desplazamiento del apoyo u (desplazamiento relativo entre el tablero y la cabeza de la subestructura) de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F = K_a \cdot u$$

En el esquema de la figura A.1 se puede ver la representación gráfica de esta definición y su analogía inmediata con el caso del muelle perfectamente elástico.

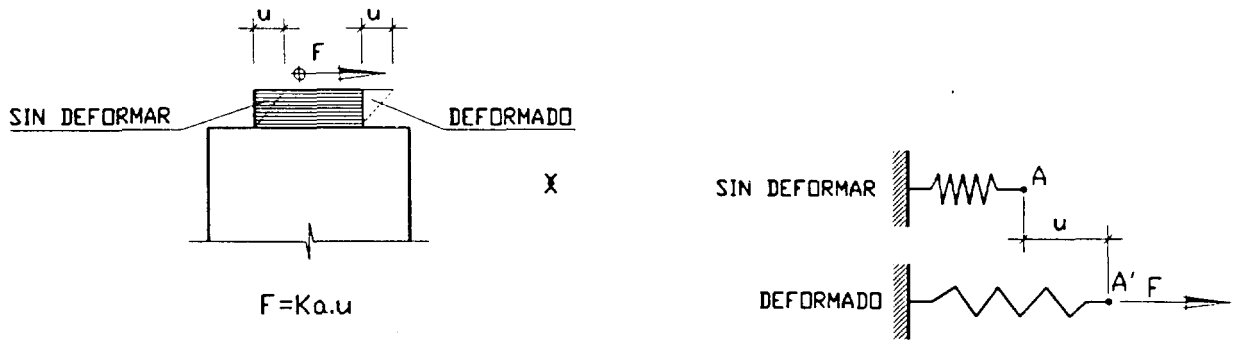


Fig. A.1

De acuerdo con la descripción de apoyos efectuada en el apartado 2 de la memoria de esta Nota Técnica, la relación $F = K_a \cdot u$ será en cada caso:

Apoyos de neopreno zunchado

Según el esquema de la figura 3 de la Memoria, la rigidez de los apoyos de neopreno es:

$$K_a = G \times \frac{a \times b}{T}$$

donde:

G: módulo de elasticidad transversal

a y b: dimensiones en planta del aparato de apoyo

T: espesor de elastómero del aparato de apoyo (sin contar los zunchos de acero)

Lo habitual es que en una línea de apoyos exista más de un apoyo y que, además, éstos sean todos iguales, por lo que la rigidez del conjunto de los apoyos, al estar obligados por compatibilidad a absorber el mismo desplazamiento relativo «u» entre el tablero y la subestructura, será:

$$K_a = n \times G \times \frac{a \times b}{T}$$

donde «n» es el número de apoyos en la línea de apoyos. La obtención de la expresión anterior es inmediata sin más que pensar en la analogía de la figura A.1 del muelle perfectamente elástico (los n apoyos se comportan como un conjunto de muelles en paralelo).

En el cálculo de las rigideces antedichas interviene el parámetro G (módulo de elasticidad transversal del elastómero), que según se trate de efectos de actuación lenta (deformaciones termohigrométricas) o instantáneos adopta valores distintos, siendo en el segundo caso del orden del doble del primero. Los valores habituales de G para efectos lentos están comprendidos, como ya se indicó en 2.1.1, entre 8 y 12 Kp/cm². A causa del proceso de envejecimiento que es susceptible de sufrir el aparato de apoyo a lo largo de su vida útil, los valores de G tienden a aumentar, pudiéndose hablar de que el apoyo se rigidiza.

Apoyos tipo «pot» o caja

Estos apoyos, como se comentó en 2.2, no permiten los desplazamientos relativos entre el tablero y la subestructura, siendo entonces su rigidez, frente a los movimientos horizontales, infinita. Como se verá más adelante, la carga horizontal a absorber por estos apoyos será función, únicamente, de la rigidez de la propia subestructura.

