

Observaciones sobre la construccion de viaductos

POR

ALEJANDRO WENZ

En puentes que atraviesan quebradas de gran altura o rios encajonados entre barrancas altas, o bien valles de una estension considerable, se emplean frecuentemente, por consideraciones de economia i de rapidez de ejecucion, pilastras o machones metálicos en lugar de machones de albañileria. La disposicion de los tramos del puente es una cuestion de cálculo económico comparativo i depende de la naturaleza del terreno en que se fundarán los macizos de los machones, del caudal del rio o del espacio necesario que debe dejarse libre al tráfico. Por el menor peso de los machones metálicos disminuirá la presion sobre el subsuelo i la fundacion será por consiguiente ménos costosa. Ademas el cuerpo de los machones ejecutado en fierro en vez de albañileria significa mayor economia. Tratándose de la disposicion jeneral de esta clase de obras, llamados viaductos, i habiéndose fijado el largo necesario del viaducto i la distribucion de los tramos, de acuerdo con las necesidades del caso i las condiciones del terreno, es de importancia capital la determinacion de las fuerzas exteriores i el modo con que estas fuerzas son recibidas por la construccion metálica i trasmitidas a las fundaciones. En conformidad con los resultados obtenidos deberán ser dispuestos los apoyos de los tramos. Una construccion está espuesta a fuerzas verticales debidas al peso propio i a la carga rodante, i a fuerzas horizontales debidas al viento i al frenaje. La última fuerza es la que tiene mayor influencia sobre la disposicion jeneral. No puede discutirse que esta fuerza debe ser tomada mui en cuenta en todas estas clases de construcciones, por su accion momentánea i mui desfavorable sobre los tramos i los machones. Como la fuerza del freno varia directamente con el largo del puente, se puede proceder, en viaductos cortos, de manera que esta fuerza sea recibida solamente por uno o por los dos estribos, miéntras que en viaductos largos esta fuerza será recibida no solamente por uno o dos estribos, sino tambien por los machones. Al mismo tiempo se colocarán dispositivos para permitir la dilatacion.

Para ilustrar estos casos se insertan algunos esquemas. (Véase láminas).

Caso A. Apoyo fijo, anclaje de frenaje en el estribo izquierdo, todos los machones pendulares, dilatacion en el estribo derecho.

Caso B. Apoyos fijos, anclaje en los dos estribos, pilas pendulares, dilatacion sobre una pila.

Para asegurar una trasmision del frenaje, el cual actúa sobre toda la estension del puente, los tramos independientes se unen por barras articulares dispuestas a la altura de los apoyos especiales.

Caso C. Apoyos fijos en el estribo izquierdo i sobre dos pilas ríjidas; por consiguiente el frenaje es recibido por el estribo izquierdo i las dos pilas ríjidas; la dilatacion se produce sobre las dos pilas ríjidas i el estribo derecho.

Se pueden distinguir dos formas principales de pilas: pilas pendulares i pilas ríjidas.

Pilas pendulares.—Están formadas por un solo entramado; los piés derechos están inclinados en el sentido transversal i permiten una dilatacion del tramo segun el eje longitudinal del viaducto. Pueden recibir fuerzas verticales i la fuerza del viento que actúa en el sentido transversal. Los apoyos se disponen jeneralmente como placas esféricas i se anclan los piés derechos con el macizo de fundacion. Los macizos se pueden construir como dos cuerpos independientes, uno bajo cada pié derecho, o de un solo cuerpo bajo toda la estension de la pila. Para la construccion del entramado es indiferente si el tramo que se apoya sobre la pila es continuo o si la pila tiene que soportar dos tramos independientes, siempre que la reaccion vertical máxima sea determinada.

Los principios para la construccion de estas pilas son los siguientes: los piés derechos serán contruidos de una seccion que pueda resistir la fuerza vertical, tomando en cuenta el flambaje. La fuerza horizontal del viento produce un volcamiento que, descompuesto en sus componentes verticales, aumenta la carga vertical de los piés derechos en el lado opuesto al que el viento actúa. Esta fuerza adicional varia en razon inversa con la distancia entre los apoyos. Como inclinacion de los piés derechos se puede tomar mas o menos 1:5. Para el cálculo de la fuerza del viento siempre hai que considerar dos casos: el puente cargado i el puente sin carga. El último caso da lugar jeneralmente a un anclaje.

