

Memoria del proyecto definitivo del puente Longaví

III SECCIÓN KM. 321

Por la Oficina de Puentes del Departamento de Vía y Obras
de los Ferrocarriles del Estado

(Continuación)

Sección C

$$M = 5\,993\,600 \text{ kg. cm.}$$

$$N = 204\,920 \text{ kg.}$$

$$b = 170; \quad d = 25; \quad n \omega_a = 2\,019$$

$$x = \frac{2 n h \omega_a + b \cdot d^2}{2 (n \omega_a + b \cdot d)} = 44 \text{ cm.}$$

$$y = x - \frac{d}{2} + \frac{d^2}{6 (2 x - d)} = 33,15 \text{ cm.}$$

$$Z = D = \frac{M}{h - x + y} = 60\,444 \text{ kg.}$$

$$R_a = \frac{60\,444}{134,6} = 450 \text{ kg.}$$

$$R_a = \frac{60\,444}{134,6} = 450 \text{ kg.}$$

$$R_a = \frac{450,44}{15,66} = 20 \text{ kg./cm.}^2 \text{ (compresión)}$$

sumando esta fatiga con la que resulta de la fuerza normal tenemos:

$$R < 20 + \frac{204\ 920}{15\ 269} = 33,5 \text{ kg./cm.}^2$$

Horquillas

La fatiga que produce el esfuerzo rasante está dado por la fórmula:

$$\tau_o = \frac{T}{b(h - x/3)}$$

Las fatigas que han resultado para los diferentes puntos se indican en el cuadro siguiente:

Punto Esfuerzo de corte máximo.

	Tren	Peso propio	Total	B(h-x/3)	τ_o	
6	25,61	1,22	26,83	12,200	2,20	kg./cm. ²
5	22,38	0,77	23,15	9,240	2,50	»
4	34,62	0,57	35,19	8,140	4,35	»
3	23,30	2,96	25,96	8,150	3,20	»
2	12,53	4,47	17,00	7,540	2,30	»
1	1,88	5,62	7,50	6,840	1,10	»
C	5,22	0,00	5,22	5,940	0,90	»

Se ve que en ningún punto se necesitan horquillas.

Sin embargo por mayor seguridad se pondrán a 40 cm. de distancia y compuestas de 4 brazos de ϕ 1/2".

Adherencia

La fatiga de adherencia es $\theta = F/\pi.\lambda$.

$F = \tau_o . b . \lambda$ es el esfuerzo rasante total.

$S = 40$ cm. es el espaciamiento de las horquillas y π es el perímetro total de las barras tendidas.

Introduciendo el valor de F en la expresión de θ se tiene

$$\theta = \frac{\tau_o \cdot b \cdot \lambda}{\pi \cdot \lambda} = \frac{\tau_o \cdot b}{\pi}; \quad b = 100 \text{ cm.}$$

Para los distintos puntos la adherencia está dada en el cuadro siguiente:

Punto	τ_0	$\tau_0 b$	π	$\theta = \tau_0 b$	
				$\frac{\pi}{\theta}$	kg./cm. ²
6	2,2	220	249,0	0,90	
5	2,5	250	129,6	1,90	»
4	4,35	435	129,6	3,33	»
3	3,20	320	169,5	1,90	»
2	2,30	230	»	1,38	»
1	1,10	110	»	0,65	»
C	0,90	90	»	0,53	»

Influencia de la carga vertical del viento.

Haremos la verificación para la sección 5 del arco de 32, 10 m., por tenerse aquí las fatigas más altas:

$$R_b = 36,5 \text{ kg./cm.}^2$$

$$R_a = 523 \quad \llcorner$$

$$R_n = 82 \quad \llcorner$$

La carga vertical producida por el viento sobre el riel vale.

$$P = \frac{R \cdot h}{e} = \frac{150,3,50^2}{1,66 \cdot 2} = 546 \text{ kg./m.}$$

El momento máximo producido por la carga móvil en la sección cinco se puede deducir de la línea de influencia correspondiente. La posición más desfavorable la ocupa la locomotora sola con 10 toneladas por rueda.

El viento eleva esta carga vertical a

$$10 + 1,40 \cdot 546 = 10,716 \text{ ton.}$$

Esto equivale a un aumento de 7,16 % sobre el momento producido por la carga móvil.