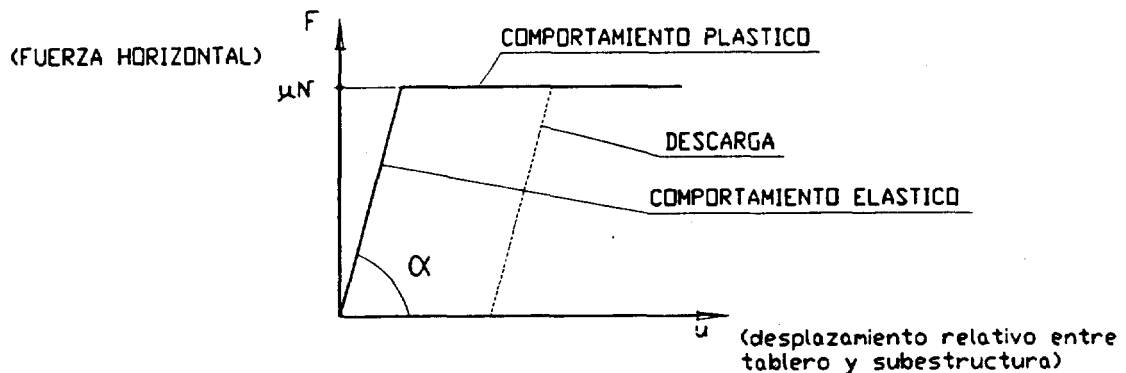
Apoyos deslizantes

Una vez vencido el rozamiento, estos apoyos no establecen mediante la ecuación $F = K_a \cdot u$ una compatibilidad entre los movimientos del tablero y la subestructura, sino que transmiten a esta última una fuerza constante $H = \mu \cdot N$ (véase apartado 2.3 de la memoria) que además es la máxima que pueden transmitir y que es independiente del movimiento relativo entre el tablero y la subestructura.

Mientras no se vence el rozamiento el comportamiento de estos apoyos es el de la tipología de la que derivan, esto es, o perfectamente elástico $F = K_a \cdot u$ si derivan de apoyos de neopreno zunchado o infinitamente rígidos si derivan de apoyos «pot». En la figura A.2 se representa el modelo de comportamiento de estos apoyos, en el que para apoyos «pot» deslizantes el ángulo α vale 90° .

Se suele hablar, en base a lo anterior, de que los apoyos deslizantes tienen un comportamiento elastoplástico, ley de comportamiento que, por otra parte, es fácilmente introducible en cualquier programa no lineal convencional de Cálculo de Estructuras.

Con respecto a los apoyos deslizantes unidireccionales, en la dirección en la que permiten el desplazamiento se comportan como apoyos deslizantes convencionales, mientras que en la dirección perpendicular son equivalentes a un apoyo de neopreno zunchado o a un apoyo «pot», según sea la tipología de la que derivan.



MODELO DE COMPORTAMIENTO DE UN APOYO DESLIZANTE

Fig. A.2

A.1.3. Rigidez de la subestructura

Análogamente al caso de los aparatos de apoyo, la rigidez de la subestructura es aquella constante K_s que relaciona la fuerza en la cabeza de la pila o estribo con el desplazamiento horizontal de la citada cabeza. En la figura A.3 se aclara la definición acabada de enunciar, pudiéndose expresar matemáticamente por:

$$F = K_s \cdot u'$$

La determinación de K_s dependerá de las características elásticas y geométricas de la pila, y en su caso puede venir influenciada por posibles movimientos de la cimentación que, para una fuerza F dada, incrementarán u' y por tanto disminuirán K_s . Esto último puede ser particularmente significativo, además de en el caso de cimentaciones directas en terrenos deformables, en cimentaciones por pila-pilote o por grupos de pilotes en que puede resultar aconsejable consultar los textos especializados en este tipo de cimentaciones (teoría del empotramiento virtual).