Tipos del enrejado: La disposicion del enrejado estáticamente definido tiene que cumplir con las condiciones estáticas que se espresan en la fórmula: $s=2k-n$, siendo s el número de las barras, k el número de los nudos, n el número de condiciones de apoyo (las condiciones para el apoyo fijo son dos, para el apoyo móvil es una). Si esta ecuacion no queda satisfecha, hai que proceder segun la teoria de la deformacion elástica.

En el tipo indicado en la fig. 1, tenemos 3 condiciones de apoyo, 8 nudos i 13 barras, luego $13=2 \times 8-3$ (estáticamente definido).

Las diagonales tienen que ser flexibles i no ríjidas, de modo que actúe sola-

mente una a la vez en cada paño. Tomando ambas barras rígidas tendríamos por cada paño una barra de mas i el cálculo se haria sobre la base de un sistema tres veces estáticamente indefinido. En este tipo el macizo izquierdo recibe la reaccion horizontal del viento i el macizo derecho solamente fuerzas verticales. La determinacion de las fuerzas se hace convenientemente por «cremonas».

En el tipo indicado en la fig. 2, tenemos 19 barras, 3 condiciones de apoyo i 11 nudos, i como $22 - 3 = 19$, el sistema es estáticamente definido. Este tipo se recomienda por la longitud reducida de las barras del enrejado, consistiendo la dificultad del primer tipo en que consulta barras largas flexibles, sin que se dispongan las diagonales de fierro redondo con tuercas especiales para tener las barras en estado de tension.

El tipo de la fig. 3 tambien es estáticamente definido. Existen 10 nudos, 3 condiciones de apoyo, 17 barras. Otro apoyo fijo (al lado derecho) introduciria una fuerza indeterminada en el sistema. La influencia de esta fuerza de empuje, que ambos apoyos fijos recibirian i transmitirian al sistema, se calcula segun la teoria elástica, considerando tambien la influencia de la temperatura.

El tipo de la fig. 4 se nos presenta como dos veces estáticamente indefinido, aplicando la ecuacion anterior, pues tenemos 12 nudos, 4 condiciones de apoyo, 22 barras. Recurriendo a la teoria elástica examinaremos las tres solicitaciones, a saber: fuerzas verticales, temperatura i dilatacion de apoyos. Para solucionar este problema seguiremos el método corriente que consiste en restablecer el equilibrio estático en el sistema, eliminando las indeterminadas, i averiguando en seguida la accion de cada una de éstas separadamente. El equilibrio estático se obtiene reemplazando el apoyo fijo del lado derecho por un apoyo móvil i quitando en el sistema la barra transversal en la mitad de la altura. El procedimiento está caracterizado en sus principales fases en el desarrollo de las ecuaciones del anexo I.

El anclaje se dispone convenientemente en el centro teórico del pié derecho, tomando en cuenta algunas consideraciones que se espondrán mas adelante. La reaccion negativa producida por la accion del viento, multiplicada por un coeficiente de seguridad, nos permite determinar la seccion del ancla, que a su vez debe penetrar a una profundidad conveniente en la albañileria.

Pilas rígidas.—Esta pila está formada por dos pares de entramados, cuyos piés derechos se unen en forma de pirámide o cuña. Hai que tomar precauciones para que no se produzcan torsiones. Por lo tanto hai que disponer en cada piso i especialmente en el plano superior de la pila enrejados horizontales. El cálculo de los esfuerzos en la pila se hace descomponiendo la pila en sus entramados longitudinales i transversales. El cálculo del entramado transversal es el mismo que el indicado arriba tratándose de pilas pendulares. Para el cálculo del entramado longitudinal se considera ademas de las fuerzas verticales i la fuerza del viento, la fuerza del freno, siempre que uno o dos apoyos fijos del tramo esten dispuestos sobre la pila. El pié derecho de la pila puede estar espuesto por consiguiente a fuerzas producidas por la

carga vertical, i a las fuerzas horizontales del viento i del freno. El enrejado del entramado longitudinal tiene por objeto transmitir esta fuerza del freno a los apoyos. Se estudia el sistema de este enrejado desde los mismos puntos de vista mencionados tratándose de pilas pendulares. La disposicion de los cuatro apoyos de la pila debe ser conforme a las condiciones estáticas de los dos sistemas de entramados. No cabe duda que los cuatro apoyos pueden ser del tipo fijo, pero en este caso los macizos todos recibirán no solamente cargas verticales i horizontales exteriores, sino tambien las fuerzas producidas en el sistema por el alargamiento debido a la temperatura i a la deformacion elástica. Conviene, pues, disponer los apoyos de tal manera que las reacciones horizontales disminuyan i se repartan solamente sobre una de las cuatro pilastras de albañileria. Consideremos un sistema con cuatro apoyos fijos (fig. 5). Tenemos en el entramado trasversal, (con dos apoyos fijos) 10 nudos, 4 condiciones de apoyo i 17 barras, luego es indeterminado; en el longitudinal, (con dos apoyos fijos) 11 nudos, 4 condiciones de apoyo i 18 barras, luego es determinado.

