

CONCLUSIONES

Se deduce de cuanto antecede la posibilidad, caso de estimarse conveniente, de proyectar la solera de una presa que desagüe por el fondo o por la superficie, de modo de tener a voluntad régimen lento o rápido. El régimen rápido puede ser más conveniente en todos aquellos casos en que los cauces tengan consistencia para resistir las grandes velocidades del agua que debe circular por ellos.

En el caso de los ensayos del Esla, este régimen determina velocidades de 15 m/s y el régimen lento (después del rulo hidráulico) velocidades que son aproximadamente la tercera parte de las anteriores. Siempre que lo soporte, pues, el cauce, el régimen rápido tiene la ventaja de exigir secciones menores.

El régimen lento puede ser conveniente y hasta necesario en los casos en que se estime socavable el lecho o en que el coste de primer establecimiento

a causa del revestimiento puede resultar muy costoso o de conservación onerosa.

Una guía para esta clase de proyectos la da la expresión (la reproducida en este trabajo) para la formación del resalto; para la formación del rulo, dicha ley es condición necesaria, pero no suficiente de que llegue a formarse o tenga estabilidad con los caudales a considerar.

Se ha visto en los ensayos que la solera XXII, no obstante tener la misma profundidad que la XX, crea rulo, y, en cambio, la otra no lo crea. Es decir, que aun la citada fórmula es insuficiente para proyectos de obras y sigue siendo necesaria la experimentación de hidráulica, para completar las indicaciones que se detallan, de orientación general que permiten las consideraciones teóricas anteriores.

En un próximo artículo nos referiremos a los ensayos realizados para el trazado de conjunto del canal del vertedero.

A. DEL AGUILA

Profesor de la Escuela de C., C. y P.

Presa de contrafuertes¹

III

CÁLCULO DE LAS CARGAS TANGENCIALES

Con objeto de presentar una aplicación de este método desarrollaremos el cálculo para una sección, la de la base, y para las demás secciones consideradas nos limitaremos a dar los resultados.

Sección de la base, profundidad $y = 57$ m.

Las principales características de esta sección, deducidas de las expresiones [1], haciendo en ellas $y = 57$, son:

$$x_1 = 34,20 \quad x_2 = 32 \quad x_3 = 29,50 \quad x_4 = 26 \quad x_5 = -34,20$$

$$Z_0 = 5,00 \quad Z_1 = 2 \cdot x - 47 \quad Z_2 = \frac{1252}{11} - \frac{35}{11} \cdot x$$

$$\frac{dx_1}{dy} = \frac{3}{5} \quad \frac{dx_2}{dy} = \frac{3}{5} \quad \frac{dx_3}{dy} = \frac{97}{170} \quad \frac{dx_4}{dy} = \frac{97}{170}$$

$$\frac{dx_5}{dy} = -\frac{3}{5} \quad \frac{dZ_0}{dy} = \frac{2}{57} \quad \frac{dZ_1}{dy} = -\frac{97}{85} \quad \frac{dZ_2}{dy} = \frac{21}{11}$$

En el cuadro número 1 vemos que las cargas normales verticales para esta sección valen:

$$n = P + Q \cdot x = 98,3267 - 0,91496 \cdot x$$

y llamando n_1 al valor de n para $x = x_1$, n_2 al que tendría para x_2 , etc., resulta:

$$n_1 = 67,0351 \quad n_2 = 69,0480 \quad n_3 = 71,3354 \quad n_4 = 74,5378$$

$$n_5 = 129,6183$$

el valor de $\frac{dn}{dy}$ no le conocemos, y, como ya sabemos, haremos

$$\frac{dn}{dy} = P' + Q'x$$

determinando después P' y Q' .

Aplicando las fórmulas [3] a [7] tendremos:

Desde $x = x_5$ hasta $x = x_4$

$$t = \int_{-34,2}^x (P' + Q'x)dx + \frac{1}{5} \cdot \frac{2}{57} \int_{-34,2}^x (98,3267 - 0,91496 \cdot x)dx +$$

$$+ 129,6183 \cdot \frac{3}{5} - 2,3(x + 34,2)$$

$$t = \left(\frac{1}{2} (P' + 0,00321)x^2 + (P' - 1,60999)x - 584,82Q' + \right.$$

$$\left. + 34,2P' + 26,464383 \right)$$

$$\text{Para } x = x_5 = 34,20 \quad t_5 = 77,77 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Para } x = x_4 = 26,00 \quad t_4 = -246,82Q' + 60,2P' - 17,56558$$