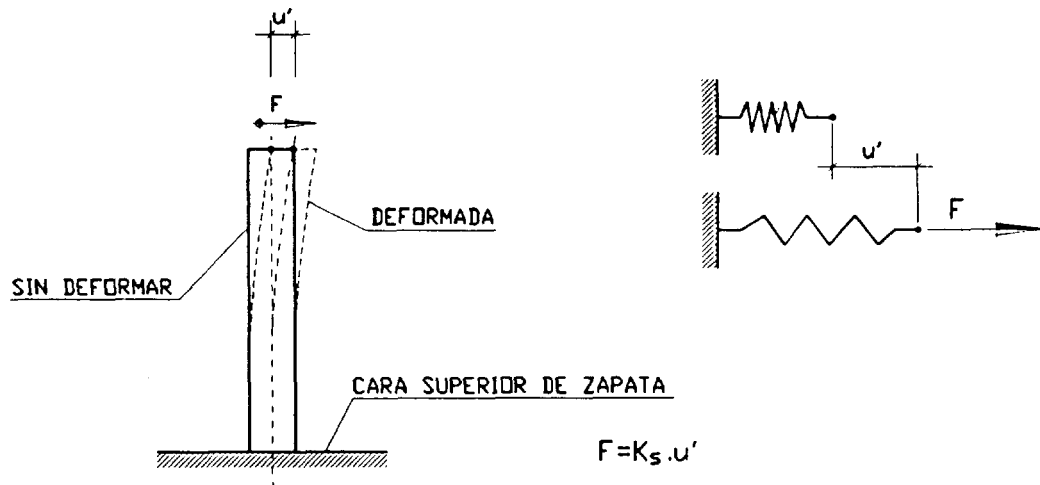


Fig. A.3

En la determinación de la deformabilidad de la subestructura propiamente dicha (pila o estribo), interviene como parámetro fundamental, además de sus características geométricas, el módulo de deformación de la misma E , que se determinará de acuerdo con la normativa vigente. No obstante, es factible adoptar valores de E más bajos que el comúnmente aceptado de:

$$19.000 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

en el caso de efectos de larga duración como la fluencia y la retracción de los tableros.

Igualmente en el caso de pilas esbeltas con dimensionamientos muy afinados la relación lineal anterior $F = K_s \times u$ puede no ser tal a causa de la fisuración y la no linealidad geométrica, por lo que en ocasiones puede ser aconsejable el estudio, en función del nivel de esfuerzos a que está sometida la pila, de K_s , que dejará de ser una constante para depender de F .

Los estribos, en el caso de que sean cerrados y con muros en vuelta, es frecuente considerarlos como indeformables, esto es, con rigidez infinita.

Análogamente a como se hacía en el caso de los aparatos de apoyo, el comportamiento de la subestructura frente a las cargas horizontales es completamente equivalente al de un muelle elástico de constante K_s hecha la salvedad de la posible pérdida de linealidad a causa de la fisuración y la no linealidad geométrica (Véase la figura A.3).

A.1.4. Rigidez de línea de apoyo

De acuerdo con el esquema de la figura A.4 el desplazamiento total que se produce en la línea de apoyo entre el tablero y una referencia fija (por ejemplo el plano medio de la pila) es el del propio aparato de apoyo, « u » (desplazamiento relativo entre el tablero y la cabeza de la subestructura), más el de la propia subestructura u' . Obviamente la fuerza F transmitida por el tablero al apoyo es la transmitida por éste a la subestructura.