Para la sección cinco el momento total vale 30,15 ton. m., siendo ésta la suma de

Momento	peso propio	28,95 ton.m.
»	carga móvil	51,85 «
»	temperatura	5,36 «
		<hr/>
		80,15 «

El momento total corresponde a una fatiga de 36,5 kg./cm.² para el concreto. Al momento de la carga móvil le corresponderá una fatiga de

$$\frac{36,5 \cdot 51,65}{80,15} = 23,7 \text{ kg./cm.}^2$$

Esta fatiga parcial es aumentada por el viento en un 7,16%. Se tendrá

$$23,7 \cdot 1,0716 = 25,4 \text{ kg./cm.}^2$$

El aumento total de la fatiga será entonces

$$25,4 - 23,7 = 1,7 \text{ kg./cm.}^2$$

La fatiga total del concreto, considerando la influencia del viento, valdrá entonces

$$36,5 + 1,7 = 38,3 \text{ kg./cm.}^2$$

Siendo el porcentaje de aumento = 4,66 %.

Como se ve es inútil hacer una verificación para las demás secciones.

CÁLCULO DE LOS MACHONES.

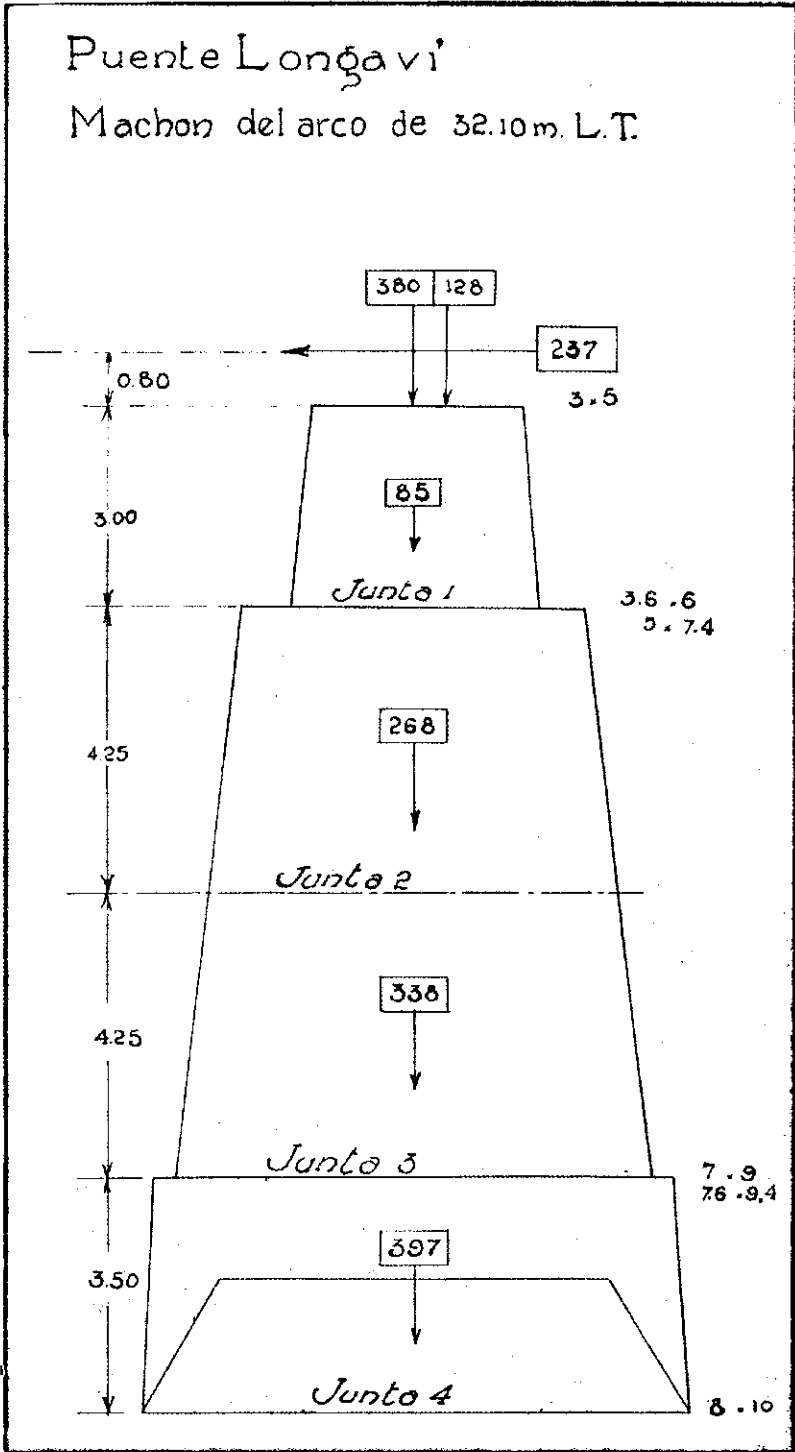
Generalidades.