Desde $x = x_4$ hasta $x = x_3$

$$t = \frac{1}{2x - 47} \left[\int_{26}^x (2x - 47)(P' + Q'x)dx - \frac{97}{85} \int_{26}^x (98,3267 - \right.$$

$$\left. - 0,91496 \cdot x)dx - 74,5378 \cdot \frac{97}{170} (5 - 5) - 2,3 \int_{26}^x (2x - 47)dx + \right.$$

$$\left. + (-246,82Q' + 60,2P' - 17,56558) \cdot 5 \right]$$

O sea,

$$t = \frac{1}{2x - 47} \left[\frac{2}{3} Q' \cdot x^3 + (P' - 23,5Q' - 1,7779)x^2 - \right.$$

$$\left. - (47P' + 4,1081)x + 2934,56Q' + 847P' + 1220,86687 \right]$$

$$\text{Para } x = x_4 = 26,00 \quad t_4 = -246,82Q' + 60,2P' - 17,56558$$

En esta sección de la base vemos que resultan iguales t'_4 y t_4 , como debe ser, puesto que en ella no hay discontinuidad para $x = x_4$.

$$\text{Para } x = x_3 = 29,50 \quad t_3 = -33,4493Q' + 27,5625P' - 37,2975$$

¹ Véase el número anterior, página 335.

Desde $x = x_3$ hasta $x = x_2$

$$t = \int_{29,5}^x (P' + Q'x) dx - 2,3(x - 29,5) - 33,4493Q' + 27,5625P' - 37,2975$$

$$t = \frac{1}{2} (P'x^2 + (P' - 2,3)x - 468,5743Q' - 1,9375P' + 30,5525$$

Para $x = x_2 = 32$ $t_2 = 43,4256Q' + 30,0625P' - 43,047511$

Desde $x = x_1$ hasta $x = x_2$

$$t = -\frac{11}{1252 - 35x} \left[\frac{1}{11} \int_x^{34,20} (P' + Q'x) (1252 - 35x) dx + \right. \\ \left. + \frac{21}{11} \int_x^{34,20} (98,3267 - 0,91496x) dx + 5 \frac{3}{5} (67,0351 - 57) - \right. \\ \left. - 57 \frac{21}{11} (34,20 - x) - \frac{2,3}{11} \int_x^{34,20} (1252 - 35x) dx \right]$$

$$t = -\frac{1}{1252 - 35x} \left[\frac{35}{3} (P'x^3 - (626Q' - 17,5P' + 30,64292)x^2 + (-1252P' + 2011,7393)x + 265508,28Q' + 22349,7P' - 32629,1415) \right]$$

Para $x = x_2 = 32$ $t_2 = -51,34556Q' - 1,55833P' - 2,789137$

Para $x = x_1 = 34,20$ $t_1 = -6,021 \text{ ton/m}^2$

Igualando este valor de t_2 con el obtenido anteriormente resulta la siguiente ecuación de condición entre P' y Q' :

$$43,4256Q' + 30,0625P' - 43,047511 = -51,34556Q' - 1,55833P' - 2,789137$$

o sea,

$$94,77125Q' + 31,62083P' - 40,258374 = 0$$

Como ya hemos explicado, supondremos que P' y Q' son parábolas de segundo grado, definidas por los valores que tienen para $y = 45$, $y = 50$ e $y = 57$; valores que se encuentran calculados en el cuadro número 1. Haciendo, pues, $P = Ay^2 + By + C$, se tendrá:

$$2025A + 45B + C = 82,958$$

$$2500A + 50B + C = 89,494$$

$$3249A + 57B + C = 98,327$$

$$A = -0,00378$$

$$B = 1,666$$

$$C = 15,6286$$

Por lo tanto,

$$\frac{dP}{dy} = -0,00756y + 1,666$$

y para la sección que estamos estudiando, en que

$$y = 57 \left(\frac{dP}{dy} \right)_{y=57} = 1,23536$$

Haciendo lo mismo con Q , resultará:

$$Q = Ay^2 + By + C$$

$$2025A + 45B + C = -1,092$$

$$2500A + 50B + C = -1,009$$

$$3249A + 57B + C = -0,915$$

$$A = -0,00027357$$

$$B = 0,042678$$

$$C = -2,4588$$

$$\frac{dQ}{dy} = -0,00054715y + 0,042678$$

$$\left(\frac{dQ}{dy} \right)_{y=57} = 0,01149$$

Teniendo estos valores aproximados de P' y Q' haremos:

$$P' = \frac{1}{R} \cdot 1,23536 \quad Q' = R \cdot 0,01149$$

Y sustituyéndolos en la ecuación de condición antes encontrada quedará:

$$1,08892R^2 - 40,258374R + 39,063112 = 0$$

$$R = 0,9972$$

Luego, $P' = 1,23883$ y $Q' = 0,01146$.