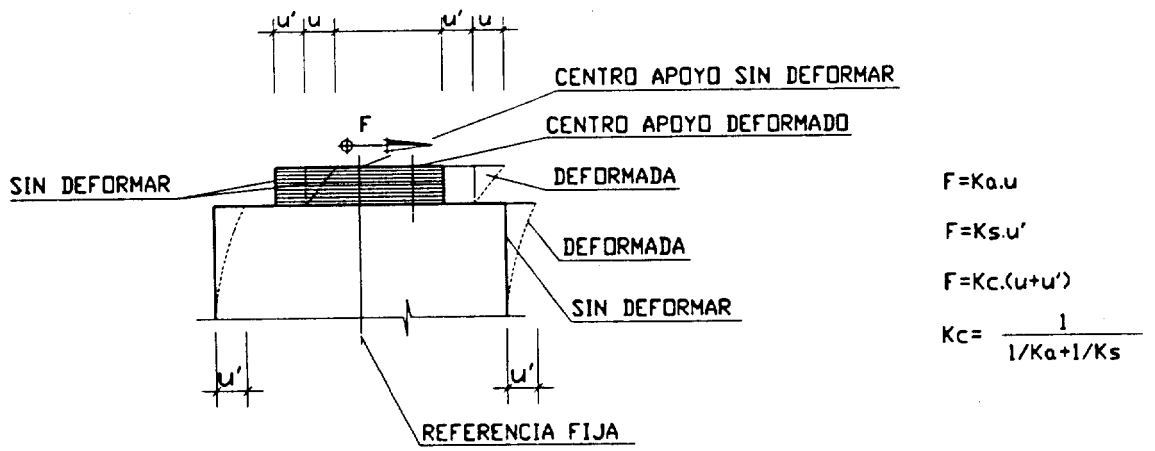


Fig. A.4

Se tiene entonces, por lo visto anteriormente, que:

$$F = K_a \times u \quad (1)$$

$$F = K_s \times u' \quad (2)$$

pudiéndose definir una rigidez conjunta de la línea de apoyos como aquella que relaciona la fuerza transmitida por el tablero con el desplazamiento total de la línea de apoyos con respecto a una referencia fija, esto es:

$$F = K_c \times u_{total} = K_c \times (u + u') \quad (3)$$

Despejando u y u' en las expresiones (1) y (2) anteriores, y sustituyendo en (3), se obtiene:

$$F = K_c \times \left[\frac{F}{K_a} + \frac{F}{K_s} \right]$$

es decir:

$$1 = K_c \times \left[\frac{1}{K_a} + \frac{1}{K_s} \right]$$

o sea,

$$K_c = \frac{1}{\frac{1}{K_a} + \frac{1}{K_s}} \quad (4)$$

es decir, la rigidez de la línea de apoyos K_c es función de la de los propios aparatos de apoyo y de la subestructura, rigideces que se determinan como se ha indicado en apartados anteriores.

La expresión (4) obtenida, corresponde, siguiendo con la analogía de los muelles elásticos, al caso de dos muelles conectados en serie con rigideces K_a (aparatos de apoyo) y K_s (subestructura).

Por tanto la coacción que la subestructura y los apoyos ejercen al movimiento horizontal del tablero, corresponde a la de un muelle de constante elástica K_c , tal como se representa en el esquema de la figura A.5.