Calcularemos dos machones: uno para el arco de 32,10 m. de luz teórica y otro para el de 29,24 m.

No se proyectaron machones estribos. Cada machón será verificado de manera que resista el empuje completo de uno de los arcos, suponiendo la caída del otro. En este caso no pasará tren por el puente y el empuje considerado será el del peso propio del arco.

Para no tener dimensiones excesivas en los machones admitiremos tracción en el concreto, para lo cual colocaremos armadura de riel en la zona que trabaja por tracción.

Como caso de sollicitación más desfavorable consideraremos el machón sumergido al nivel de aguas máximas y el tren ocupando la posición que dé el empuje horizontal máximo. Considerando la sub-presión, el peso específico de las albañilerías será de 1,4 ton./m.³



MACHON DEL ARCO DE 32,10 m. DE LUZ TEÓRICA.**Solicitud del peso propio.**

El peso total del arco es de $158,89 \text{ m}^3 \cdot 2,4 \text{ ton./m}^3 = 380 \text{ ton.}$

Este peso produce en ambos apoyos reacciones horizontales y verticales. El machón considerado recibe dos arcos iguales, luego se anulan las reacciones horizontales y la suma de las verticales vale 380 ton.

Ambas reacciones verticales están aplicadas en el extremo de la luz teórica y a 0,5125 m. del eje del machón.

Solicitud de la carga móvil.

El tren ocupa en uno de los arcos la posición que da el empuje horizontal máximo. El valor de este empuje se ha deducido de las líneas de influencia y es:

$$H_T = 222 \text{ ton.}$$

Agregando el frenaje que vale

$$H_F = 15 \text{ ton. encontramos}$$

$$H = 237 \text{ ton.}$$

Esta fuerza obra según la cuerda del arco y a 0,80 m. de altura sobre el machón.

La reacción vertical del tren vale

$$R = 128 \text{ ton.}$$

y obra a 0,5125 m. del eje del machón.

Suma de las dos solicitudes.

La resultante de las reacciones del peso propio pasa por el eje del machón y vale 380 ton.

La reacción vertical producida por el tren vale 128 ton. y obra excéntricamente.

El empuje horizontal es el del tren y vale 237 ton.

Agregando todavía el peso propio del machón hasta la junta por considerar, obtendremos una resultante del sistema de fuerzas. La excentricidad del punto de

aplicación de la resultante en la junta considerada la obtendremos de una ecuación de momentos. Llamando N la componente vertical de esa resultante, las fatigas en los extremos de la junta serán dadas por la fórmula:

$$t_{\max}^{\min} = \frac{N}{\Omega} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{h} \right)$$

se verificaron 4 juntas y se obtuvo una presión sobre el suelo de 5,98 kg./cm.²

Verificación de la estabilidad del machón, en el caso de la caída de un arco

Caido un arco no habrá tren en el puente. La sollicitación será:

1) Reacción vertical igual a la mitad del peso propio del arco, excéntrica de 0,5125 m. R=190 ton.

2) Peso propio del machón, sumergido hasta el nivel de aguas máximas. P=1 088 ton.

3) Empuje horizontal del arco, que obra a 0,80 m. sobre el machón. H=262 ton.