Sustituyendo estos valores en las expresiones encontradas de t quedará:

Desde $x = x_5$ hasta $x = x_4$

$$t = 0,00252x^2 - 0,37116x + 62,1303$$

Para $x = x_5 = 34,20$ $t_5 = 77,77 \text{ ton/m}^2$

Para $x = x_4 = 26,00$ $t_4 = 54,18 \text{ ton/m}^2$

Desde $x = x_1$ hasta $x = x_3$

$$t = \frac{1}{2x - 47} (0,00764x^3 - 0,808415x^2 - 62,333126x + 2303,7860)$$

Para $x = x_4 = 26$ $t_4 = 54,18 \text{ ton/m}^2$

Para $x = x_3 = 29,50$ $t_3 = -3,54 \text{ ton/m}^2$

Desde $x = x_3$ hasta $x = x_2$

$$t = 0,00573x^2 - 1,06117x + 22,782394$$

Para $x = x_3 = 29,50$ $t_3 = -3,54 \text{ ton/m}^2$

Para $x = x_2 = 32,00$ $t_2 = -5,31 \text{ ton/m}^2$

Desde $x = x_1$ hasta $x = x_2$

$$t = -\frac{1}{1252 - 35x} (0,1337x^3 - 16,137555x^2 + 460,72414x - 1898,93776)$$

Para $x = x_2 = 32,00$ $t_2 = -5,31 \text{ ton/m}^2$

Para $x = x_1 = 34,20$ $t_1 = -6,02 \text{ ton/m}^2$

CÁLCULO DE LAS CARGAS NORMALES HORIZONTALES

A las principales características de la sección que estamos calculando se pueden agregar las siguientes:

$$\frac{dn}{dy} = P' + Q'x = 1,23883 + 0,01146x$$

La derivada de una n particularizada para un punto se puede hallar en la siguiente forma; por ejemplo:

$$\frac{dn_2}{dy} = \frac{d}{dy} (P + Qx_2) = P' + Q'x_2 + Q \frac{dx_2}{dy}$$

aplicando esta fórmula resulta:

$$\frac{dn_1}{dy} = 1,081786$$

$$\frac{dn_2}{dy} = 1,056574$$

$$\frac{dn_3}{dy} = 1,014725$$

$$\frac{dn_4}{dy} = 1,054835$$

$$\frac{dn_5}{dy} = 1,395874$$

El valor de $\frac{d^2n}{dy^2}$ lo haremos igual $P'' + Q''x$, en

la cual P'' y Q'' son desconocidos y los calcularemos después.

Con esto tenemos todas las cantidades que intervienen de las fórmulas [7] a [10], que aplicándolas resulta:

Desde $x = x_5$ hasta $x = x_4$

$$n' = \frac{1}{5} \left[5 \int_{-34,20}^x dx \int_{-34,20}^x (P'' + Q''x) dx + \right. \\ + 2 \cdot \frac{2}{57} \int_{-34,20}^x dx \int_{-34,20}^x (1,23883 + 0,01146x) dx - \frac{2}{57} \cdot 2,3 \cdot \\ \cdot \frac{1}{2} (x + 34,2)^2 + (x + 34,2) \left[-2 \cdot 5 \cdot \left(-\frac{3}{5}\right) \cdot 1,395874 - \right. \\ \left. - 2 \cdot 129,6183 \cdot \frac{2}{57} \cdot \left(-\frac{3}{5}\right) + 5 \cdot 2,3 \cdot \left(-\frac{3}{5}\right) \right] + \\ \left. + 5 \cdot 129,6183 \cdot \left(\frac{3}{5}\right)^2 \right]$$

o sea,

$$n' = \left(\frac{1}{6} Q'' + 0,000026807 \right) x^3 + (0,5 P'' + 0,0006234) x^2 + \\ + (34,2 P'' - 584,82 Q'' + 1,335146) x - 13333,896 Q'' + \\ + 584,82 P'' + 92,66779$$

$$\text{Para } x = x_5 = -34,20 \quad n'_5 = 46,66 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Para } x = x_4 = 26,00 \quad n'_4 = -25609,8827 Q'' + 1812,02 P'' + \\ + 128,274149$$