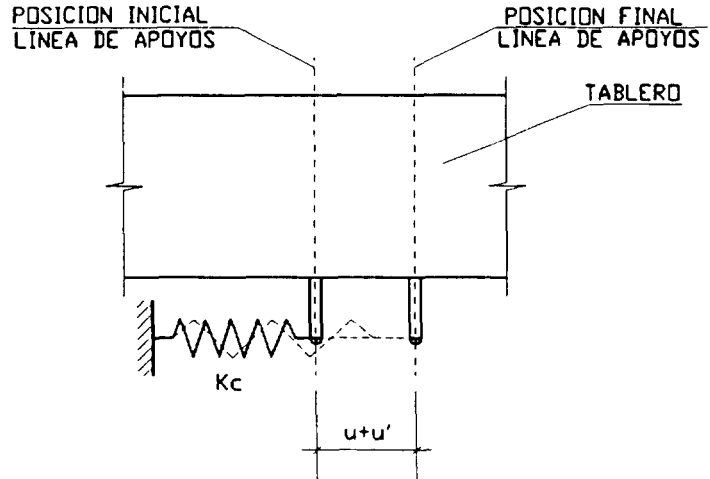


Fig. A.5

De acuerdo con la expresión (4) anterior, en el caso particular de apoyos «pot» fijos, como K_a es infinito, K_c es directamente la rigidez de la propia subestructura. Asimismo, en el caso de apoyos deslizantes, una vez vencido el rozamiento, éstos transmiten a la subestructura una fuerza constante de valor $\mu \times N$, como ya se ha dicho, sin que quepa hablar de rigidez conjunta de la línea de apoyos K_c . Sí aparece, en cualquier caso, una fuerza igual y contraria a $\mu \times N$ que actúa sobre el tablero y que deberá estar en equilibrio con las fuerzas horizontales ejercidas por las restantes líneas de apoyo sobre el mismo y con las acciones exteriores en su caso, tal como se indicó en A.1.1.

A.1.5. Algunos casos particulares de reparto de acciones horizontales

En cualquier caso general de reparto de acciones horizontales, tanto acciones lentas como acciones exteriores, a través de las vinculaciones que se establecen entre la subestructura y los aparatos de apoyo y el tablero, establecidas en los apartados anteriores, se puede obtener fácilmente el citado reparto mediante la utilización de cualquier programa general de cálculo matricial de estructuras en el que, naturalmente, se cumplirán las condiciones de equilibrio y compatibilidad enunciadas en A.1.1.

En el caso de utilizar apoyos deslizantes, darán lugar a problemas no lineales que, en general, son fácilmente introducibles en un programas de cálculo lineal mediante iteración, ya que, como se ha indicado, los apoyos deslizantes tienen un comportamiento elastoplástico. Asimismo, en la obtención de las fuerzas horizontales en la subestructura, según el método general esbozado, será preciso tener en cuenta, en su caso, el proceso constructivo.

No obstante lo anterior, a continuación se comentan algunos casos particulares que, en general, no necesitan la ayuda de programas de cálculo y que sirven para insistir en las ideas expresadas hasta ahora.

A.1.5.1. Puente continuo con apoyos de neopreno zunchado

Se trata, probablemente, del caso más común que se presenta en la práctica. Responde al esquema general de la figura A.6 y se supone que el tablero está construido de una sola vez, es decir, cimbrado en toda su longitud.

El tablero tiene N líneas de apoyo y N-1 vanos de longitud l_i , tal como se indica en la figura A.6. En lo que sigue se detalla la obtención de las fuerzas horizontales en la subestructura debidas a los distintos efectos que actúan sobre el tablero.

A) Deformaciones

Las deformaciones actúan según el eje X (eje longitudinal del tablero) de la figura A.6, y corresponden, como se ha indicado, a:

- acortamiento elástico (puentes pretensados) (ϵ_e)
- retracción (ϵ_r)
- fluencia (ϵ_v) (puentes pretensados)
- temperatura (ϵ_t)

El valor de las deformaciones anteriores, ϵ , se deberá determinar en proyecto de acuerdo con la normativa vigente (EP-93, EH-91 e Instrucción de Acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera. 1972).

