

CAPÍTULO XIV:

APARATOS DE APOYO

14.1. BASES DE PILARES RÍGIDAS O SEMIRRÍGIDAS

14.1.1 INTRODUCCIÓN Y TIPOLOGÍAS

La unión de la base de un pilar a la cimentación se materializa mediante las placas de anclaje (basas de soportes en CTE). Dependiendo de la configuración del detalle constructivo la base del pilar puede comportarse como rígida, articulada o semirrígida al igual que el resto de uniones entre elementos de la estructura. Las funciones básicas son

- Permitir la distribución de los esfuerzos de la base del pilar sobre la zapata.
- Para esfuerzos pequeños es posible empotrar directamente el pilar en la zapata.
- Para esfuerzos medios y altos se interpone una placa de acero montada sobre una capa de mortero, para su correcto nivelado, que se solidariza a la zapata mediante los denominados pernos de anclaje que pueden ir atornillados o soldados a la placa.
- Cuando los esfuerzos de tracción derivados del momento flector en la base son muy elevados es posible disponer durmientes metálicos embebidos en la zapata que ayudan a los pernos de anclaje a soportar tales solicitaciones.

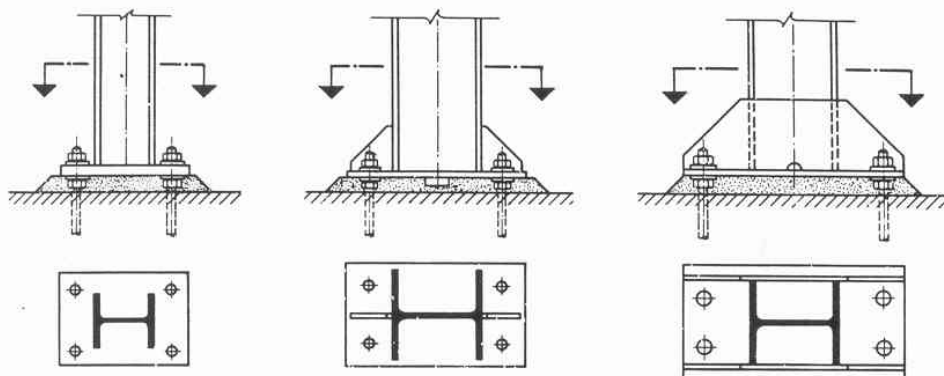
Una base de pilar empotrada presenta frente a una base articulada las siguientes:

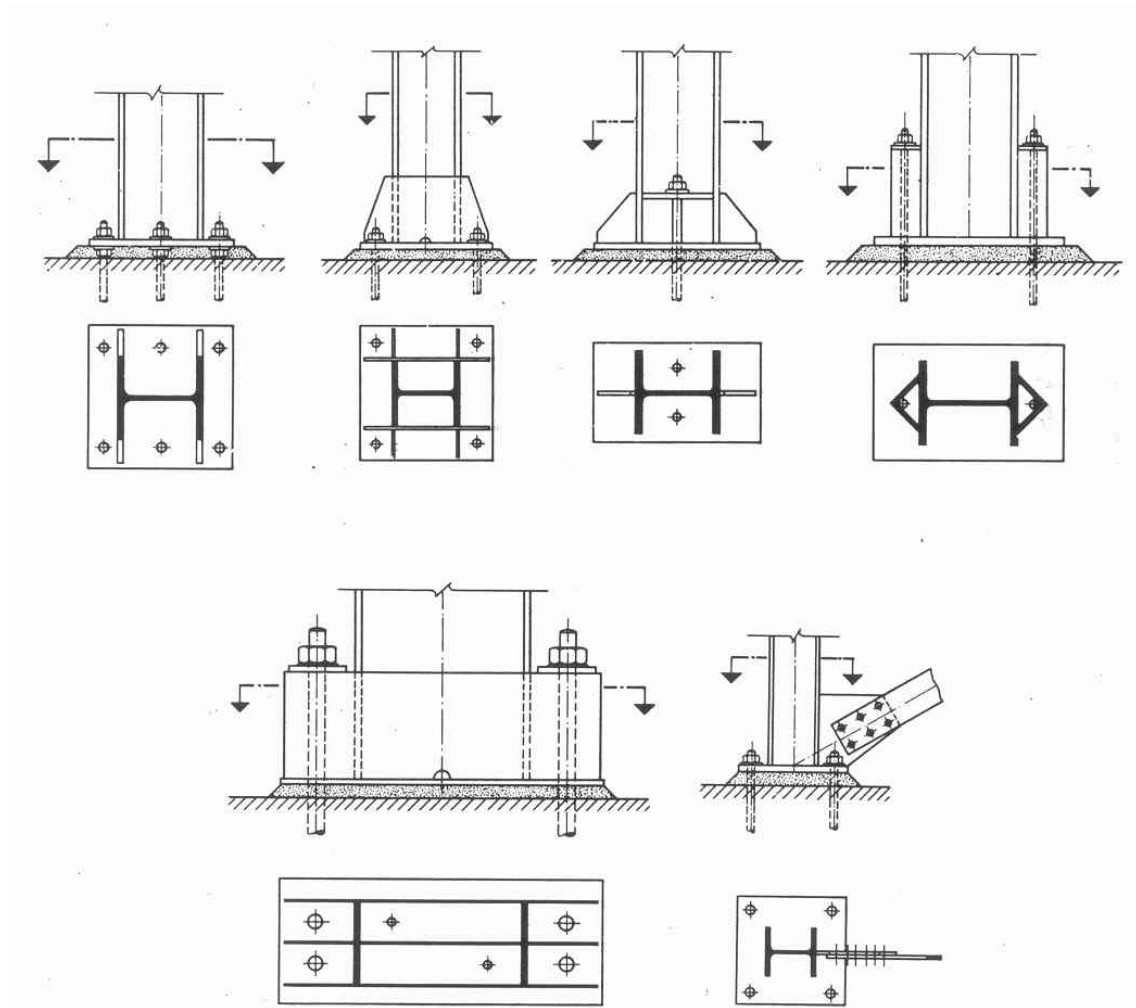
Ventajas:

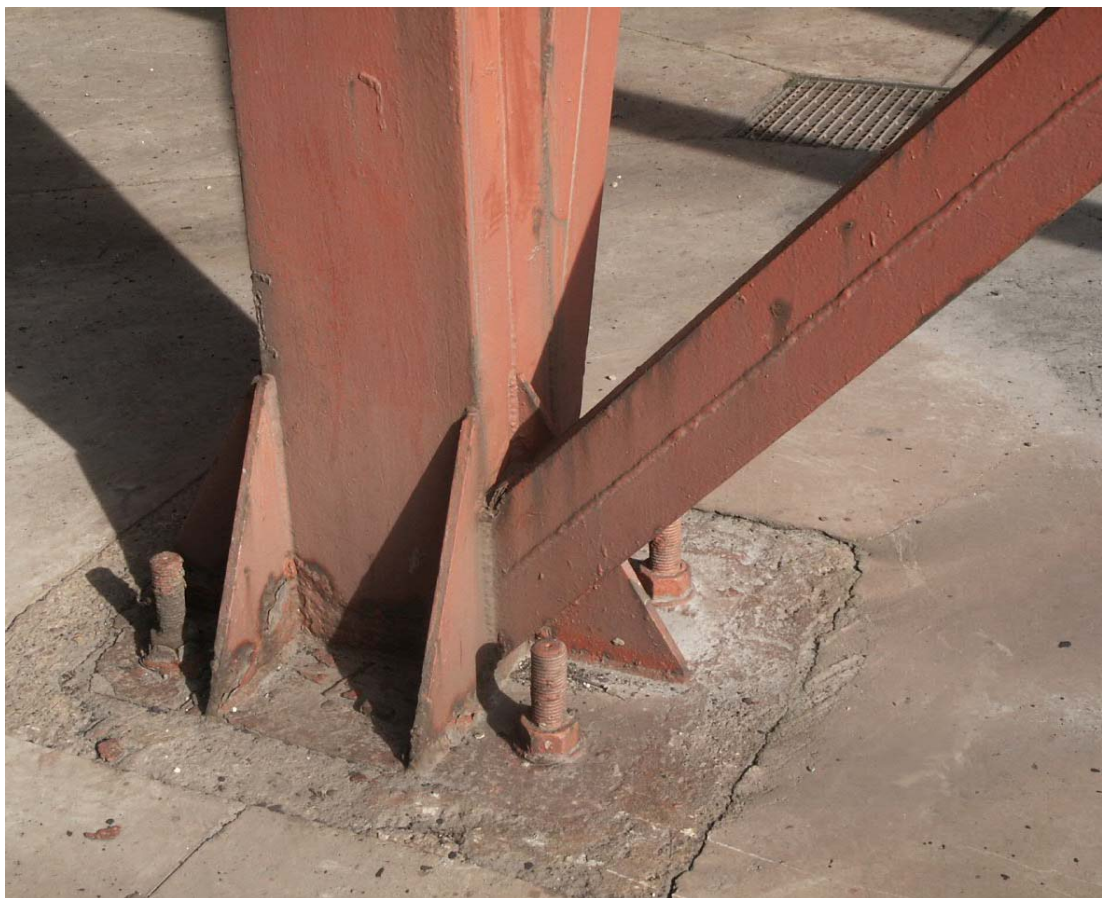
- Las secciones de los nudos adyacentes y en general de la estructura serán menores.
- Los aparatos de apoyo resultan más sencillos y por tanto más baratos.
- Los aparatos de apoyo requieren menor mantenimiento.

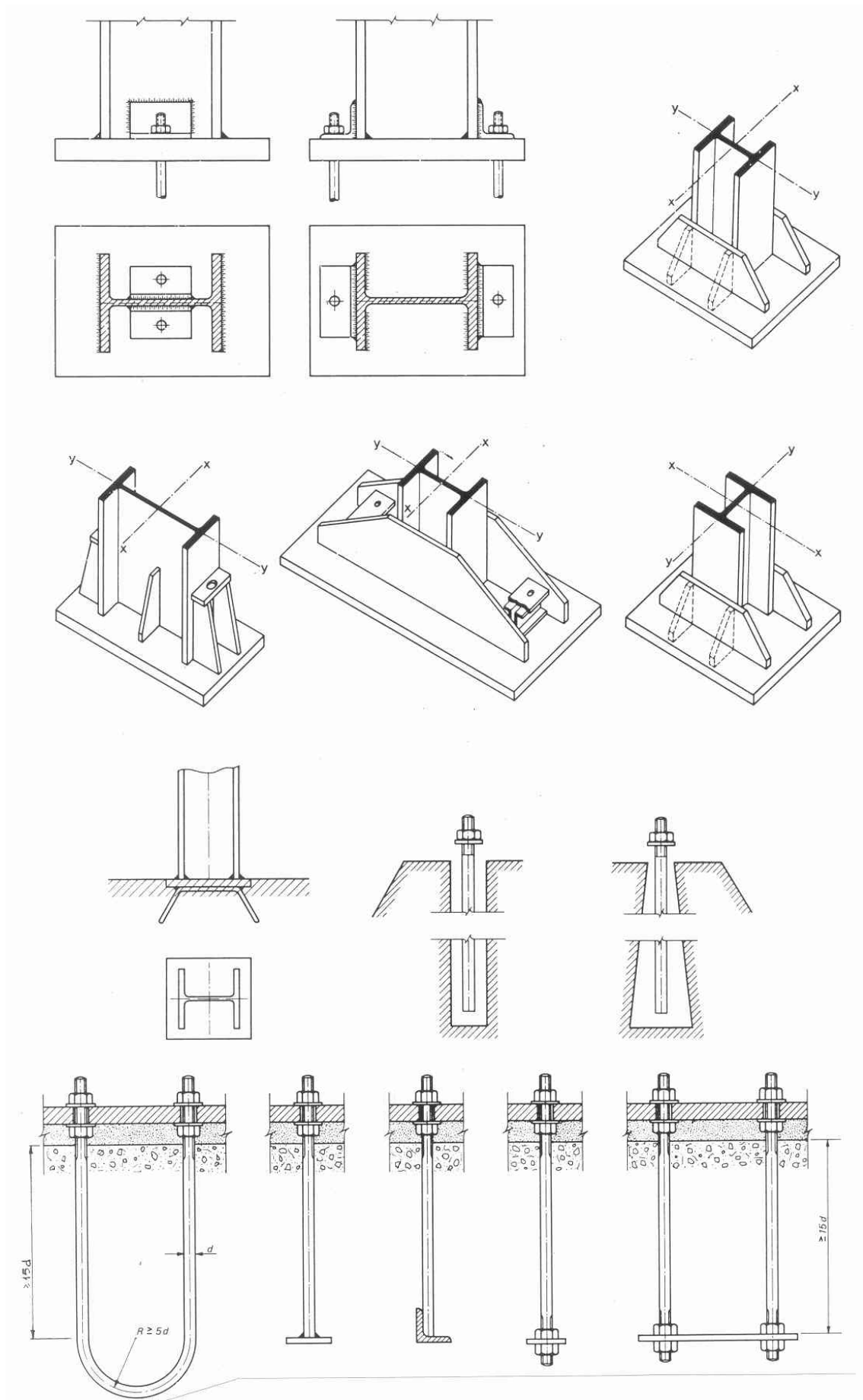
Inconvenientes:

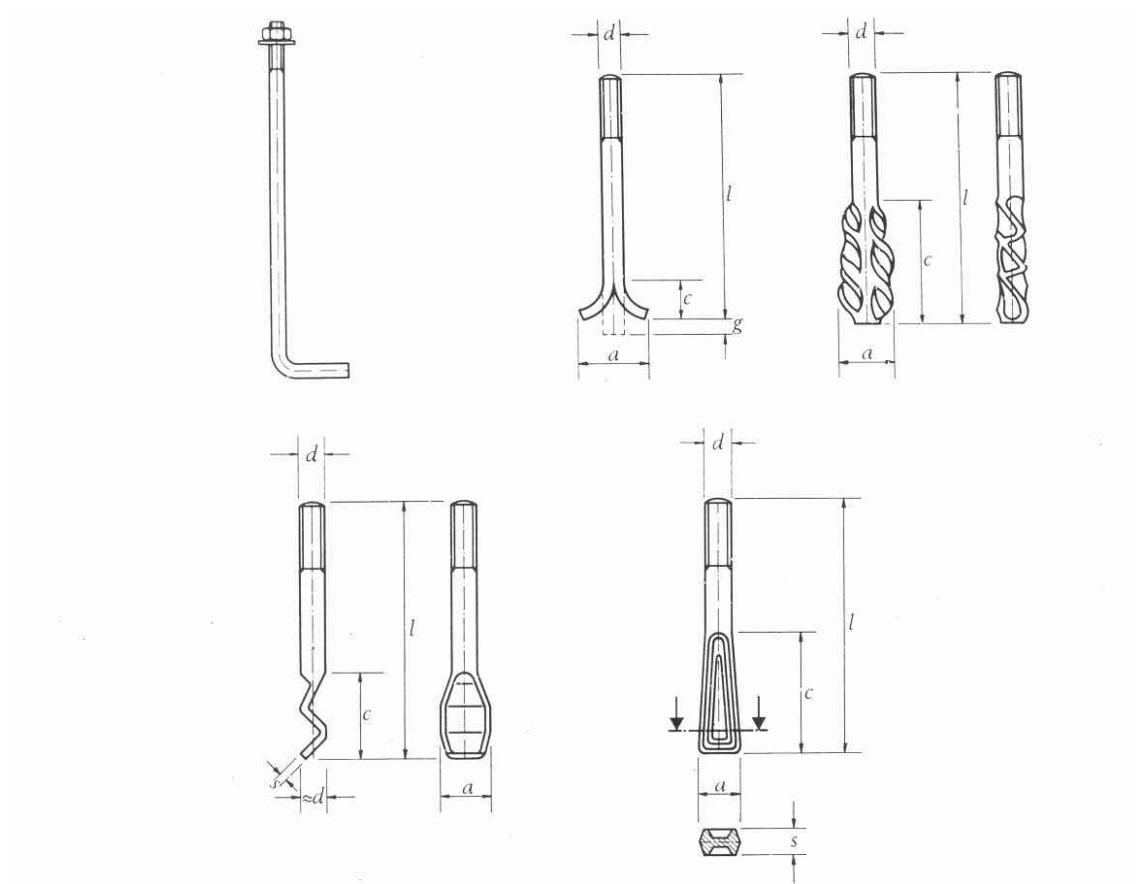
- La base del pilar empotrada se encuentra más solicitada al aparecer el momento. Esto conduce a cimentaciones de mayor volumen y por tanto más costosas. Por este motivo resulta indicado recurrir a bases articuladas cuando el terreno es deficiente.











14.1.2 COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA (CTE)

La comprobación de la unión de un elemento metálico a otro de hormigón, como son las bases de pilares, requiere verificar la existencia de resistencia suficiente en la región de contacto, considerando, tanto la resistencia a compresión del hormigón f_{cd} de dicha región, como la de los elementos metálicos que materializan el contacto.

Los soportes distribuirán los esfuerzos de compresión, transmitidos por las zonas comprimidas del pilar, sobre una superficie suficiente de hormigón por medio de elementos de transición, como son las placas de anclaje. La placa asentará directamente sobre el hormigón, o mejor, sobre un mortero de nivelación sin retracción interpuesto entre ambos materiales. En los casos en que pueda asegurarse la inexistencia de tracciones en el arranque se podrá disponer una chapa en el extremo del pilar que sirva de apoyo directo de éste a la placa de anclaje. En tal caso, en la región en que ambas placas se superpongan se podrá adoptar como espesor equivalente el valor t_{eq} siempre que la diferencia entre ambos espesores no supere un tercio del espesor mayor.:

$$t_{eq} = \sqrt{t_1^2 + t_2^2}$$

Si es necesario se dispondrán pernos de anclaje para resistir las tracciones presentes en las zonas traccionadas del pilar, debidas a fuerzas de arrancamiento o a momentos.