Desde $x = x_4$ hasta $x = x_3$

$$n' = \frac{1}{2x-47} \left\{ \int_{26}^x dx \int_{26}^x (P'' + Q''x) (2x-47) dx - \right. \\ - 2 \cdot \frac{97}{85} \int_{26}^x dx \int_{26}^x (1,23883 + 0,01146x) dx + \\ + (x-26) \left[5 \int_{-34,20}^{26} (P'' + Q''x) dx + 2 \cdot \frac{2}{57} \int_{-34,20}^{26} (1,23883 + \right. \\ + 0,01146x) dx + \frac{1}{2} \cdot 2,3 \cdot \frac{97}{85} (x-26) + \frac{97}{170} \left[\left(2 \cdot \frac{2}{57} + \frac{97}{85} \right) \cdot \right. \\ \cdot 74,5378 \left. \right] + \frac{3}{5} \left[2 \cdot \left(5 \cdot 1,395874 + \frac{2}{57} \cdot 129,6183 \right) - 5 \cdot 2,3 \right] - \\ \left. - 2,3 \cdot \frac{2}{57} \cdot 60,2 \right] + 5(-25609,8827 Q'' + 1812,02 P'' + \\ + 128,274149) \left. \right\}$$

o sea,

$$n' = \frac{1}{2x-47} \left[\frac{1}{6} Q'' x^3 + \left(\frac{1}{3} P'' - 7,8333 Q'' - 0,004359 \right) x^2 - \right. \\ - (23,5 P'' + 0,10137) x^2 + (2934,56667 Q'' + 847 P'' + \\ + 72,74083) x - 142832,14667 Q'' - 2934,5667 P'' - 1104,7452 \left. \right]$$

$$\text{Para } x = x_4 = 26,00 \quad n'_4 = -25609,8827 Q'' + 1812,02 P'' + \\ + 128,274145$$

$$\text{Para } x = x_3 = 29,50 \quad n'_3 = -10928,3492 Q'' + 846,543 P'' + \\ + 70,081493$$

Vemos que los valores de n'_4 y n'_5 resultan iguales, como debe ser, puesto que en esta sección de la base no hay discontinuidad para la abscisa $x = x_4$.

Desde $x = x_3$ hasta $x = x_2$

$$n' = \int_{29,5}^x dx \int_{29,5}^x (P'' + Q''x) dx + \frac{1}{2} (x-29,5) \left[\int_{26}^{29,5} (P'' + Q''x) \right. \\ (2x-47) dx - 2 \cdot \frac{97}{85} \int_{26}^{29,5} (1,23883 + 0,01146 \cdot x) dx + \\ + 5 \int_{-34,20}^{26} (P'' + Q''x) dx + 2 \cdot \frac{2}{57} \int_{-34,20}^{26} (1,23883 + 0,01146 \cdot x) dx + \\ + \frac{97}{170} \left(2 \cdot \frac{2}{57} + \frac{97}{85} \right) \cdot 74,5378 + \frac{3}{5} \left(2 \cdot 5 \cdot 1,395874 + \right. \\ + 2 \cdot 129,6183 \cdot \frac{2}{57} - 2,3 \cdot 5 \left. \right) - 71,3354 \cdot \frac{97}{170} \cdot \frac{97}{85} + \\ + 2,3 \cdot \frac{97}{85} \cdot 3,50 - 2,3 \cdot \frac{2}{57} \cdot 60,2 \left. \right] - 10928,3492 Q'' + \\ + 846,543 \cdot P'' + 70,081493$$

o sea,

$$n' = \frac{1}{12} [2 Q'' \cdot x^3 + 6 P'' \cdot x^2 - (5622,89167 Q'' + 23,25 P'' - \\ - 8,929461) x - 16609,63625 Q'' + 5622,89167 \cdot P'' + 577,558806]$$

$$\text{Para } x = x_3 = 29,50 \quad n'_3 = -10928,3492 Q'' + \\ + 846,543 \cdot P'' + 70,081493$$

$$\text{Para } x = x_2 = 32,00 \quad n'_2 = \frac{1}{12} (-131006,16958 Q'' + \\ + 11022,89167 P'' + 863,301568)$$

Desde $x = x_1$ hasta $x = x_2$

$$n' = \frac{11}{1252-35x} \left\{ \frac{1}{11} \int_x^{34,2} dx \int_x^{34,2} (P'' + Q''x) (1252-35 \cdot x) dx + \right. \\ + 2 \cdot \frac{21}{11} \int_x^{34,20} dx \int_x^{34,20} (1,23883 + 0,01146x) dx - \frac{1}{2} \cdot 3,3 \cdot \frac{21}{11} \cdot \\ \cdot (34,2-x)^2 + \frac{3}{5} \cdot (34,2-x) \left[\frac{21}{11} (67,0351-57) + \right. \\ + 2 \cdot 5 \cdot 1,081786 - 5 \cdot 3,3 \left. \right] + 5 \cdot (67,0351-57) \cdot \left(\frac{3}{5}\right)^2 + \\ \left. + \frac{1252-35x}{11} \cdot 57 \right\}$$