En el sistema (fig. 6) cada entramado necesita un apoyo fijo i un apoyo móvil, (véase pilas pendulares); es decir que en A coinciden dos clases de apoyos, pues el punto A tiene que permitir la dilatacion en el sentido trasversal de B hacia A, i tiene que quedar fijo en el sentido longitudinal, siendo la dilatacion en direccion de A hacia C. Para satisfacer estas condiciones estáticas se proveen los rodillos con ranuras, i el eje de la ranura debe estar en el sentido trasversal, de modo que el punto A quede fijo con respecto al punto C i móvil con respecto al punto B. Las características de cada uno de los puntos de apoyo serian:

- Punto B: recibe fuerzas verticales i horizontales de cualquiera direccion;
- Punto A: fuerzas verticales, i las horizontales que actúan segun el eje longitudinal del puente, es decir el frenaje;
- Punto C: solamente fuerzas verticales;
- Punto D: fuerzas verticales, i las horizontales que actúan en direccion normal al puente, es decir fuerza del viento.

El frenaje es, pues, recibido por los apoyos A i B. (A fijo en el sentido longitudinal). El viento es recibido por los apoyos B i D. (D fijo en el sentido trasversal).

Por consiguiente las dimensiones del macizo C serán las mas pequeñas i las del macizo B las mas grandes; A será un macizo rectangular con el lado mayor en el sentido longitudinal, i D un macizo rectangular con el lado mayor en el sentido trasversal.

Los apoyos del punto C deben facilitar la dilatacion en dos sentidos; por este motivo se disponen los rodillos en la direccion de la diagonal. Para evitar una deformacion del cuadro horizontal en el plano de los apoyos, es necesario unir los cuatro puntos entre si por una cruceta de diagonales, salvo el caso en que los apoyos sean todos fijos.

El frenaje produce en el sentido longitudinal un esfuerzo de volcamiento de la pila, análogo a los efectos de la fuerza del viento, si se ha dispuesto uno o dos

apoyos fijos de las vigas principales sobre un entramado longitudinal. Como al tomar en cuenta esta fuerza del freno se aumenta considerablemente la seccion de los piés derechos i el enrejado del entramado longitudinal, i por consiguiente la cantidad del material metálico, tanto mas cuanto mas altura tenga la pila i cuanto mas próximos estén los entramados trasversales, será un problema mui importante para el ingeniero constructor el disponer la trasmision de la fuerza del freno de una manera buena i económica, ya sea por disposiciones especiales de anclaje en los estribos, evitando asi su influencia sobre las pilas, o bien colocando sus puntos de aplicacion sobre pilas que tengan la menor altura, o bien concentrando la accion del freno sobre una sola pila. Todo esto es materia de un estudio especial.

Como los aparatos de apoyo de las pilas desempeñan un papel mui importante por las funciones diversas que desempeñan, como ser la de recibir fuerzas verticales i horizontales simultáneamente con la de permitir la dilatacion i el anclaje, se ha agregado un croquis de un anclaje i el cálculo ilustrativo de la presion de una placa sobre el macizo.

Para que el anclaje dispuesto en el centro teórico del pié derecho no impida la dilatacion de la pila, se intercala en la parte superior, entre la cara superior de la bañileria i el nivel superior de los rodillos del apoyo, un trozo de fierro plano. La menor dimension de esta plancha está orientada en el sentido de la dilatacion. La parte plana tendrá, por supuesto, la misma seccion que la parte redonda embebida en el macizo. Los detalles se desprenden de las figs. 9 a 13. Para demostrar la gran influencia que pueden tener las fuerzas horizontales en el cálculo de la presion de un apoyo, las cuales pueden aumentar la tasa hasta cerca de 100 % con respecto a la tasa producida por fuerzas verticales solas, se acompañan dos cálculos detallados (Anexo II).