Para asegurar la resistencia a los esfuerzos tangentes, como cortantes o momentos torsores, y en caso de no disponerse de elementos específicos para ello, tales como topes o conectadores de cortante, se debe justificar la capacidad resistente en la sección de contacto entre el soporte y el hormigón mediante:

- El rozamiento entre la placa base y el hormigón
- La resistencia a cortante de los pernos de anclaje;

14.1.2.1 Verificación de la resistencia a compresión sobre el hormigón

La resistencia de la superficie de hormigón en contacto y la de las regiones circundantes en la masa de éste se verificará de acuerdo con la instrucción EHE.

El denominado área eficaz queda comprendida por la superficie comprimida bajo el pilar, que se define a continuación, más las secciones de los pernos de anclaje a tracción o cortadura, y las secciones de los elementos de cortante, si existieran. Se considera la región que permite establecer, junto con las tracciones en los pernos, el equilibrio con los esfuerzos axil y momento flector en la base del pilar.

La región de contacto en compresión, depende de su espesor y estará formada por la región de basa limitada por segmentos de recta paralelos a las caras de los perfiles que forman la sección de arranque del soporte, a una distancia máxima c de dichas caras.

$$c \leq t \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}}$$

- t espesor de la basa,
- f_{yd} resistencia de cálculo del acero de la basa, con $\gamma_M=1,1$.
- f_{jd} resistencia portante de la superficie de asiento, de valor definido en EHE. En el caso de apoyos sobre macizos, que aseguran confinamiento del hormigón, la resistencia puede alcanzar el valor:

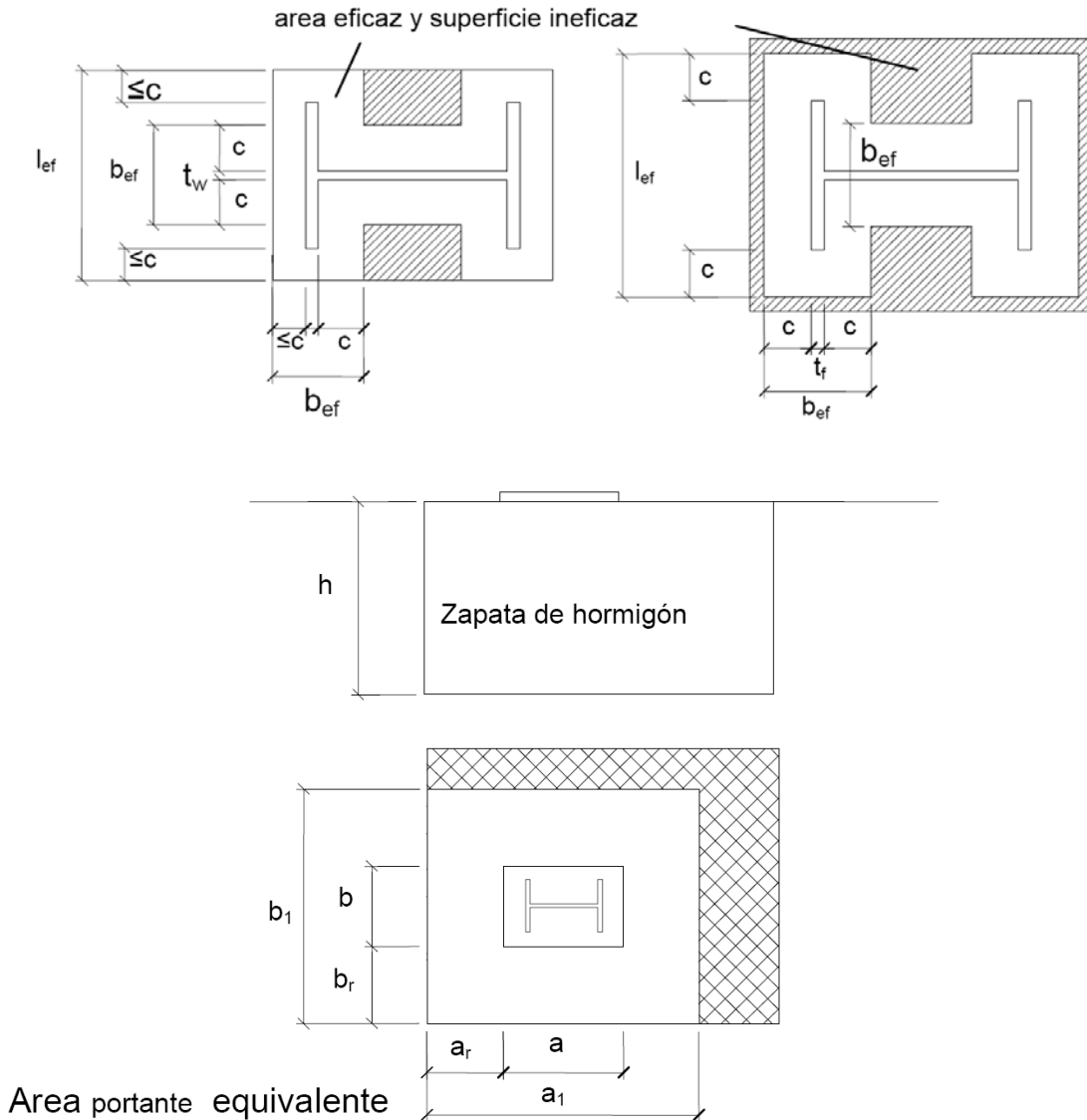
$$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck} \leq 3,3 \cdot f_{cd}$$

- β_j coeficiente de la unión. Puede tomarse $\beta=2/3$ si la resistencia característica del mortero de nivelación no es inferior a $0,2 \cdot f_{ck}$, y su espesor no es superior a 0,2 veces el ancho menor de la basa.
- f_{cd} valor de cálculo de la resistencia a compresión del hormigón.
- k_j factor de concentración, dependiente del área portante equivalente de hormigón.