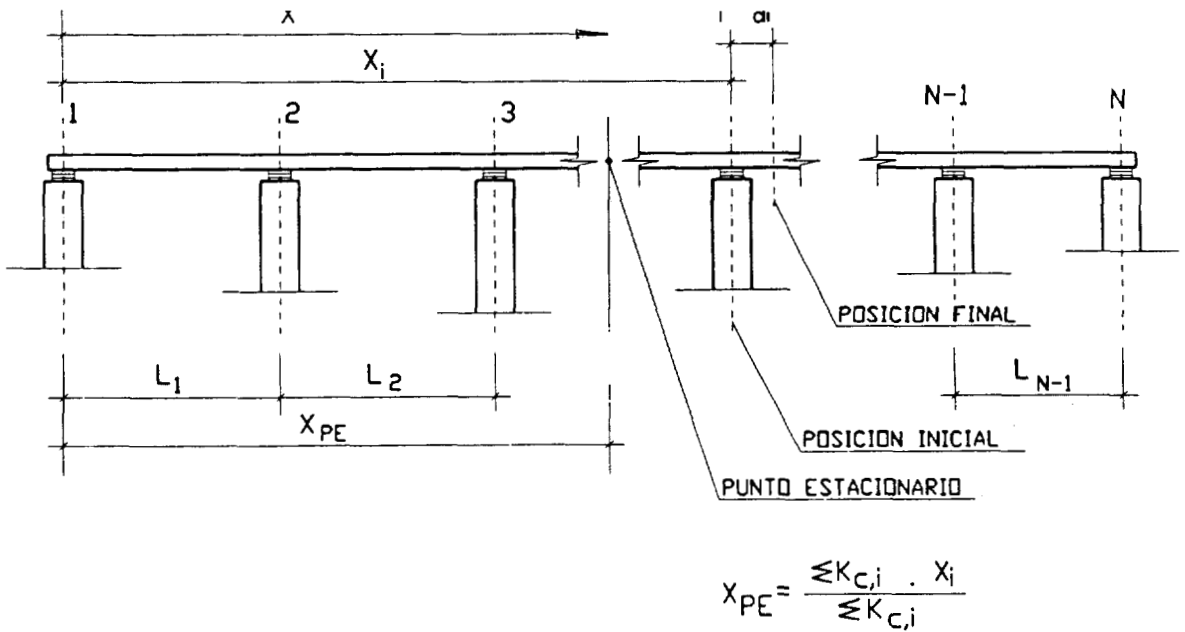


Fig. A.6

De acuerdo con lo visto en apartados anteriores, es inmediato obtener, para cada línea de apoyos, $K_{c,i}$, rigidez de la línea de apoyos genérica i en función de la rigidez de la subestructura, $K_{s,i}$, y de los apoyos $K_{a,i}$, de acuerdo con la expresión (4) del apartado A.1.4.

Se puede demostrar fácilmente que el punto de desplazamiento nulo del tablero (llamado habitualmente punto estacionario) está situado en la coordenada X_{PE} , dada por la expresión:

$$X_{PE} = \frac{\sum K_{c,i} \cdot X_i}{\sum K_{c,i}}$$

es decir, observando la fórmula anterior, es el centro de gravedad de las rigideces de las líneas de apoyo. De acuerdo con esto el desplazamiento de la línea de apoyos genérica i vendrá dado por:

$$d_i = \epsilon \cdot (X_{PE} - X_i)$$

y por tanto la fuerza horizontal ejercida por el tablero en su deformación sobre la línea de apoyos i será:

$$F = K_{c,i} \times d_i$$

Recuérdese, como se indicó en A.1.4, que d_i es la suma del desplazamiento de los aparatos de apoyo u_i más el de la cabeza de la subestructura u'_i . Estos movimientos son inmediatos una vez conocido F_i , ya que:

$$u_i = \frac{F_i}{K_{a,i}} \quad y \quad u'_i = \frac{F_i}{K_{s,i}}$$

En todo lo anterior se ha supuesto que la rigidez a axil del tablero es infinita lo que resulta una hipótesis muy ajustada a la realidad.

B) Acciones exteriores longitudinales

Corresponden al efecto del frenado y del sismo longitudinal en su caso. (Veáse la ya citada Instrucción de Acciones)

Prescindiendo al igual que en el caso anterior de la rigidez a axil del tablero, éste sufrirá todo él una traslación como sólido rígido « d » (figura A.7), generándose por tanto en cada línea de apoyos una fuerza F_i tal que su suma deberá equilibrar la acción exterior F_{ext} .