Conviene, por consiguiente, emplear como asientos de los apoyos en puentes grandes, en lugar de piedras, que por sus dimensiones i la dureza necesaria son muy difíciles de obtener, parrillas de fierro doble T (perfil ancho), que embebidas en el cuerpo de concreto i con los apoyos firmemente apernados sobre ellas, presentan muchas seguridades para la trasmision correcta de las fuerzas a los macizos. Se interponen para asegurar un descanso uniforme, una plancha de plomo entre la placa i la parrilla. Al hacer referencia a la accion del frenaje que el apoyo trasmite a las fundaciones o a las pilas, respectivamente, se ha supuesto que el tramo mismo ha recibido su correspondiente arriostamiento de frenaje. Especialmente será necesario introducir disposiciones para este fin en los tramos de via superior. La influencia de la fuerza de freno no solo en las cabezas sino tambien en el enrejado se puede estimar por la reaccion vertical que causa una fuerza horizontal que actúa al nivel de los rieles:

$$F = P \frac{h}{l}$$

siendo P la fuerza, h distancia vertical entre el apoyo i el nivel del riel i l la luz. En puentes de via inferior se puede suponer que solamente la cabeza inferior recibe la

fuerza del freno, siendo el valor de h *comparativamente* muy pequeño con respecto al valor de l . El método según el cual se construyen estos arriostramientos contra el frenaje en una forma correcta sería tema de otro artículo.

Dejando estas observaciones jenerales, procedamos a una lijera descripción de los viaductos Tranque i Canelo en la línea férrea de Melipilla a San Antonio.

Tranque.—Para dar la forma jeneral al viaducto fué necesario tomar en cuenta el modo de montaje, que por la gran altura sobre el fondo de la quebrada tuvo que hacerse sin andamio. Era menester también eliminar la acción del freno, que por la misma razón habría ocasionado un gran gasto de material en las pilas. Esta última fuerza se ha concentrado en los estribos por anclajes horizontales; los tramos I i II (fig. 15) están unidos entre sí, de modo que la acción del frenaje sobre ambos tramos es recibida por el estribo izquierdo i la fuerza de freno sobre el tramo III por el estribo derecho. La dilatación se hace sobre la pila derecha. Con respecto al modo de montaje, se ha hecho un andamio bajo el tramo III, empleando los puentes metálicos auxiliares o andamios que el célebre ingeniero Gerber ha ideado i construido i que la casa constructora A. N. emplea en casi todos sus trabajos de puentes. Una vez concluido el montaje del tramo III, se ha hecho una unión apernada entre los extremos superiores de las diagonales consolas, i además se ha apernado una barra horizontal entre los apoyos i reforzado por medio de diagonales para resistir la gran compresión que produce el tramo volante. Hechos estos trabajos preliminares, se ha montado pieza por pieza el tramo del medio, hasta alcanzar la pila I. Concluida la remachadura del tramo, se levantó la flecha i se colocaron los apoyos definitivos. En el mismo sentido se procedió a la armadura del tramo I. La armadura de cada tramo demoró cinco semanas. No hubo ningún percance. Con respecto a las condiciones estáticas de las pilas, debe observarse que el entramado trasversal era definido, que el enrejado del entramado longitudinal no recibe fuerza ninguna por cargas verticales, sino solamente fuerzas muy pequeñas por el viento que puede soplar en la dirección del eje del puente, i que los apoyos han sido dispuestos como se ha indicado más atrás.

Canelo.—Esta construcción era relativamente sencilla; el montaje se hizo sobre andamios metálicos del sistema Gerber. Con respecto a las condiciones estáticas debe observarse que las pilas I, II i IV (fig. 14) tienen que recibir fuerzas de freno por la disposición de los apoyos de los tramos, i que la pila III queda preservada de esta fuerza por tener solamente apoyos móviles de los tramos que descansan sobre ella. Por lo demás no tiene interés desde el punto de vista teórico.

Con lo espuesto en estas páginas se ha tratado de enumerar algunas consideraciones útiles para la construcción de pilas metálicas, las que combinan algunas reglas de teoría con las necesidades de la práctica, i talvez despertarían algún interés, por cuanto muchas indicaciones no se encuentran en libros de enseñanza en una forma directamente aplicable a esta clase de construcciones, pudiendo ser así de algún valor para el ingeniero constructor.

