

Puerto de los Alfaques

Un proceso parecido al que ha dado lugar a la formación del anterior ha creado en la zona derecha del delta del Ebro el vasto puerto de los Alfaques, resguardado de todos los temporales y del que pueden abrigarse los mismos temores en cuanto a la posibilidad de cierre de su entrada y colmatado de su in-

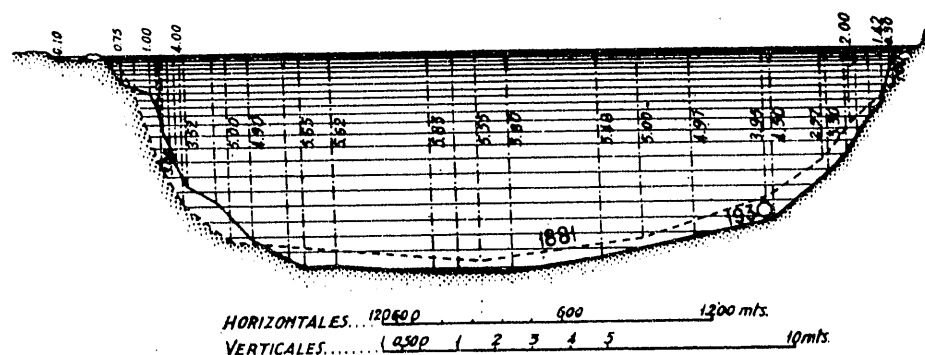


Fig. 14. Perfiles comparados del puerto de los Alfaques

terior. También este puerto ha sido estudiado con gran detalle por la Confederación, y reproducimos en la figura 11, en síntesis, el plano levantado en 1929.

Este plano puede compararse con los de la Comisión Hidrográfica de los años 1811, 1858 y 1881, con lo cual tendremos la historia de este puerto durante un período de 118 años, muy suficiente para darse completa cuenta de la marcha del proceso de su formación. Los planos de las figuras 12 y 13 son tan elocuentes que apenas necesitan explicación. Hasta el año 1858 el crecimiento de la punta del Galacho y el colmatado del interior es muy rápido, continuando en forma análoga, aunque con menor intensidad, hasta el año 1881, en que ya la punta del Galacho tiene una forma muy parecida a la actual. Al adquirir esta configuración, la misma punta dificulta la entrada en el interior de las aguas fluviales, que a lo largo de la costa son empujadas por las corrientes, y las desvía hacia el O., verificándose en estos últimos cuarenta y ocho años el crecimiento, principalmente en la dirección E.-O.; pero, como puede ob-

servarse en el perfil de la figura 14, la profundidad mínima de la entrada no sólo no ha disminuído, sino que ha aumentado algo. Este beneficioso efecto de la punta del Galacho podría aumentarse artificialmente por la construcción de estacadas que avanzasen hacia el mar y produjesen el depósito de las arenas y limos en dirección conveniente, sin permitirles la entrada en el interior del puerto. El peligro de cierre de este puerto es, pues, remoto. En cuanto al colmatado por los desagües de los arrozales que vierten al interior del puerto, puede comprobarse por los planos que no tienen acción apreciable sobre las profundidades, como era de esperar, dada la pequeñez de los arrastres totales. El canal de acceso a este puerto se desarrollaría en general por terreno aceptable.

El plan de navegabilidad del Ebro, estudiado por la Confederación, se completa con una obra de contacto entre la navegación marítima y la fluvial, que hará posible, una vez acondicionado el tramo fluvial, establecer un medio de tráfico económico y de gran capacidad entre el interior de la cuenca y el mar, permitiendo al mismo tiempo un completo aprovechamiento hidroeléctrico del tramo bajo industrial del río y ofreciendo por sí mismo medios económicos de garantizado rendimiento.

No nos extenderemos en más detalles, aunque el tema se presta a ello, y terminaremos con la afirmación, que no creemos demasiado optimista, de que el problema de la salida al mar de la navegación del Ebro, cuyo estudio, gracias a la Confederación, ha salido ya de la fase inicial para entrar en la esfera de posibles realidades, aunque complicado, no es de tan difícil ni costosa solución como se ha supuesto: un canal de unos 10 km de longitud por terreno relativamente fácil y unas obras de acondicionamiento y conservación equivalentes a las de cualquier puerto de pequeña categoría del Mediterráneo, no creemos puedan asustar a nadie, si se tiene en cuenta la magnitud de los beneficios que reportarían.