o sea,

$$n' = \frac{11}{1252-35x} [-0,265151 Q'' x^4 + (18,969697 Q'' - \\ - 0,530303 P'' + 0,007292727) x^3 + (56,90909 P'' - \\ - 0,7849609) x^2 - (24137,11636 Q'' + 2031,790909 P'' + \\ + 161,347373) x + 429412,0598 Q'' + 24137,11636 P'' + \\ + 6447,543603]$$

$$\text{Para } x = x_2 = 32,00 \quad n'_2 = \frac{1}{12} (591,851333 Q'' + \\ + 17,74667 P'' + 719,59588)$$

$$\text{Para } x = x_1 = 34,20 \quad n'_1 = 60,61 \text{ ton/m}^2$$

Igualando los dos valores encontrados para n'_2 tendremos la siguiente ecuación de condición entre P'' y Q'' :

$$-131598,02 \cdot Q'' + 11005,145 \cdot P'' + 143,70569 = 0$$

Si suponemos para P y Q las leyes de variación parabólicas deducidas en el cálculo de las cargas tangenciales, tendremos:

$$\frac{d^2 P}{dy^2} = -0,00756 \quad \frac{d^2 Q}{dy^2} = -0,000547$$

Aplicando, como antes, un coeficiente de corrección R a estos valores, haremos:

$$(\rho'' = -0,000547 \cdot \frac{1}{R} \quad \rho''' = -0,00756 \cdot R$$

y sustituyendo en la anterior ecuación de condición, queda:

$$83,198896R^2 - 143,70569R - 71,984117 = 0$$

$$R = 2,1329$$

Así que,

$$(\rho'' = -0,0002565 \quad \text{y} \quad \rho''' = -0,0161247$$

Entrando con estos valores en las expresiones deducidas para n' , tendremos:

Desde $x = x_5$ hasta $x = x_4$

$$n' = -0,0000159x^3 - 0,007439x^2 + 0,93369x + 86,65789$$

$$\text{Para } x = x_5 = -34,20 \quad n'_5 = 46,66 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Para } x = x_4 = 26,00 \quad n'_4 = 105,62 \text{ ton/m}^2$$

Desde $x = x_4$ hasta $x = x_3$

$$n' = \frac{1}{2x-47} (-0,00004275x^4 - 0,0077249x^3 + 0,27756x^2 + 58,33049x - 1020,789746)$$

$$\text{Para } x = x_4 = 26,00 \quad n'_4 = 105,62 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Para } x = x_3 = 29,50 \quad n'_3 = 59,23 \text{ ton/m}^2$$

Desde $x = x_3$ hasta $x = x_2$

$$n' = \frac{1}{12} (-0,000513x^3 - 0,096748x^2 + 10,74663x + 491,151736)$$

$$\text{Para } x = x_3 = 29,50 \quad n'_3 = 59,23 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Para } x = x_2 = 32,00 \quad n'_2 = 59,93 \text{ ton/m}^2$$

Desde $x = x_1$ hasta $x = x_2$

$$n' = \frac{11}{1252 - 35x} (-0,00006801x^4 + 0,010978x^3 - 1,702603x^2 - 122,39418x + 5948,1957)$$

$$\text{Para } x = x_2 = 32,00 \quad n'_2 = 59,93 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Para } x = x_1 = 34,20 \quad n'_1 = 60,61 \text{ ton/m}^2$$

Con todo lo que llevamos dicho se pueden conocer para cualquier punto de la sección de la base n , n' y t ; así que, aplicando las fórmulas [11] a [15], se calcularán: N , carga normal máxima y N' , carga normal mínima; T , carga tangencial máxima; θ , ángulo que define las direcciones principales, y $(T - N \operatorname{tg} \varphi)_{\max}$, deslizamiento efectivo máximo.

Con los resultados obtenidos hemos formado el cuadro núm. III, y en él se ve que la máxima carga normal tiene lugar en el paramento de aguas arriba y vale 17,63 kg/cm², y varía muy poco, hasta llegar a la unión del contrafuerte con la cabeza, en la abscisa 26, que vale 14,65 kg/cm²; sufre después un descenso rápido, y se mantiene alrededor de los 7 kilogramos por centímetro cuadrado en la parte de la cabeza. La carga normal máxima N' vemos que empieza siendo nula en el paramento de aguas abajo, y después de pasar por un máximo de 3,45 kg/cm² aproximadamente, disminuye, hasta que al llegar a la

unión del contrafuerte con la cabeza, en la abscisa 26, vale 3,37 kg/cm². Después sufre un ascenso rápido, y se mantiene alrededor de los 5,8 kg/cm² en el resto de la cabeza. Vemos, pues, que no hay ninguna tracción en esta sección de la base, y se observa también que los puntos peligrosos son: el del paramento de abajo, pues en él puede llegar la compresión máxima a un valor mayor que el admisible, y el de unión del contrafuerte con la cabeza, puesto que pudiera ocurrir que tanto descendiera la compresión mínima N' , después de alcanzar su máximo, que se llegase a tener tracciones en este punto.