ANEXO I

Sea la pila de la figura 16, con 12 nudos, 22 barras i 4 condiciones de apoyo.

Como indeterminadas consideraremos la reaccion horizontal del apoyo i la accion de la barra (2 — 7). Designémoslas por x_1 i x_2 respectivamente, i sean:

- Δl — alargamiento (0 — 9) en el sentido x_1
 Δs — deformacion elástica en las barras en el sistema indeterminado
 S_0 — tensiones en las barras del sistema determinado
 S_1 — tensiones producidas por la indeterminacion x_1
 S_2 — tensiones producidas por la indeterminacion x_2
 s — largo de las barras
 F — seccion de las barras
 E — coeficiente de elasticidad
 t — variacion de temperatura
 α — coeficiente de dilatacion del fierro para un grado Celsius.

La fuerza final en una barra es:

$$1) \quad S = S_0 + S_1 x_1 + S_2 x_2$$

Las ecuaciones de «trabajo» son:

$$2) \quad \sum \Delta s \frac{\partial S}{\partial x_1} = \Delta l$$

$$\sum \Delta s \frac{\partial S}{\partial x_2} = 0$$

Diferenciando (1) con respecto a x_1 i x_2 tenemos:

$$\partial S = S_1 \partial x_1 \quad S_1 = \frac{\partial S}{\partial x_1}$$

$$\partial S = S_2 \partial x_2 \quad S_2 = \frac{\partial S}{\partial x_2}$$

$$3) \quad \begin{aligned} \sum \Delta s \cdot S_1 &= \Delta l \\ \sum \Delta s \cdot S_2 &= 0 \end{aligned}$$

Como se sabe: $\Delta s = \frac{S s}{E F} + t \alpha s$

resulta: $\Delta s = (S_0 + S_1 x_1 + S_2 x_2) \frac{s}{E F} + t \alpha s$

sea $t \alpha s = P$, luego

$$4) \quad \Delta l = \Sigma \left(\frac{S_0 S_1 s}{E F} \right) + \Sigma \left(\frac{x_1 S_1^2 s}{E F} \right) + \Sigma \left(\frac{x_2 S_1 S_2 s}{E F} \right) + \Sigma (S_1 P)$$

$$0 = \Sigma \frac{S_0 S_2 s}{E F} + x_1 \Sigma \frac{S_1 S_2 s}{E F} + x_2 \Sigma \frac{S_2^2 s}{E F} + \Sigma S_2 P$$

o sea, designando por las letras a, b, c, d, f, g, h, i , las constantes de los distintos términos:

$$\Delta l = a + x_1 b + x_2 c + h$$

$$0 = d + x_1 f + x_2 g + i$$

De donde se deduce:

$$5) \quad x_1 = \frac{(-\Delta l g + a g + h g) - (d c + i c)}{f c - b g} \quad \frac{(-\Delta l f + a f + h f) - (d b + i b)}{g b - c f} = x_2$$

Bastará ahora reemplazar las letras por sus valores, deducidos de las ecuaciones 4).

En el cálculo hai que considerar por separado los valores x_1 i x_2 correspondientes al alargamiento de la distancia entre los apoyos, a la temperatura i a las cargas.

A este respecto, las ecuaciones (5) que dan los valores de x_1 i x_2 se descomponen así:

$$x_1 = \frac{\pm \Delta l g}{f c - b g} + \frac{a g - d c}{f c - b g} \pm \frac{h g - i c}{f c - b g}$$

$$x_2 = \frac{\pm \Delta l f}{g b - c f} + \frac{a f - d b}{g b - c f} \pm \frac{h f - i b}{g b - c f}$$

correspondiendo el primer término a la variación de la distancia entre apoyos, el segundo a las cargas i el tercero a la influencia de la temperatura.

Todos estos valores se determinan para cada especie de carga. Como se ha indicado mas atras, la tensión definitiva de una barra es $S = S_0 + S_1 x_1 + S_2 x_2$. Habiendo obtenido los valores S_0, S_1 i S_2 por medio de un «cremona» i calculado los coeficientes x_1 i x_2 , resulta fácilmente el valor definitivo de las tensiones de las distintas barras.

Este modo de cálculo es bastante demoroso por la gran cantidad de valores aritméticos por calcular, pero tiene prácticamente la gran ventaja de que los resultados así obtenidos corresponden mas a la realidad e importan frecuentemente una gran economía, teóricamente calculable, en el material por emplear. En este tipo de entramado las fuerzas horizontales se transmiten igualmente a los dos apoyos.