José CRUZ LÓPEZ
Ingeniero de Caminos

Cálculos de estabilidad de la presa del Burguillo¹

II

Para obtener las expresiones de n_1 estableceremos el equilibrio de los mismos trozos de rebanada, proyectando las fuerzas que sobre ellos actúan, sobre el eje de las x .

Así, hallamos:

Entre

$$x = x_0 \quad \text{y} \quad x = -2$$

$$t_{x_0} \times 2z_0 \times \frac{dx_0}{dy} dy + 2 \int_{x_0}^x t \left(\frac{dz_0}{dy} \right) dy \cdot dx -$$

$$- \int_{x_0}^x \frac{dt}{dy} \cdot dy \times 2z_0 \times dx - n_1 \times 2z_0 \times dy = 0$$

$$n_1 = t_{x_0} \frac{dx_0}{dy} + \frac{1}{z_0} \int_{x_0}^x t \left(\frac{dz_0}{dy} \right) \cdot dx - \int_{x_0}^x \frac{dt}{dy} \cdot dx$$

y como:

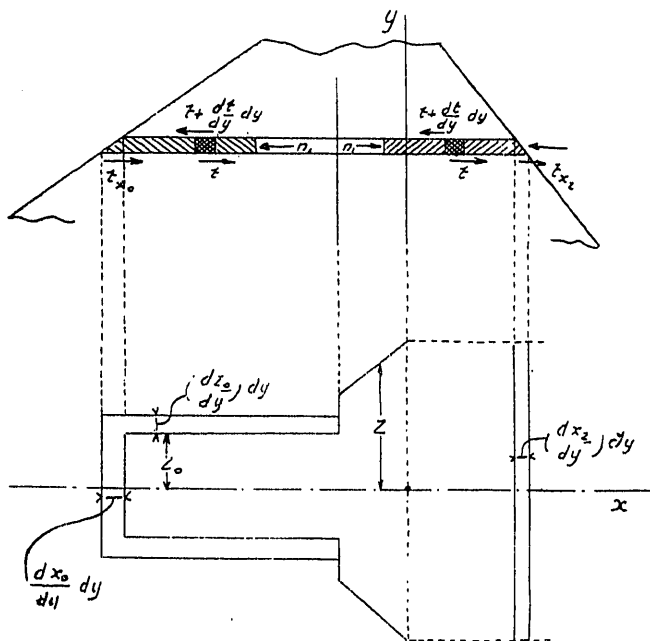
$$t = n_{x_0} \times \frac{dx_0}{dy} + \frac{1}{z_0} \int_{x_0}^x n \left(\frac{dz_0}{dy} \right) \cdot dx -$$

$$- \int_{x_0}^x \frac{dn}{dy} \cdot dx - \pi(x - x_0) \dots \quad t_{x_0} = n_{x_0} \frac{dx_0}{dy}$$

¹ Véase el número anterior, página 417.

$$\frac{dt}{dy} = \frac{dn_{x_0}}{dy} \times \frac{dx_0}{dy} + \left(\frac{dz_0}{dy}\right)^2 \frac{1}{z_0^2} \int_{x_0}^x n \cdot dx - \int_{x_0}^x \frac{d^3n}{dy^2} \cdot dx +$$

$$+ \frac{dz_0}{dy} \times \frac{1}{z_0} \int_{x_0}^x \frac{dn}{dy} \cdot dx + \pi \frac{dx_0}{dy}$$



$$n_1 = n_{x_0} \left(\frac{dx_0}{dy}\right)^2 + \frac{1}{z_0} \left(\frac{dz_0}{dy}\right) \left[n_{x_0} \frac{dx_0}{dy} (x - x_0) + \right.$$

$$+ \frac{1}{z} \left(\frac{dz_0}{dy}\right) \int_{x_0}^x \int_{x_0}^x n \cdot dx - \int_{x_0}^x \int_{x_0}^x \frac{dn}{dy} \cdot dx - \frac{\pi}{2} (x - x_0)^2 \left. - \right]$$

$$- \left[\frac{dn_{x_0}}{dy} \times \frac{dx_0}{dy} (x - x_0) + \left(\frac{dz_0}{dy}\right)^2 \cdot \frac{1}{z_0^2} \int_{x_0}^x \int_{x_0}^x n \cdot dx + \right.$$

$$+ \left(\frac{dz_0}{dy}\right) \cdot \frac{1}{z_0} \int_{x_0}^x \int_{x_0}^x \frac{dn}{dy} \cdot dx - \int_{x_0}^x \int_{x_0}^x \frac{d^3n}{dy^2} \cdot dx + \left. + \pi \frac{dx_0}{dy} (x - x_0) \right]$$