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} \leq 5$$

a, b dimensiones de la placa de asiento.

a₁, b₁ dimensiones del área portante equivalente (ver figura). Sus valores serán los más pequeños de los obtenidos de la tabla.



Dimensiones del área portante equivalente

a ₁	b ₁
a ₁ = a + 2a _r	b ₁ = b + 2b _r
a ₁ = 5a	b ₁ = 5b
a ₁ = a + h	b ₁ = b + h
a ₁ = 5b ₁ pero a ₁ ≥ a	b ₁ = 5a ₁ pero b ₁ ≥ b

El valor de agotamiento resistente a compresión del hormigón de cada rectángulo eficaz en que puede descomponerse la región de contacto comprimida viene dado por:

$$F_{c,Rd} = f_{jd} \cdot b_{ef} \cdot l_{ef}$$

siendo l_{ef} , b_{ef} la longitud y anchura eficaces de cada región comprimida de la basa.

14.1.2.2 Verificación de la resistencia a cortante

Si se dispone de elementos específicos de cortante, la resistencia de cálculo de la placa será la aportada por éstos. En caso de no existan la resistencia a cortante viene dada por:

$$F_{v,Rd} = F_{f,Rd} + n \cdot F_{vb,Rd}$$

siendo n el número de pernos en la placa de anclaje, $F_{f,Rd}$ la resistencia a rozamiento entre la placa y el hormigón y $F_{vb,Rd}$ la resistencia a cortante de un perno individual.

a) La resistencia de cálculo por rozamiento entre la placa base y el hormigón o mortero de nivelación viene dada por:

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Sd}$$

siendo

$C_{f,d}$ coeficiente de rozamiento entre la placa base y el hormigón, que valdrá:

– Mortero de cemento y arena $C_{f,d} = 0,20$;

– Morteros especiales o contacto directo con el hormigón, $C_{f,d} = 0,30$.

$N_{c,Sd}$ fuerza de cálculo a compresión transmitida por el pilar.

b) La resistencia a cortante de un perno de anclaje $F_{vb,Rd}$ será el menor de los valores:

– La resistencia del perno;

– El valor: $F_{vb,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$

siendo

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\alpha_b = 0,44 - 0,0003 f_{yb}$$

f_{yb} límite elástico del acero del perno en N/mm^2 , (la expresión $0,0003$ en α_b tiene dimensiones de mm^2/N de modo que α_b resulta adimensional).

f_{ub} resistencia última del acero del perno.

A_s área resistente a tracción del perno.

14.1.2.3 Verificación de los pernos

La tracción aplicada sobre los pernos no superará sus valores de agotamiento resistente considerando los esfuerzos cortantes simultáneos con la tracción que deban resistir. Los esfuerzos sobre los pernos y sobre la superficie comprimida de hormigón se determinarán estableciendo el equilibrio con las sollicitaciones de la unión. El valor de agotamiento por cortante se tomará el anteriormente definido $F_{vb,Rd}$.

Los pernos se anclarán mediante patilla, placa arandela, etc., y se comprobará el anclaje según lo establecido en la instrucción EHE. Si se denomina $F_{t,Sd}$ al esfuerzo de tracción para una fila de n pernos, se deberá verificar la expresión:

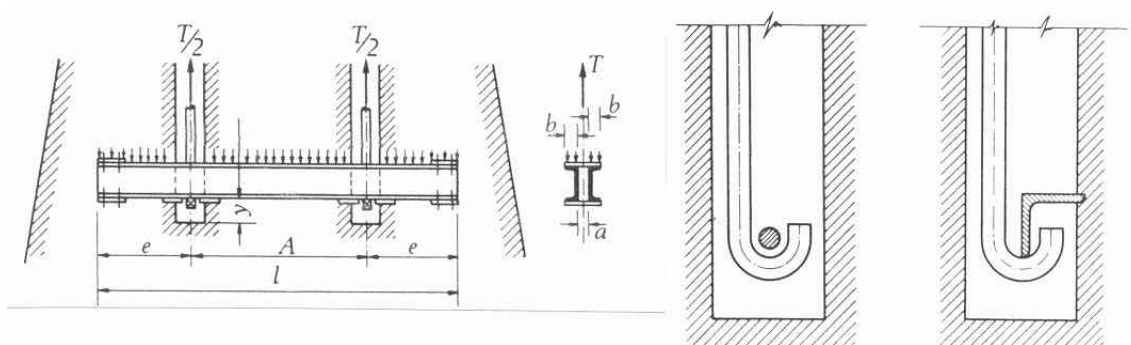
$$\frac{F_{t,Sd}}{n} \leq L \cdot \pi \cdot d \cdot \tau_{bm}$$

τ_{bm} tensión media de adherencia entre el perno y el hormigón

d diámetro del perno

L longitud del perno

Cuando la tracción que solicita a los pernos resulte tan elevada que requiera una longitud excesiva para éstos, se introducen en la zapata unos durmientes metálicos conectados a los pernos que, a su vez, deberán ser suficientemente resistentes a flexión.



El dimensionado de los elementos de anclaje en este caso, se hace normalmente prescindiendo de la adherencia entre el perno y el mortero de relleno que le rodea y suponiendo que la tracción es soportada íntegramente por el durmiente.

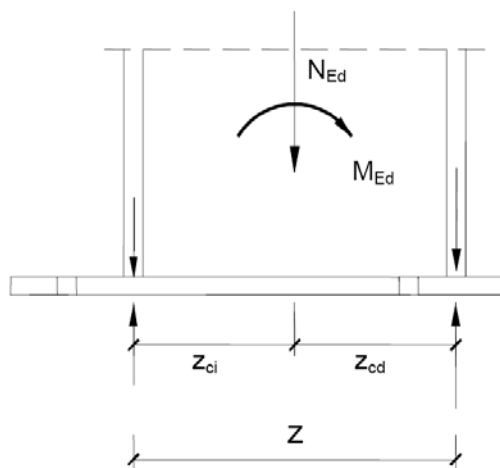
14.1.2.4 Verificación de la placa a flexión

La placa metálica que forma la basa o bien la placa equivalente se comprobará al agotamiento por flexión, considerando la acción de las presiones que devuelve el hormigón a la placa, de valor f_{jd} y suponiendo la placa coaccionada en su desplazamiento por las chapas que conforman la sección de arranque del pilar.