En caso de un sistema una vez indeterminado, las fórmulas 1) i 2) quedarían como sigue:

$$S = S_0 + S_1 x_1$$

$$\frac{\Sigma S_1 s}{EF} \cdot \frac{\delta S}{\delta x_1} = 0$$

i diferenciando la primera: $\frac{\delta S}{\delta x_1} = S_1$.

$$\text{luego: } 0 = \Sigma (S_0 + S_1 x_1) \frac{s}{EF} \cdot S_1 = \Sigma \frac{S_0 S_1 s}{EF} + x_1 \Sigma \frac{S_1^2 s}{EF}$$

$$x_1 = \frac{\Sigma S_0 S_1 \frac{s}{F}}{\Sigma S_1^2 \frac{s}{F}}$$

ANEXO II

CALCULO DE LA PRESION DE UNA PLACA DE APOYO SOBRE LA ALBAÑILERIA

Sea (fig. 17): T max = 199^t

T trasversal = 43^t (viento)

T longitudinal = 36^t (freno)

Resultante de las fuerzas horizontales: $R_h = \sqrt{43^2 + 36^2} = 56^t$

$$\text{tg } \alpha = \frac{36}{43} = 0.825; \alpha = 39^\circ 31'; \cos \alpha = 0.771 \text{ i } \sin \alpha = 0.636$$

Resultante total: $R = \sqrt{199^2 + 56^2} = 207^t$

La excentricidad de la resultante con respecto al eje vertical es:

$$\frac{56 \times 0.42}{199} = 0.114 \text{ m.}$$

$$s = \frac{b}{2} (\text{tg } \beta + \text{tg } \alpha) \cos \alpha = \frac{1.10}{2} (1 + 0.825) 0.771 = 0.775 \text{ m.}$$

$$\text{radio del núcleo} = a = \frac{1.10}{6} = 0.183 \text{ m.}$$

D segun el eje de la resultante horizontal:

$$D = \frac{2a}{\cos \alpha} \left(1 - \frac{\text{tg } \alpha \cdot \text{tg } \beta}{\text{tg } \beta + \text{tg } \alpha} \right) = \frac{2 \times 0.183}{0.771} \left(1 - \frac{0.825 \times 1}{1 + 0.825} \right) = 0.258$$

Momento de inercia de la placa $I = 1219 \text{ dm}^4$

$$\frac{I}{V} = \frac{1219}{7.75} = 158 \text{ dm}^3$$

$$\text{fatiga máxima} = \frac{207 \times (1.29 + 1.14)}{158} = 3.18^t/\text{dm}^2$$

$$\text{fatiga uniforme} = \frac{199}{121} = 1.65 \text{ t/dm}^2 = 52\% \text{ de la fatiga máxima.}$$

Ejemplo segundo (figura 18).

$$T \text{ vertical} = 150 \text{ t}$$

$$T \text{ horizontal: freno} = 27 \text{ t}$$

$$T \text{ horizontal: viento} = 14.2 \text{ t}$$

$$\text{Resultante de las fuerzas horizontales: } R_h = \sqrt{27^2 + 14.2^2} = 30.5 \text{ t}$$

$$\text{excentricidad} = \frac{30.5}{150} \times 0.33 = 0.0671$$

$$\tan \alpha = \frac{14.2}{27} = 0.526$$

$$\alpha = 27^{\circ}.18' \dots\dots\dots \begin{cases} \cos \alpha = 0.885 \\ \sin \alpha = 0.466 \end{cases}$$

$$s = 0.495 \text{ m ; } D = 0.176 \text{ m.}$$

$$I_x \text{ (momento inercia segun x)} = 298.7 \text{ dm}^4$$

$$I_y \text{ » » » y) } = 229. \text{ dm}^4$$

$$I_{\alpha} = 244.2 \text{ dm}^4$$

$$\text{Resultante total de las fuerzas: } R = \sqrt{30.5^2 + 150^2} = 153 \text{ t}$$

$$\text{fatiga máxima} = \frac{153 \times (0.88 + 0.67) \times 4.95}{244.2} = 4.8 \text{ t/dm}^2$$

$$\text{fatiga uniforme} = 2.65 \text{ t/dm}^2 = 55\% \text{ de la fatiga máxima}$$

En la misma forma se puede proceder con los macizos, para obtener la presión máxima sobre el suelo.