En las que aparecen con signo cambiado los términos en que entra nuevamente la $\frac{dz_0}{dy}$, por ser ésta negativa y tomar su valor absoluto.

Entre

$$x = 0 \quad y \quad x = x_2$$

(a embalse lleno):

$$(26 - y) - t_{x_1} \times \left(\frac{dx_2}{dy}\right) + \int_x^{x_1} \frac{dt}{dy} \cdot dx - n_1 = 0$$

$$n_1 = (26 - y) - t_{x_1} \left(\frac{dx_2}{dy}\right) + \int_x^{x_1} \frac{dt}{dy} \cdot dx$$

a

$$n_1 = - (0,002667 \cdot S - 0,000413) \cdot x^3 - \left(0,16 \cdot \frac{1}{S} + 0,013390\right) x^2 -$$

$$- \left(5,76 \cdot \frac{1}{S} - 2,592 \cdot S + 0,498434\right) \cdot x + \left(31,104 \cdot S - 51,84 \cdot \frac{1}{S} + 27,498982\right)$$

y como

$$t = (26 - y) \cdot \left(\frac{dx_2}{dy}\right) - n_{x_1} \left(\frac{dx_2}{dy}\right) + \int_x^{x_1} \frac{dn}{dy} \cdot dx + \pi (x_2 - x)$$

$$t_{x_1} = (26 - (y + n_{x_1})) \cdot \frac{dx_2}{dy}$$

$$\frac{dt}{dy} = - \left(\frac{dx_2}{dy}\right) - \frac{dn_{x_1}}{dy} \left(\frac{dx_2}{dy}\right) + \int_x^{x_1} \frac{d^3n}{dy^2} \cdot dx - \pi \left(\frac{dx_2}{dy}\right)$$

$$n_1 = (26 - y) - \left(\frac{dx_2}{dy}\right)^2 (26 - y - n_{x_1}) + \left(\left(\frac{dx_2}{dy}\right) \cdot (x - x_2) \cdot \right.$$

$$\cdot \left(\pi + \frac{dn_{x_1}}{dy} + 1\right) + \int_x^{x_1} dx \int_x^{x_1} \frac{d^3n}{dy^2} \cdot dx \left. \right)$$

y entre

$$x = -2 \quad y \quad x = 0$$

$$n_1 = \frac{n_{1,0} + \int_x^0 \frac{dt}{dy} (0,25 \cdot x + 1) \cdot dx}{0,25 \cdot x + 1}$$

$$\frac{dt}{dy} = \frac{\left(\frac{dt}{dy}\right)_0 + \int_x^0 \frac{d^3n}{dy^2} (0,25 \cdot x + 1) \cdot dx}{0,25 \cdot x + 1}$$

$$n_1 = \frac{n_{1,0} - \left(\frac{dt}{dy}\right)_0 \cdot x + \int_x^0 dx \int_x^0 \frac{d^3n}{dy^2} \cdot (0,25 \cdot x + 1) \cdot dx}{0,25 \cdot x + 1}$$

en las que $n_{1,0}$ = valor de n_1 para $x = 0$ obtenido de la anterior, y $\left(\frac{dt}{dy}\right)_0$ = valor de $\frac{dt}{dy}$ para $x = 0$.