La excentricidad en la base de apoyo será:

$$0 = 262(0,80 + 3 + 12) + 1,088 \cdot e + 190 \cdot (0,5125 + e)$$

$$1\ 278 \cdot e = 4\ 247,2$$

$$e = 3,31 \text{ m.}$$

Las fatigas en la albañilería valdrán:

$$t_{\max}^{\min} = \frac{1\ 278}{80} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 3,31}{8} \right) \text{ ton./m.}^2$$

$$t \text{ compresión } = + 5,57 \text{ kg./cm.}^2$$

$$t \text{ tracción } = - 2,37 \text{ »}$$

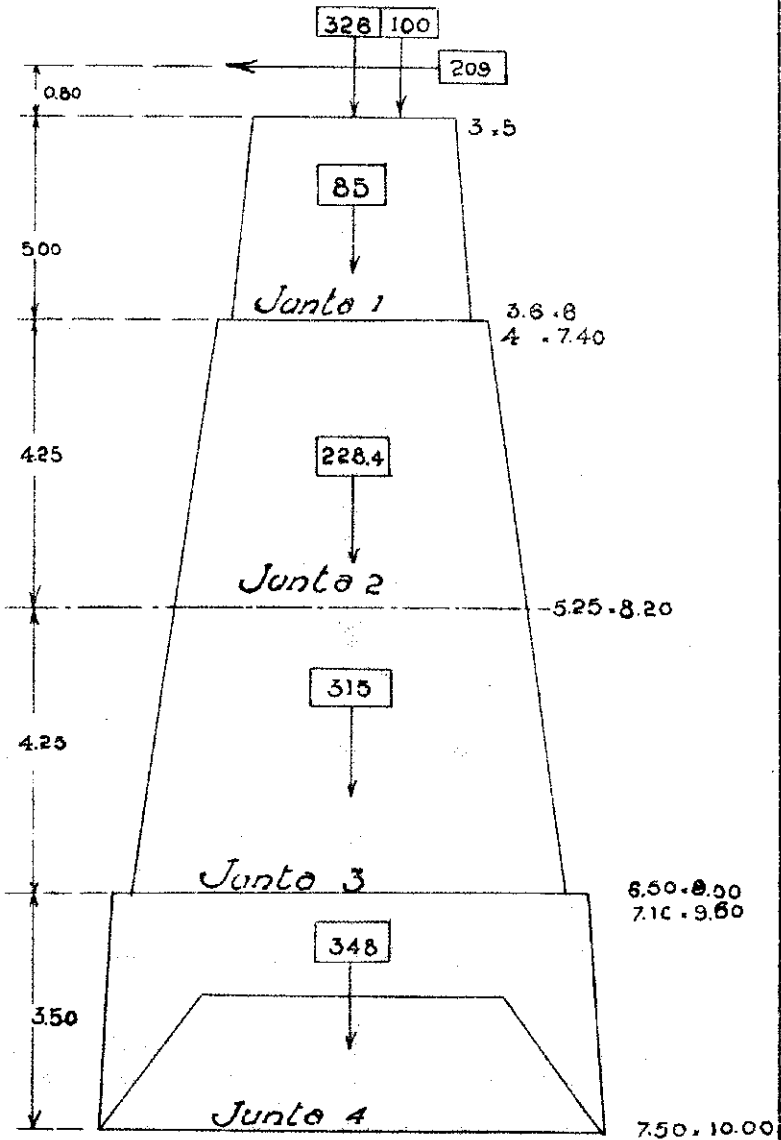
Sin considerar tracción en la superficie de asiento, la fatiga será:

$$t \text{ compresión máxima } = 2 \frac{N}{\Omega}$$

$$\Omega = (8/2 - 3,31) \cdot 3 \cdot 10 = 19,79 \text{ m.}^2$$

Puente Longaví

Machon del arco de 29.24m. L.T



$$N = 1\,278 \text{ ton.}$$

$$t = 2 \cdot \frac{1\,278}{19,79} = 129,8 \text{ ton./m.}^2$$

$$t = 12,98 \text{ kg./cm.}^2$$

Cálculo del machón del arco de 29 24 m. de luz teórica

La teoría general puede verse en el cálculo del otro machón.

Solicitud del peso propio

La resultante de las reacciones verticales de los dos arcos pasa por el eje del machón y vale $R=326$ ton.

La resultante de los empujes horizontales vale 0.