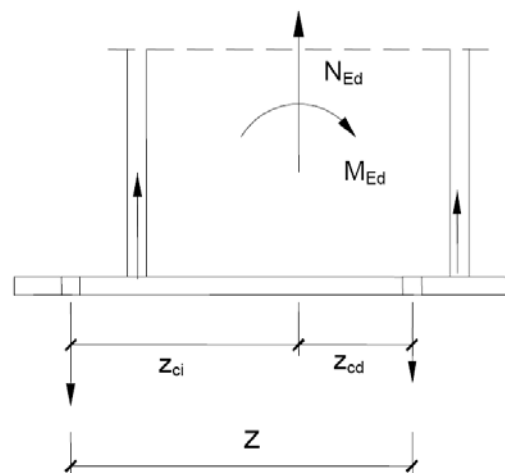
La capacidad resistente a momento flector $M_{p,Rd}$ de la placa por unidad de longitud en una línea de rotura de la basa se obtiene a partir de:

$$M_{p,Rd} = \frac{t^2 \cdot f_{yd}}{4}$$

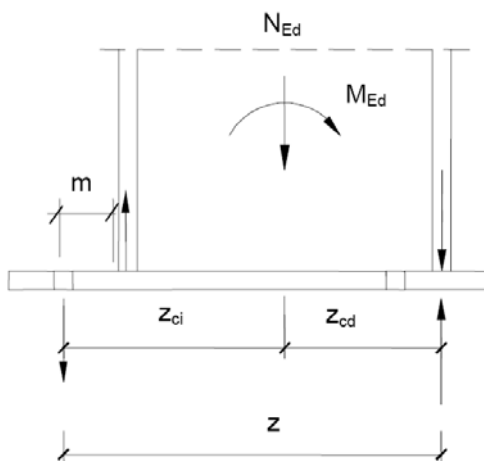
Para aproximar las posiciones de las resultantes de las fuerzas normales a la superficie de contacto pueden usarse los criterios de las figuras siguientes:



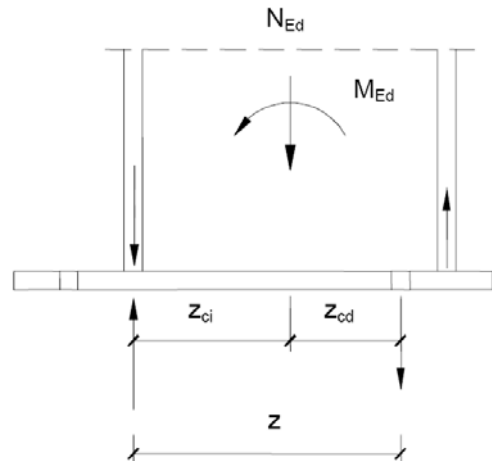
a) Compresión dominante



b) Tracción dominante



c) Flexión dominante



d) Flexión dominante

Si la placa va rigidizada mediante cartelas soldadas a la propia placa y al pilar, se puede considerar dicha placa sometida a flexión por las presiones que devuelve el hormigón y apoyada sobre las cartelas en una configuración de viga biapoyada con voladizos.

14.1.2.5 Rigidez rotacional

La rigidez rotacional inicial $S_{j,ini}$ de la unión puede determinarse mediante el método de los componentes a partir de la rigidez individual de los componentes básicos que se definen a continuación, mediante la expresión:

$$S_{j,ini} = \frac{1}{\sum \frac{1}{S_i}} \text{ siendo } S_i \text{ la rigidez de cada componente básico siguiente:}$$

a) Hormigón en compresión y placa en flexión debida a la compresión: se considerarán separadamente las áreas eficaces bajo cualquiera de las alas comprimidas del pilar:

$$S_c = \frac{E_c \cdot z^2 \sqrt{l_{ef} \cdot b_{ef}}}{1,275}$$

b) Base metálica en flexión por tracción:

$$S_p = \frac{0,85 \cdot E \cdot z^2 \cdot l_{ef} \cdot t_p^3}{m^3}$$

c) Anclajes en tracción considerando separadamente la de cada fila de anclajes (las de distinto brazo de palanca):

$$S_p = \frac{2 \cdot E \cdot z^2 \cdot A_s}{L_a}$$

siendo

E, E_c los módulos de elasticidad del acero e inicial del hormigón, respectivamente

z el brazo de palanca de la unión (o en filas de anclajes el efectivo de la fila)

l_{ef}, b_{ef} las dimensiones eficaces de la región de hormigón bajo un ala comprimida

t_p el espesor de la placa base

m distancia del tornillo a la línea de formación de la rótula plástica (o charnela)

A_s área resistente a tracción del anclaje

L_a longitud de elongación del anclaje, igual a 8 veces su diámetro más el espesor del mortero, de la placa y la arandela, y la mitad de la altura de la tuerca.

Si hay fuerzas de palanca, se tomará sólo el 80% de rigidez de los anclajes en tracción.

La rigidez rotacional secante para un momento $M_{j,Ed}$ menor que el resistente $M_{j,Rd}$ será:

-Si $M_{j,Ed} \leq 2/3 M_{j,Rd}$ se tomará igual a la rigidez inicial, $S_{j,ini}$.