Las cargas de deslizamiento efectivo máximo vemos que son pequeñas, teniendo su mayor valor en el paramento de aguas abajo, donde llega a 4,59 kilogramos por centímetro cuadrado; al llegar a un punto, ya dentro de la cabeza, toman valores negativos, lo que indica que es mayor la resistencia debida a la compresión que la carga tangencial; por lo tanto, no interesan estos valores negativos.

Este mismo estudio, que define completamente el régimen de trabajo en los puntos de la base, lo hemos repetido para las secciones horizontales a profundidades de 45, 30, 15 y 6 m, reuniéndose sus resultados en los cuadros IV a VII que presentamos. También hemos hecho el estudio de la sección base a embalse vacío, y sus resultados se presentan en el cuadro núm. VIII, no aplicándose a más secciones, pues se ve que con el embalse vacío las condiciones de resistencia del elemento son más que suficientes.

Con el fin de reunir todos los resultados obtenidos en este cálculo hemos trazado algunas representaciones gráficas, que presentamos al final de este artículo.

En la hoja adjunta, I, están indicadas todas las fuerzas que actúan sobre el elemento cabeza-contrafuerte a embalse lleno y hecha su composición; todas las magnitudes indicadas están tomadas, o se deducen muy fácilmente, del cuadro I. Vemos que la fuerza estabilizadora se compone de dos sumandos: el peso propio de la obra, que vale 24 702,7 toneladas, y el peso del agua que insiste sobre el paramento, y que vale 11 566,8 ton; el esfuerzo solicitante es el empuje del agua, que vale 19 494 ton.

Luego el coeficiente de deslizamiento en la base será:

$$C = \frac{19494}{24702,7 + 11566,8} = 0,537$$

Valor que puede considerarse como pequeño, puesto que en las presas de gravedad se admiten hasta valores de 0,70.

Si tomamos los momentos de estas tres fuerzas con relación al extremo de aguas abajo, tendremos un momento volcador, debido al empuje del agua, que valdrá:

$$M_v = 19494 \cdot 19 = 370384 \text{ m. ton}$$

y un momento resistente, debido al peso del agua y al peso propio, que valdrá:

$$M_r = 11566,8 \cdot 56,59 + 24702,7 \cdot 37,02 = 654565 + 914494 = 1569059 \text{ m. ton}$$

luego tendremos un coeficiente de resistencia al vuelco:

$$\frac{M_r}{M_v} = \frac{1569059}{370384} = 4,23$$

valor más que suficiente para garantizar la estabilidad del conjunto.

En esta representación gráfica de los esfuerzos y en estos cálculos precedentes no hemos tenido en cuenta la subpresión que podría considerarse actuando en la cabeza. Dada la forma de éstas se comprende que la zona en que podría actuar sería muy reducida, y fácilmente se ve cuál sería su influencia.

En efecto, si suponemos que en toda la cabeza actúa la subpresión total con su valor de 57 ton/m^2 , como el área de aquélla es de $78,45 \text{ m}^2$, será una fuerza dirigida hacia arriba que valdrá:

$$57 \cdot 78,45 = 4471,6 \text{ ton};$$

luego el coeficiente de deslizamiento será:

$$C = \frac{19494}{24702,7 + 11566,8 - 4471,6} = 0,61$$

valor perfectamente admisible.

Si, además, suponemos este esfuerzo de la subpresión concentrado en la arista del paramento de aguas arriba, producirá un momento volcador de

$$4471,6 \cdot 68,4 = 305857 \text{ m. ton};$$

luego el coeficiente de resistencia al vuelco será:

$$\frac{1569059}{370384 + 305857} = 2,32$$

valor que también es admisible.

Desde luego que estas condiciones tan desfavorables nunca se darán en la práctica, pues no es posible toda el área de la cabeza sometida a la subpresión total, ni ésta será una fuerza concentrada en la arista de aguas arriba. Si nos fijamos en los valores encontrados para las compresiones máximas en el paramento de aguas arriba vemos que, a partir de los 19,40 metros de profundidad, es mayor la máxima compresión que la presión del agua, siendo, para la base, 7 kg/cm^2 el valor de aquélla, y $5,7 \text{ kg/cm}^2$ el de ésta; se cumple con exceso la condición de Levy y no puede haber subpresión.