Solicitud de la carga móvil

El tren produce una reacción vertical excéntrica de 0,6025 m. y que vale $R_T = 100$ ton. y un empuje horizontal a 0,80 m. del machón y que vale

$$H_T = 194,6 \text{ ton.}$$

Agregando el frenaje $= 0,15 \cdot 100 = 15$ ton. encontramos

$$H = 209,6 \text{ ton.}$$

Se verificaron 4 juntas y se obtuvo para el suelo una compresión de $6,46 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^2}$

Se verificó también el machón para el efecto del empuje de un arco (caso de caída del otro arco) y se obtuvo para el suelo una compresión de $11,98 \frac{\text{Kg.}}{\text{cm}^2}$

CÁLCULO DEL CAJÓN DE AIRE CORRESPONDIENTE AL ARCO DE 32,10 m.

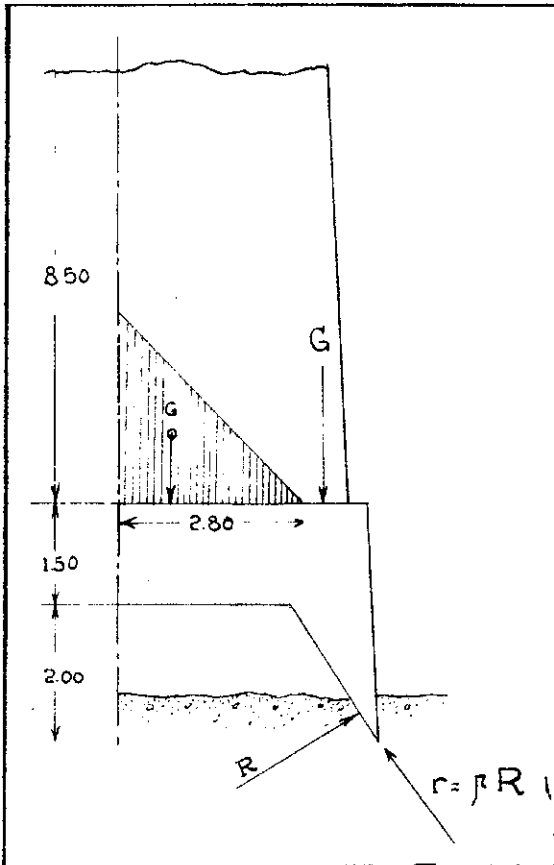
Dimensión: $8 \times 10 \text{ m}^2$

Solicitación.

Está sometido a las acciones del peso de la albañilería, del aire comprimido y del empuje de las tierras. Calcularemos separadamente los efectos.

I) Efecto del peso de la albañilería.

Aceptaremos la hipótesis de que la mayor parte del peso caiga sobre las consolas. Según Brenecke, la losa soportará únicamente la acción del peso de un prisma triangular isósceles cuya base es la indicada en la figura.



Supondremos un estado de equilibrio anterior al movimiento de penetración del cajón. Tendremos una reacción normal R y un esfuerzo de frotamiento $r = \mu$

R, dirigido en sentido contrario al movimiento. Expresando las condiciones de equilibrio tendremos:

Proyectando sobre un eje vertical:

$$g + G = R \operatorname{sen} \alpha + \mu R \cos \alpha$$

$$R = \frac{g + G}{\operatorname{sen} \alpha + \mu \cos \alpha}$$

El peso de la albañilería se ha tomado 1,4 por habersele descontado la sub¹ presión del agua.

Las fuerzas solicitantes tienen por valor:

$$g = 1/2 \cdot 2,80 \cdot 1,4 + 2,8 \cdot 1,5 \cdot 1,4 = 5,5 + 5,9 = 11,4 \text{ ton.}$$

$$G = \frac{3,5 + 2,5}{2} \cdot 8,5 \cdot 1,4 = 5,5 = 30,2 \text{ ton.}$$

$$\operatorname{sen} \alpha = 0,53; \quad \cos \alpha = 0,846; \quad \mu = 0,4$$

$$\operatorname{sen} \alpha + \mu \cos \alpha = 0,8684$$

$$R = \frac{42,6}{0,8684} = 49 \text{ ton.}$$

Momento en el punto 0

$$M_0 = 0,94 g + 3,15 G - (H + \mu h) \cdot R; \quad h = 1,66; \quad \mu h = 0,86$$

$$H + \mu h = 4,91$$

$$M_0 = 0,94 \cdot 11,4 + 3,15 \cdot 30,2 - 4,91 \cdot 49 = 133,1 \text{ ton. m.}$$