-Si $M_{j,Ed} > 2/3 M_{j,Rd}$ se tomará el valor dado por:
$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{(1,5 M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^{2,7}}$$

14.2. BASES DE PILARES ARTICULADAS

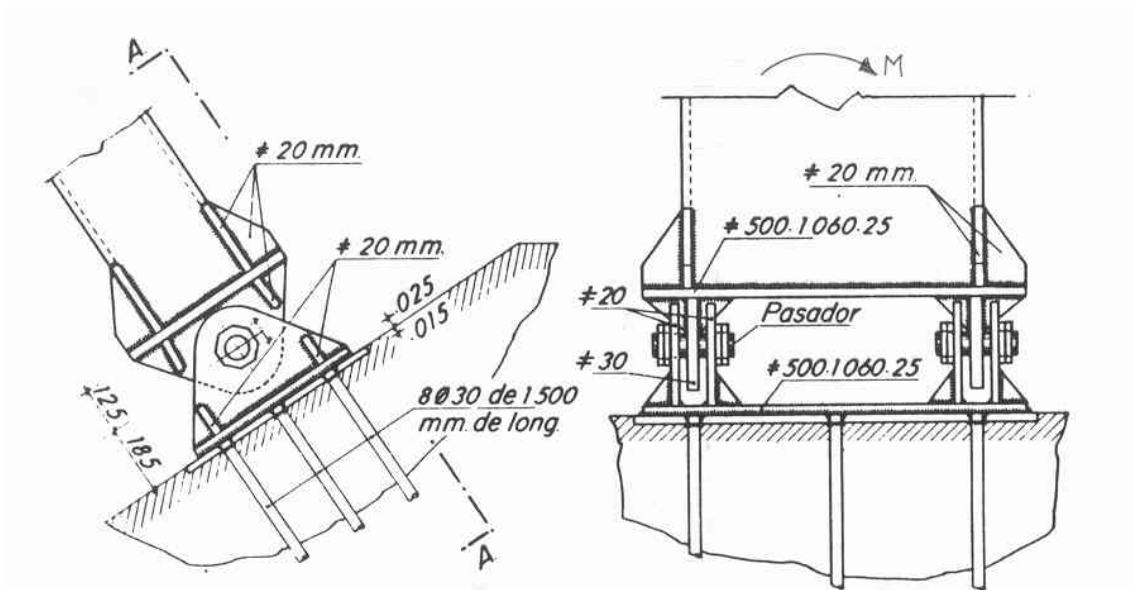
14.2.1 INTRODUCCIÓN Y TIPOLOGÍAS

La unión articulada de un pilar a la cimentación se puede materializar mediante pasadores que conecten el extremo inferior del pilar a las placas de anclaje, permitiendo el giro de flexión según el eje del pasador.



Datos que se precisan para su diseño:

- Acciones que solicitan la unión:
 - Reacción vertical V
 - Reacción horizontal H
 - Momento de vuelco en plano perpendicular debido al viento M
- Resistencia a compresión del material sustentante de la placa base f_{ck}
- Material de la placa



14.2.2 COMPROBACIONES A REALIZAR:

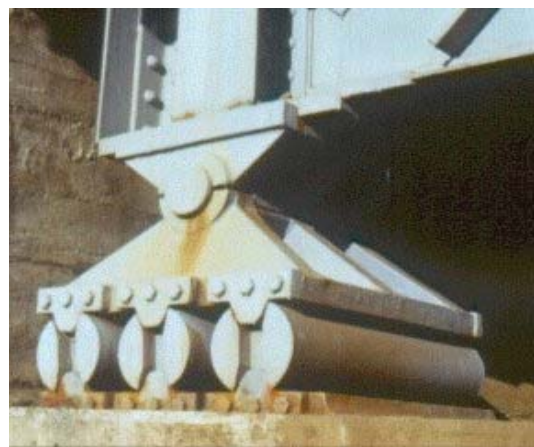
La articulación se puede diseñar disponiendo de un solo pasador o bien de una pareja de ellos que enlacen el extremo inferior del pilar a la placa de asiento recibida en el hormigón. Las comprobaciones que se deben llevar a cabo para el correcto diseño son:

- a) Cortadura del bulón.
- b) Aplastamiento de la chapa contra la espiga del bulón.
- c) Compresión del hormigón situado bajo la placa base.
- d) Flexión de la placa base.

14.3. APOYOS DE VIGAS

14.3.1 INTRODUCCIÓN Y TIPOLOGÍAS

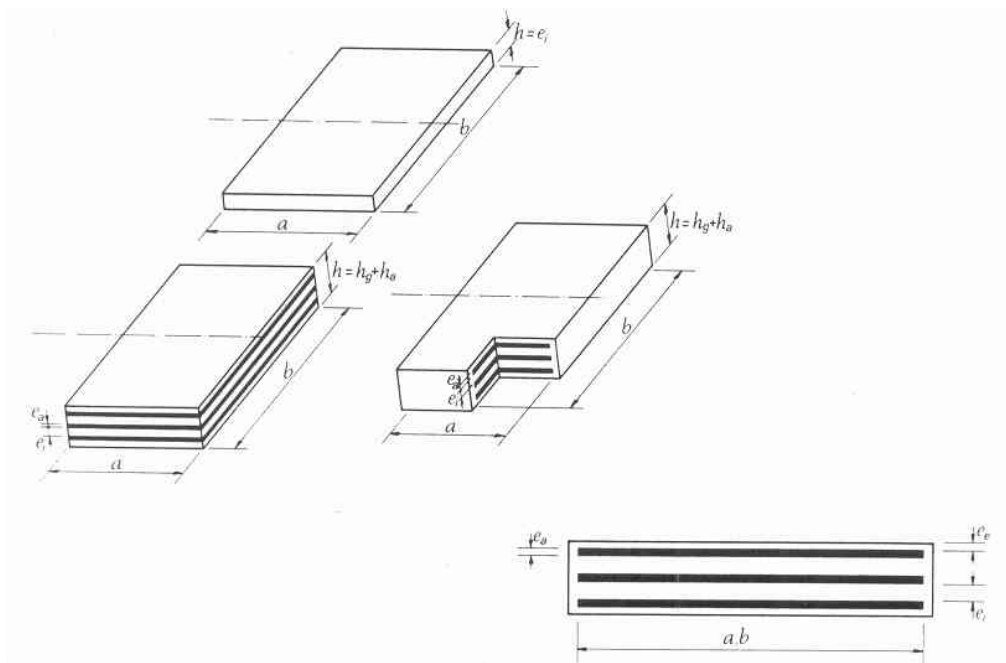
Hasta hace unos años los apoyos de vigas de puentes que implicaban transmitir reacciones elevadas al estribo o elemento de cimentación se materializaban mediante apoyos de acero moldeado que resultaban costosos de fabricar y caros de mantener, sobre todo si se pretendía disponer de movilidad lineal en el apoyo.