En la hoja adjunta, II, hemos hecho una representación de las máximas y mínimas cargas normales que hemos calculado, y que han resultado siempre compresiones, excepto una pequeñísima tracción en la sección a la profundidad $y = 6$ metros.

Examinando las compresiones en el paramento de aguas arriba vemos lo que ya hemos dicho, y es que hasta los 19,40 metros de profundidad no llega a cumplirse la condición de Levy; en los 19,40 metros se cumple exactamente, y de esta profundidad en adelante se cumple con exceso, excediendo en la base la máxima compresión, en un 24 por 100 a la presión del agua.

Examinando las curvas de compresión máxima trazadas se ve que todas ellas acusan unos valores de aquélla bastante uniformes en el contrafuerte; luego, un descenso rápido en las cartelas de la cabeza y unos valores prácticamente constantes en el resto de la cabeza; es decir, que en una sección horizontal se tienen dos valores bien distintos de la compresión máxima: uno a lo largo del contrafuerte,

y otro para la cabeza, que es algo menor que la mitad de aquél. El enlace de estos dos se verifica en las cartelas, única parte de la sección sometida a una compresión máxima muy variable.

Las curvas de compresión mínima vemos que también tienen todas ellas el mismo aspecto. Parten de cero en el paramento de aguas abajo, van tomando valores crecientes a lo largo del contrafuerte, hasta que llegan a un máximo, para luego decrecer hasta llegar a las cartelas, donde crecen rápidamente, para alcanzar el valor prácticamente constante que conservan en el resto de la cabeza. Se comprende que los puntos peligrosos serán los de unión del contrafuerte con las cartelas, pues podría ocurrir que estas curvas, después de alcanzar su máximo, decrecieran tanto que al llegar a la cartela tuvieran ya valores negativos, lo que indicaría tracciones en estos puntos. Vemos que con el tipo proyectado no ocurre esto y siempre se tienen compresiones en dichos puntos, excepto para la sección que está a 6 metros de profundidad, donde se tiene una tracción de $0,007 \text{ kg/cm}^2$, valor tan pequeño que no merece la pena tenerle en cuenta.

En la figura III de la misma hoja hemos hecho un trazado aproximado de las curvas de igual compresión máxima, valiéndose, para hacerlo, de las curvas trazadas en el gráfico anterior. Vemos que, a causa de la escasa variación de la compresión máxima en una sección longitudinal del contrafuerte, las curvas son muy tendidas en éste, teniendo, en cambio, una pendiente muy fuerte en las cartelas, para continuar después bastante tendidas en el resto de la cabeza.

En la figura IV hemos representado las cargas de deslizamiento efectivo máximo para las cinco secciones estudiadas. Vemos que sus valores son siempre pequeños, y que en la mayor parte de las cabezas tienen valores negativos, lo que indica que es mayor la compresión multiplicada por el coeficiente de rozamiento del material que la carga tangencial, o sea que no hay esfuerzo de deslizamiento efectivo.

Téngase en cuenta, además, que hemos supuesto un coeficiente de rozamiento $\text{tg } \varphi = 0,70$, correspondiendo a $\varphi = 45^\circ$, mientras que hoy se admite para el hormigón un coeficiente de rozamiento $\text{tg } \varphi = 0,75$, con lo cual resultan bastante menores las cargas de deslizamiento efectivo máximo.

En la figura V hemos trazado, para diversos puntos de las cinco secciones estudiadas, las direcciones principales, en la primera figura, y las direcciones en que tienen lugar los deslizamientos efectivos máximos, en la tercera, siendo la segunda un esquema para indicar cómo se han deducido estas líneas. Vemos que, conociendo el ángulo θ , cuya tangente se encuentra calculada en los adjuntos cuadros, conocemos la dirección de la compresión máxima; la mínima será perpendicular a ella, y los dos planos de deslizamiento máximo forman con la primera ángulos que valen:

$$\pm \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) = \pm \left(45^\circ - \frac{35^\circ}{2} \right) = \pm 27^\circ 30'$$

No siendo, en este caso, homotéticas, con relación al vértice de la presa (origen de coordenadas), las líneas isostáticas, como ocurre en las presas de gravedad de perfil triangular; no hemos encontrado for-

ma de trazarlas, y por esto nos tenemos que limitar a esta representación de las direcciones principales para diversos puntos, lo cual, si no da una idea tan clara como las isostáticas de la distribución de las direcciones principales en el cuerpo de la presa, permite ver con alguna aproximación cómo será dicha distribución. Vemos que, en todas las secciones, la compresión máxima, en el paramento de aguas aba-

disminuir, en la zona infra-Levy, hasta llegar a ser normal al mismo paramento.