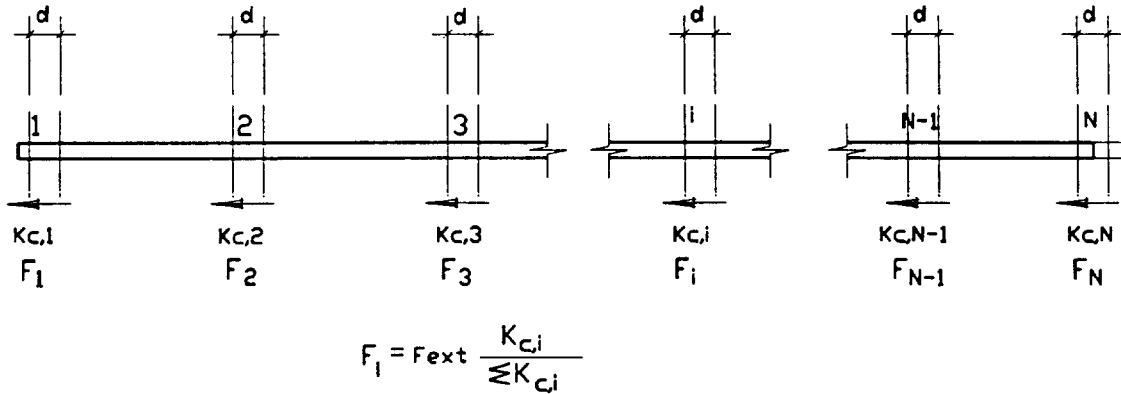


Fig. A.7

De acuerdo con el esquema de la figura A.7, se podrá poner:

$$\sum F_i = F_{ext}$$

y como

$$F_i = K_{c,i} \times d$$

es decir

$$d = \frac{F_{ext}}{\sum K_{c,i}}$$

$$\sum K_{c,i} \times d = F_{ext}$$

y por lo tanto:

$$F_i = F_{ext} \times \frac{K_{c,i}}{\sum K_{c,i}}$$

es decir, la fuerza exterior se reparte proporcionalmente a las rigideces relativas de las líneas de apoyo. Una vez conocidas F_i es inmediato obtener u_i y u'_i tal como se hizo en el caso A anterior.

C) Acciones instantáneas transversales

Corresponden al efecto del viento sobre el tablero y del sismo transversal en su caso (Véase la ya citada Instrucción de Acciones).

Si se supone que el tablero es infinitamente rígido en su plano, esto es, se desprecia la deformación por flexión en el plano «XY», hipótesis ésta que no siempre es posible efectuar, (ver figura 1 de la memoria), el reparto de esta acción exterior es completamente análogo al del caso anterior, sin más que cambiar las rigideces de las líneas de apoyo $K_{c,i}$ correspondientes al trabajo longitudinal por las correspondientes al trabajo transversal. En este sentido, la rigidez de los neoprenos $K_{a,i}$ no cambia, ya que depende del área en planta de los mismos, pero si lo hace la rigidez de la subestructura, ya que en los casos A) y B) la flexión de la misma se produce en el plano «XX» y en este último caso la flexión se produce en el plano «YY» (ver figura A.8).

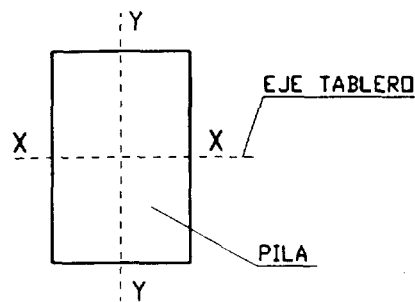


Fig. A.8

Si no se considera el tablero infinitamente rígido en su plano, lo que en muchos casos es aconsejable, habrá que recurrir a modelos de emparrillado plano, como el de la figura A.9, en que las barras que reproducen al conjunto de apoyos más pilas tendrán una rigidez igual a la $K_{c,i}$ obtenida por los medios anteriores.