Momento en el punto 1

$$g' = \frac{1}{2} \cdot 1,8 \cdot 1,4 + 1,8 \cdot 1,5 \cdot 1,4 = 6,0 \text{ ton.}$$

$$h = 0,85; \quad H = 3,50; \quad H + \mu h = 3,84$$

$$M_1 = 0,6 \cdot 6 + 2,15 \cdot 30,2 - 3,84 \cdot 49 = 123,9 \text{ ton. m.}$$

Momento en el punto 2

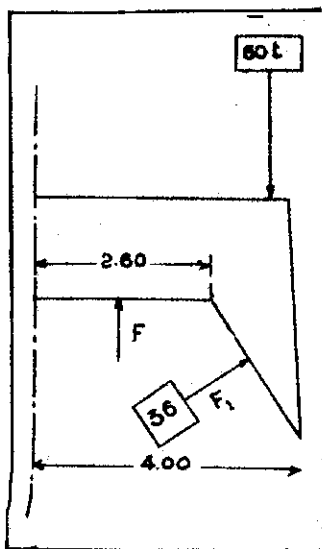
$$h = 0,05; \quad H = 2,90; \quad H + \mu h = 2,92$$

$$M_2 = 1,15 \cdot 30,2 - 2,92 \cdot 49 = 109,5 \text{ ton. m.}$$

Momento en el punto 3

$$g' = 1,3 \cdot 2/2 \cdot 1,4 = 1,8 \text{ ton.}$$

$$M_3 = 0,3 g' - 45 (1,948 - 0,4 \cdot 0,525) = -65,48 \text{ ton. m.}$$

*Momento en el punto 4*

$$M_4 = 0,06 \cdot 1,8 - 49 (1,10 - 0,16) = -46 \text{ ton. m.}$$

Momento en el punto 5

$$M_5 = -49 (0,60 - 0,4 \cdot 0,285) = 21,4 \text{ ton. m.}$$

Efecto producido por el aire comprimido

presión: 1,5 kg./cm.²

El aire comprimido actúa como una fuerza dirigida de abajo hacia arriba con una intensidad de 1,5 kg./cm.² A esta fuerza se opone la resistencia producida por el frotamiento de la pared del cajón contra el terreno.

Considerando una faja de un metro de ancho, la fuerza producida por el aire comprimido, y que trata de levantar el cajón, tiene por valor:

1,5 · 4 = 60 ton.; por lo tanto la reacción vale V = 60 ton.

Para el cálculo de la losa hay que considerar la fuerza F que obra sobre la cara inferior de ella y la fuerza F que actúa sobre las consolas.

$$F_1 = 15 \cdot 2,40 = 36 \text{ ton.}$$

$$M_0 = - 1/2 \cdot 15 \cdot 2,6^2 - 36 \cdot 3,34 + 60 \cdot 3,82 = + 59,3 \text{ ton. m.}$$

$$M_1 = - 1/2 \cdot 15 \cdot 1,6^2 - 36 \cdot 2,75 + 60 \cdot 2,82 = + 51,0 \quad \text{»}$$

$$M_2 = - 1/2 \cdot 15 \cdot 0,6^2 - 36 \cdot 2,18 + 60 \cdot 1,82 = + 28,0 \quad \text{»}$$

$$M_3 = - 0,85 \cdot 36 + 0,65 \cdot 60 = + 8,4 \quad \text{»}$$

$$M_4 = - 1/2 \cdot 15 \cdot 1,6^2 + 0,5 \cdot 60 = 10,8 = + 10,8 \quad \text{»}$$

$$M_5 = - 1/2 \cdot 15 \cdot 1,7^2 + 0,35 \cdot 60 = + 11,9 \quad \text{»}$$

Efecto producido por el empuje de las tierras

El empuje de las tierras se ha determinado por medio de la solución gráfica adjunta. Se tomó como sobrecarga una altura de agua de 4 m., y como densidad de la tierra se adoptó 1,5 y un talud natural de 30°.