Para la sección de base $y = 0$, que es la única a la que la vamos a aplicar, tomaremos como una primera aproximación los valores de $\frac{d^2Q}{dy^2}$ y $\frac{d^2P}{dy^2}$ obtenidos anteriormente, a los cuales, para obtener una nueva aproximación, afectaremos de un coeficiente S a uno y $\frac{1}{S}$ al otro (por haber observado en tanteos previos que uno y otro valor varían en sentido inverso), y determinaremos S con la condición de equilibrio del total de la rebanada, como hacíamos para las primeras derivadas. Es decir, partimos de

$$\frac{d^3n}{dy^2} = -0,016 \cdot x \cdot S - 0,32 \cdot \frac{1}{S}$$

Para la misma sección tenemos:

$$\frac{dn_{x_0}}{dy} = -1,244869 \quad \frac{dn_{x_2}}{dy} = -0,451307$$

y llegamos: entre

$$x = -18 \quad y \quad x = -2$$

Entre:

$$x = -2 \quad y \quad x = 0$$

$$n_1 = \frac{-S \cdot 0,000333 \cdot x^4 - \left(0,002667 \cdot S + 0,013333 \cdot \frac{1}{S}\right) \cdot x^3 - 0,16 \cdot \frac{1}{S} \cdot x^2 + \left(0,23328 \cdot S + 1,728 \cdot \frac{1}{S} + 0,550113\right) \cdot x - \left(0,839808 \cdot S + 4,6656 \cdot \frac{1}{S} - 22,441877\right)}{0,25 \cdot x + 1} \quad [7]$$

Entre:

$$x = 0 \quad y \quad x = 5,4$$

$$n_1 = -0,002667 \cdot S \cdot x^3 - 0,16 \cdot \frac{1}{S} \cdot x^2 - \left(0,23328 \cdot S + 1,728 \cdot \frac{1}{S} + 0,550113\right) \cdot x - \left(0,839808 \cdot S + 4,6656 \cdot \frac{1}{S} - 22,441877\right) \quad [8]$$

Igualados los valores de [6] y [7], para $x = -2$, llegamos a la ecuación:

$$28,522072 \cdot S^2 - 14,244362 \cdot S - 23,650133 = 0$$

de la que despejamos:

$$S = 1,1939$$

Sustituído este valor de S en las [6], [7] y [8], llegamos a las expresiones que nos dan los valores de n_1 en función de x para la sección de base a embalse lleno.

Esos valores son los siguientes:

Entre

$$x = -18 \quad y \quad x = -2;$$

$$n_1 = -0,00277 \cdot x^3 - 0,1474 \cdot x^2 - 2,2284 \cdot x + 21,213$$

entre:

$$x = -2 \quad y \quad x = 0;$$

$$n_1 = \frac{-0,0004 \cdot x^4 - 0,01435 \cdot x^3 - 0,134 \cdot x^2 + 2,276 \cdot x + 17,53}{0,25 \cdot x + 1}$$

y entre:

$$x = 0 \quad y \quad x = 5,4;$$

$$n_1 = -0,003184 \cdot x^3 - 0,134 \cdot x^2 + 2,276 \cdot x + 17,53$$

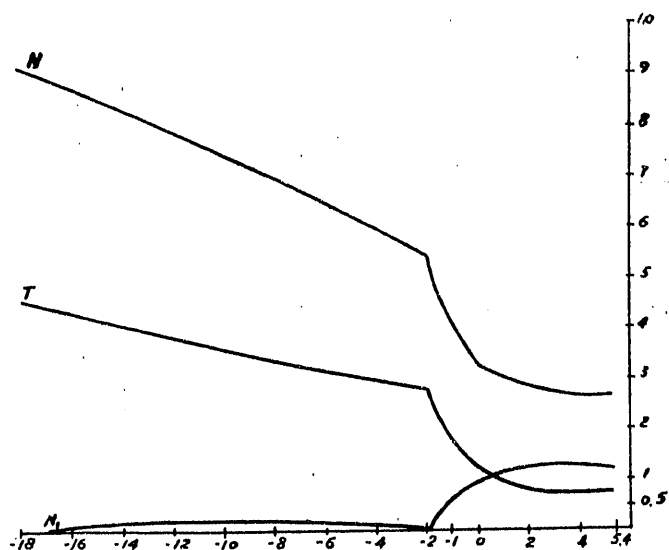
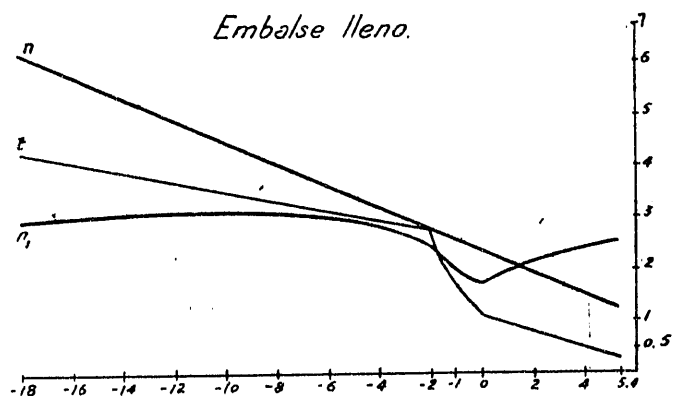
Conocidos los valores de n , t y n_1 en cada punto, los de N , N_1 y T los determinaremos por las fórmulas conocidas:

$$N = \frac{n + n_1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{4 \cdot t^2 + (n - n_1)^2}$$

$$N_1 = \frac{n + n_1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{4 \cdot t^2 + (n - n_1)^2}$$

$$T = \frac{1}{2} \sqrt{4 \cdot t^2 + (n - n_1)^2}$$

Así hemos hallado los valores que figuran en el siguiente cuadro, y con los que han sido trazados los gráficos correspondientes.



Cargas de trabajo en la sección de la base. Escalas: de longitudes, 1: 300; de cargas, 6,6 mm $\times$ 1 kg/cm²

Sección de base: $\gamma = 0$

z	n	n_1	t	$\frac{n+n_1}{2}$	$n-n_1$	N	N_1	T
M	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
— 18	6,200	2,970	4,290	4,585	3,230	9,169	0,000	4,584
— 16	5,776	3,030	4,110	4,403	2,746	8,736	0,070	4,333
— 14	5,352	3,112	3,920	4,232	2,260	8,311	0,153	4,079
— 12	4,928	3,166	3,730	4,047	1,762	7,885	0,209	3,838
— 10	4,504	3,152	3,540	3,828	1,352	7,432	0,224	3,604
— 8	4,080	3,102	3,340	3,591	0,978	6,967	0,215	3,376
— 6	3,656	2,988	3,145	3,322	0,668	6,485	0,159	3,162
— 4	3,231	2,795	2,943	3,013	0,436	5,964	0,062	2,951
— 2	2,807	2,509	2,738	2,658	0,298	5,400	— 0,084	2,742
— 1	2,595	2,018	1,680	2,306	0,577	4,011	0,601	1,705
0	2,383	1,753	1,113	2,068	0,630	3,225	0,911	1,157
2	1,959	2,152	0,789	2,056	— 0,193	2,856	1,256	0,800
4	1,535	2,428	0,484	1,982	— 0,893	2,640	1,324	0,658
5,4	1,238	2,542	0,280	1,890	— 1,304	2,600	1,180	0,710

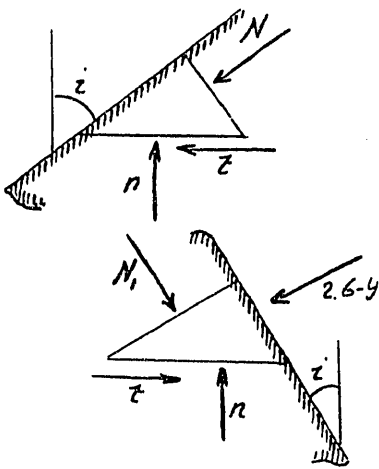
Para obtener los valores de N , N_1 y T en los puntos del paramento, conocido únicamente el valor de n , obtenemos, cuando sobre el paramento no actúa ninguna fuerza:

$$N = n \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 i) \qquad N_1 = 0 \qquad T = \frac{N}{2}$$

y cuando actúa la presión del agua:

$$N = (2,6 - \gamma) \qquad N_1 = \frac{n - (2,6 - \gamma) \cdot \operatorname{sen}^2 i}{\operatorname{cos}^2 i}$$
$$T = \frac{N - N_1}{2}$$

Valiéndonos de estas fórmulas obtenemos los valores que consignamos en el cuadro siguiente, y que han servido para formar los correspondientes gráficos (página 438):