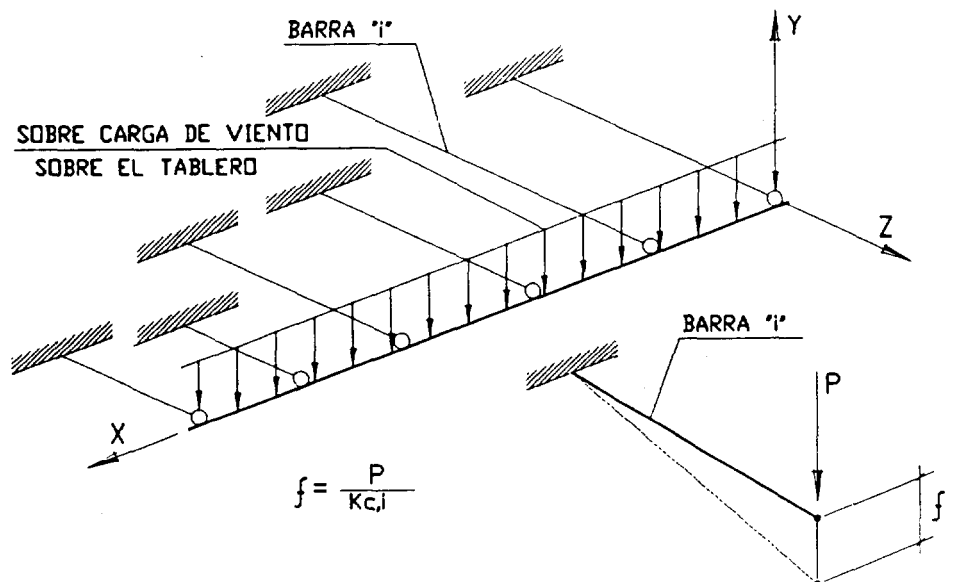


Fig. A.9

En este modelo, sí es habitual prescindir de los efectos de torsión en el tablero, ya que se trata de una torsión de compatibilidad y no de equilibrio.

Por último, señalar que con los esquemas de reparto de acciones transversales comentados, sobre todo en el caso de puentes con altura de pilas sensiblemente diferentes entre sí, se obtienen distribuciones de fuerzas bastante alejadas de las que se obtendrían con repartos isostáticos, método bastante frecuente, en el sentido de descargar apreciablemente las pilas esbeltas y sobrecargar, con respecto a los citados repartos isostáticos, las pilas cortas y los estribos.

A.2. TABLEROS DE PLANTA CURVA

Cuando la curvatura de la traza es apreciable o cuando los tableros son esviados, no se pueden independizar, como en el caso de los tableros de planta recta, las acciones en sentido longitudinal y transversal ya que no cabe hablar de tales sentidos. Se produce entonces un acoplamiento, en el plano del tablero (plano «XY» de la figura 1 de la memoria), de los efectos que en el caso del tablero recto se habían separado en longitudinales y transversales.

Siguen siendo válidos, sin embargo, todos los conceptos anteriores en lo referente a rigideces de aparatos de apoyo, de subestructura y de líneas de apoyo, pudiéndose decir entonces que estas últimas coaccionan el movimiento del tablero en el plano «XY» y no sólo según el eje «X» o según el eje «Y».

No es posible, por tanto, deducir esquemas simplificados de reparto como los comentados en A.1.5.1, siendo necesario, en general, recurrir a la ayuda del ordenador mediante modelos basados en técnicas matriciales y que reproduzcan adecuadamente la coacción, que al movimiento del tablero, ofrecen las líneas de apoyo.

Es decir, se está en el caso general esbozado en A.1.5 al que se le añade la complicación adicional que puede suponer la curvatura en planta del tablero.



Ministerio de Obras Públicas, Transportes
y Medio Ambiente
Centro de Publicaciones



P.V.P.: 900 ptas.
(I.V.A. incluido)