Se obtuvo para el cajón un empuje total de 26,99 ton.; los empujes parciales son:

$$Q_1 = 10,75 \text{ ton.}$$

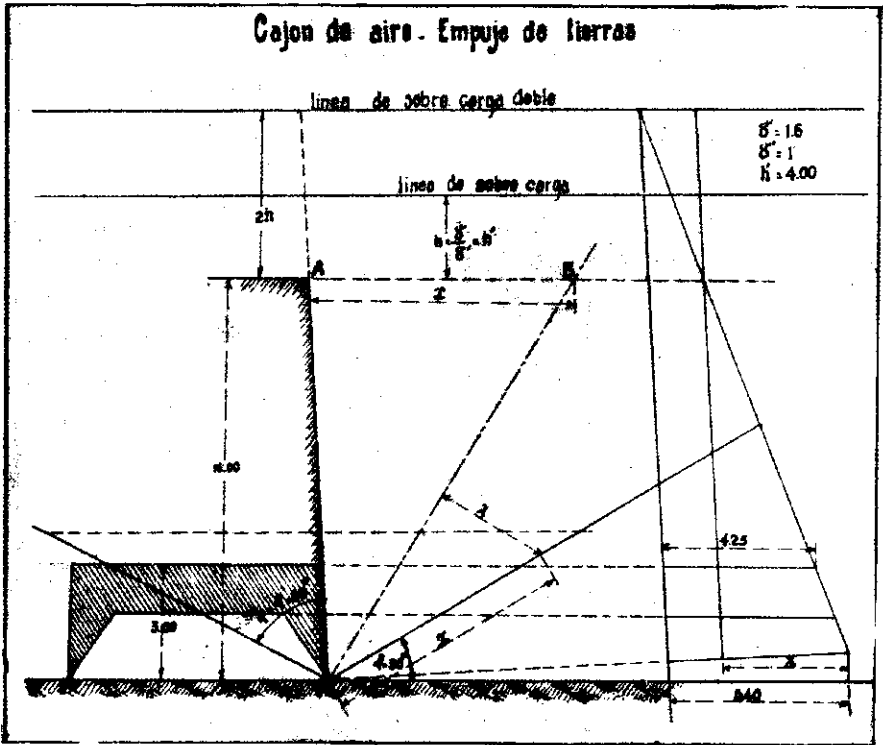
$$Q_2 = 7,84 \quad \text{»}$$

$$Q_3 = 8,40 \quad \text{»}$$

$$Q = 26,99 \text{ ton.}$$

Esta fuerza Q va dirigida de arriba hacia abajo, formando con la pared del cajón el ángulo de frotamiento de la tierra sobre la pared, que se ha considerado

igual al ángulo ($= -30^\circ$) del talud natural. Esta fuerza se descompone en una presión normal y una tangencial. $R = Q \text{ sen } =$



La reacción tiene por valor $R = Q \text{ sen } \phi = 13,7 \text{ ton.}$

Momentos

$$\begin{aligned}
 M_0 &= + 3,07 \cdot 26,99 - 3,82 \cdot 13,7 &= + 30,7 \\
 M_1 &= + 2,50 \cdot 26,99 - 2,82 \cdot 13,7 &= + 28,9 \\
 M_2 &= + 1,94 \cdot 26,99 - 1,82 \cdot 13,7 &= + 26,5 \\
 M_3 &= - 0,65 \cdot 13,70 + 0,8 \cdot 7,84 + 1,67 \cdot 8,4 &= + 11,4 \\
 M_4 &= - 0,50 \cdot 13,70 + 0,3 \cdot 7,84 + 1,2 \cdot 8,4 &= + 5,6 \\
 M_5 &= - 0,35 \cdot 13,70 + 0,7 \cdot 8,4 &= + 1,1
 \end{aligned}$$

Se ha combinado los momentos en las distintas formas en que se puede presentar. Sus valores están en la tabla siguiente. Como se ha considerado la sección del lado derecho, se ha cambiado los signos.

Momentos

Punto	Peso propio	Empuj. de tierra	Aire comp.	Peso	
				tierr.	tier. y a. comp.
0	+ 133,10	- 30,7	- 59,3	+ 102,4	+ 48,5
1	+ 123,90	- 28,9	- 51,0	+ 95,0	+ 44,0
2	+ 109,50	- 26,5	- 8,4	+ 83,0	+ 74,6
3	+ 65,48	- 11,4	- 8,4	+ 54,08	+ 49,68
4	+ 46,00	- 5,6	- 10,8	+ 40,40	+ 29,60
5	+ 15,40	- 1,1	- 11,9	+ 14,3	+ 2,40

(Continuad).