Hoy en día este tipo de apoyo se materializa fundamentalmente mediante elementos de neopreno que presentan unas buenas condiciones de durabilidad y de servicio permitiendo diferentes condiciones de movilidad que se puedan demandar del apoyo.



14.3.2 APOYOS DE NEOPRENO



14.3.2.1 Características del apoyo

*Características del material:

-Elastómero de caucho sintético, zunchado por separadores metálicos, que presenta buena resistencia al envejecimiento y la corrosión.

-Poco adecuado en climas muy fríos por la pérdida de elasticidad

$$- \mu=0,5 \Rightarrow G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} = \frac{E}{3}; \text{ En la práctica se podrían tomar } E=3N/mm^2$$

*Datos necesarios para el cálculo:

a) Externos al material:

- Carga vertical máxima y mínima sobre el apoyo (R_{max} , R_{min}).
- Fuerza o reacción horizontal (H_{max})
- Desplazamientos máximos exigibles (Δt , Deformaciones, Retracciones)
- Giro exigible al apoyo (θ)

b) Relativos al material:

- Distorsión máxima admisible ($tg\gamma$).
- A falta de otros datos podemos tomar: $\begin{cases} tg\gamma = 0,7 \text{ Acc. estáticas} \\ tg\gamma = 0,9 \text{ a } 1,2 \text{ Acc. dinámicas} \end{cases}$
- Módulos de elasticidad (E y G).
- Tensión admisible a compresión del elastómero.

$$\sigma_{N,adm} = 6 \cdot \left(\frac{a}{e_N} \right) < 120 kg/cm^2; \text{ siendo } a \text{ el lado menor de la base.}$$

- Capacidad de rotación de las láminas. (como orientación $\theta_{total}=0,0033$)

14.3.2.2 Comprobaciones a realizar

a) Altura necesaria del aparato de apoyo.

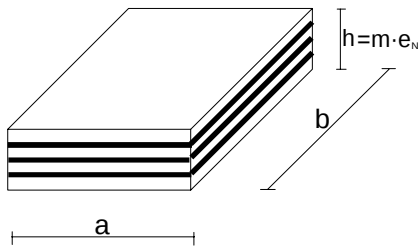
Conocido el desplazamiento previsto (Δt) y el empuje horizontal (H), la distorsión angular que ambos efectos generan en el apoyo valdrá:

$$\gamma_{(\Delta t+H)} = \frac{\Delta t}{m \cdot e_N} + \frac{H}{G \cdot a \cdot b} \leq \begin{cases} tg\gamma = 0,7 \text{ Acc. estáticas} \\ tg\gamma = 0,9 \text{ a } 1,2 \text{ Acc. dinámicas} \end{cases}; \quad m = \text{nº de láminas}$$

b) Imposibilidad de los deslizamientos.

$$\text{Si } \frac{H_{\max}}{R_{\min}} \geq \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \Rightarrow \text{Desliz. entre placas} \rightarrow \text{pegarlas} \\ 0,7 \Rightarrow \text{Desliz. entre apoyo y base} \rightarrow \text{fijarlo} \end{array} \right\} \quad H_{\max} = G \cdot a \cdot b \cdot \gamma_{(\Delta t + H)}$$

c) Estabilidad del apoyo



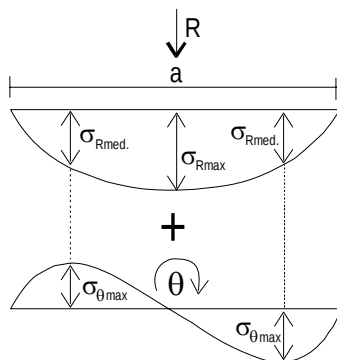
Si hay un desplazamiento elevado podríamos encontrarnos con un apoyo inestable (vuelco).

Para garantizar este tipo de estabilidad se deberá verificar que el lado del apoyo paralelo a la dirección del desplazamiento requerido sea:

$$a \geq 5 \cdot m \cdot e_N$$

m: n° de láminas

d) Compresión máxima sobre el apoyo.

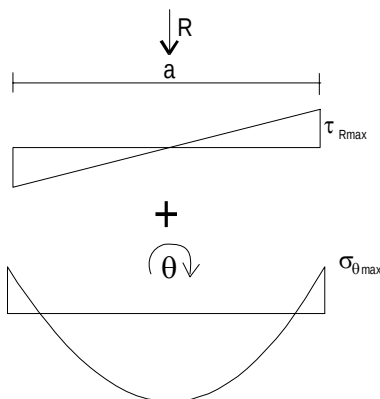


En el supuesto de que “b” $\rightarrow \infty$, tendríamos:

$$\frac{R_{\max}}{a \cdot b} + 0,0033 \frac{\theta}{m} \cdot E \cdot \left(\frac{a}{e_N} \right)^3 \leq \sigma_{N,adm}$$

$$1,5 \cdot \frac{R_{\max}}{a \cdot b} \leq \sigma_{N,adm}$$

e) Comprobación de tensiones tangenciales.



$$\tau_{R_{\max}} = C_1 \cdot \frac{e_N}{a} \cdot \sigma_{R_{media}}$$

$$\tau_{\theta_{\max}} = C_2 \cdot \left(\frac{a}{m \cdot e_N} \right)^2 \cdot E \cdot \frac{\theta}{m}; \quad C_1, C_2 \text{ Tabla VI.A.2}$$

$$\tau_{R_{\max}} + \tau_{\theta_{\max}} \leq 25 \text{ kg/cm}^2$$