γ	PARAMENTO DE AGUAS ARRIBA							PARAMENTO DE AGUAS ABAJO					
	EMBALSE LLENO				EMBALSE VACIO			EMBALSE LLENO			EMBALSE VACIO		
	n	N	N_1	T	n	N	T	n	N	T	n	N	T
M	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
0	1,238	2,60	1,18	0,71	3,98	4,15	2,08	6,20	9,17	4,58	1,33	1,96	0,98
5	0,97	2,10	0,92	0,59	3,28	3,42	1,71	5,61	8,40	4,20	1,21	1,78	0,89
10	0,75	1,60	0,71	0,45	2,58	2,69	1,35	4,95	7,32	3,66	1,07	1,58	0,79
15	0,58	1,10	0,56	0,27	1,97	2,05	1,03	3,99	5,90	2,95	0,85	1,26	0,63
20	0,56	0,60	0,558	0,02	1,43	1,49	0,75	2,41	3,56	1,78	0,56	0,82	0,41

Vemos que las máximas cargas normales y tangenciales tienen lugar en los paramentos de aguas abajo a embalse lleno; que dichas cargas tangenciales máximas son iguales a la mitad de la de compresión correspondiente, lo mismo que ocurre en las presas de perfil triangular; que la mínima carga de compresión a embalse lleno en el paramento de aguas arriba es mayor del 40 por 100 de la presión del agua, y que, aunque en el interior del macizo existen cargas de tracción en los puntos próximos al acuerdo del contrafuerte con la pantalla, no llegan éstas a valer 0,1 (cien gramos) por centímetro cuadrado, es decir, insignificantes.

Las cargas obtenidas no son exactamente las reales, porque en la presa considerada, por la forma del contrafuerte, tiene lugar un régimen elástico triple,

pero de muy pequeña influencia, y, por tanto, podemos considerarlas como suficientemente aproximadas a las verdaderas.

Suponiendo que, a pesar de estar la presa comprimida en el paramento en contacto con el agua, se agrietase por la sección de base, la grieta podría avanzar a todo el espesor de la pantalla, llegando a salir el agua entre los contrafuertes, y la resultante de las subpresiones vendría a ser igual y opuesta a la componente vertical del empuje.

En ese caso el momento volcador valdría:

$M_v = - 17\,576 \text{ m} \times \text{ton}$

y el estabilizador:

$M_e = 4\,936 + 2\,560 \times 13,52 = 39\,547 \text{ m} \times \text{ton}$

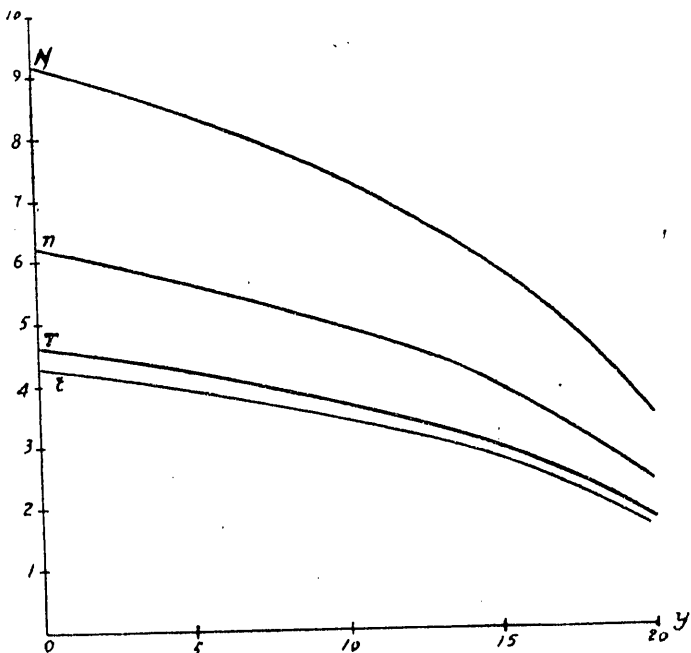
y el coeficiente de estabilidad contra el vuelco:

$$M_e : M_v = 2,25$$

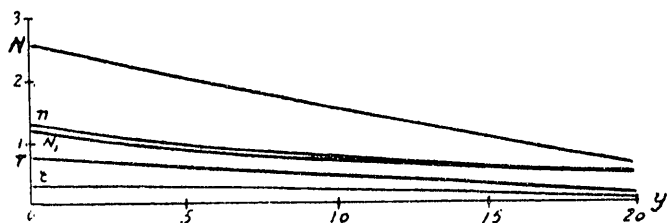
Como podría ocurrir la rotura por aplastamiento del extremo del contrafuerte, veamos cuál es la carga máxima que en este caso se produce:

$$P = 2\,560 \text{ ton}$$

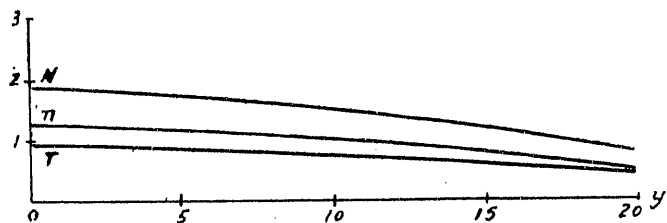
$$M = -17\,576 + 4\,936 = -12\,640 \text{ m} \times \text{ton}$$



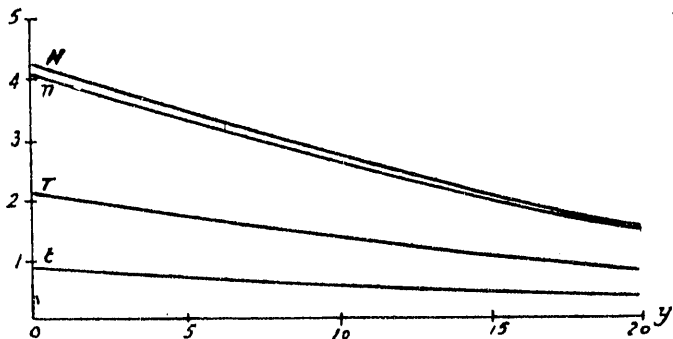
Embalse lleno. Paramento de aguas abajo



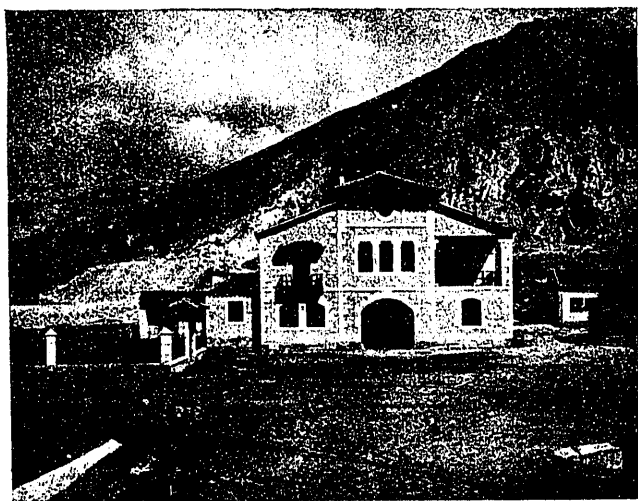
Embalse lleno. Paramento de aguas arriba



Embalse vacío. Paramento de aguas abajo



Embalse vacío. Paramento de aguas arriba
Cargas de trabajo en los paramentos. Escalas: de longitudes, 1:250;
de cargas, 8 mm $\times$ 1 kg/cm²



Casa de la dirección

La distancia a que pasa la resultante, del paramento de aguas abajo

$$\frac{M}{P} = \frac{39\,547 - 17\,576}{2\,560} = 8,58 \text{ m}$$

que es próximamente el extremo del núcleo central, puesto que

$$\rho^2 = \frac{I}{\omega} = \frac{4\,354}{89,4} = 48,7$$

y la distancia de aquél al centro de gravedad

$$X = -\frac{48,7}{9,88} = -4,93 \text{ m,}$$

y, por consiguiente, la distancia al paramento de aguas abajo:

$$13,52 - 4,93 = 8,59 \text{ m}$$

Las cargas que se producirán son:

En el paramento de aguas arriba:

$$n = \frac{2\,560}{89,4} - \frac{12\,640 \times 9,88}{4\,354} = 28,6 - 28,6 = 0$$

y en el de aguas abajo:

$$n = \frac{2\,560}{89,4} + \frac{12\,640 \times 13,52}{4\,354} = 28,6 + 39,2 = 67,8 \text{ ton/m}^2$$

o lo que es lo mismo:

$$6,78 \text{ kg/cm}^2$$

y la máxima carga de compresión:

$$N = 6,78 \times \left(1 + \frac{81}{169}\right) = 6,78 \times \frac{250}{169} = 10,03 \text{ kg/cm}^2,$$

que es perfectamente admisible.

Juan ROMERA
Ingeniero de Caminos