Por último, en la figura VI presentamos el caso de embalse vacío y representamos las compresiones máximas en los paramentos (las mínimas valen cero), y para la sección de la base representamos las compresiones máximas y mínimas, las cargas de deslizamiento efectivo máximo y las direcciones

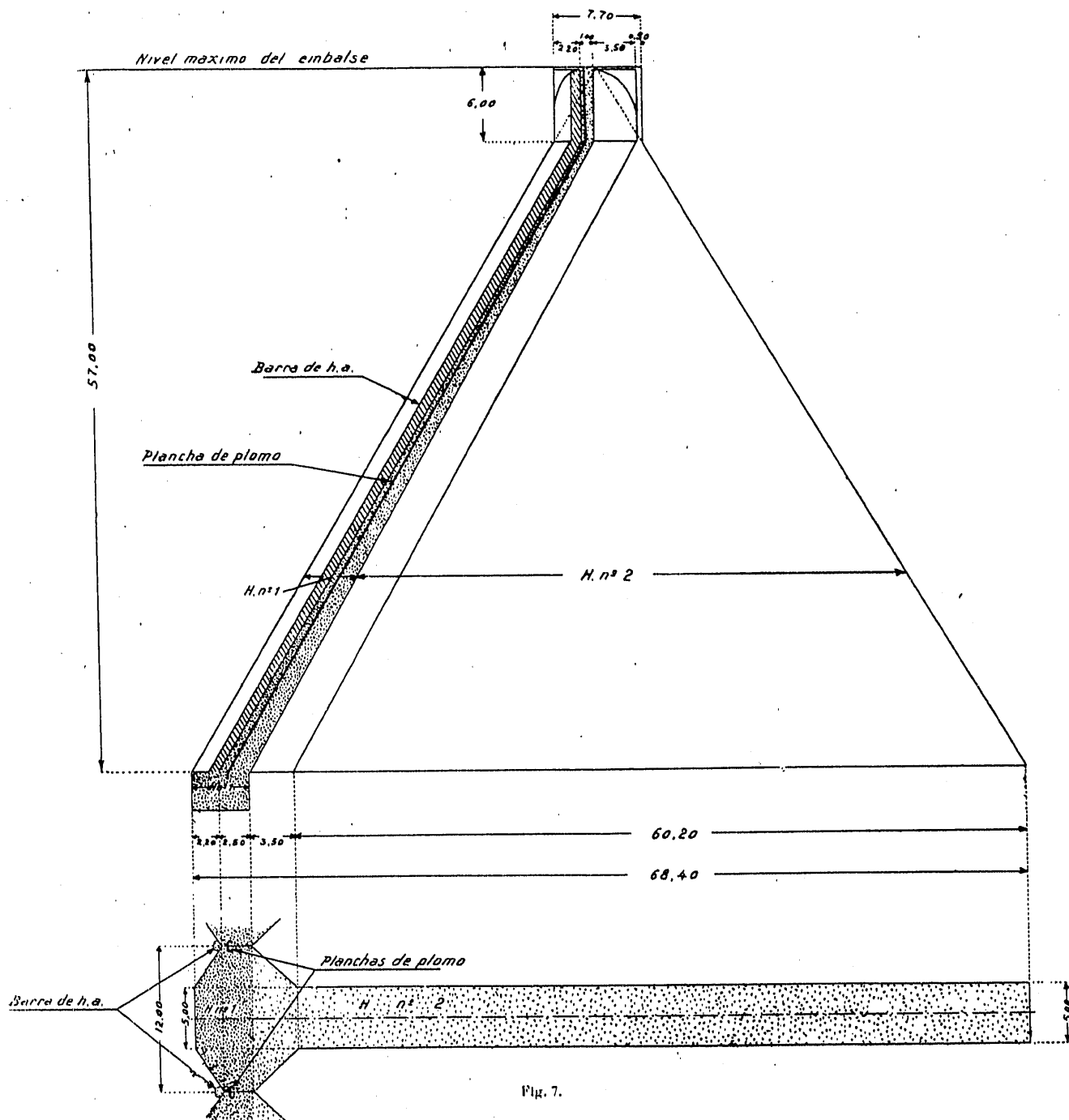


Fig. 7.

jo, tiene la dirección de éste, y va disminuyendo, a lo largo del contrafuerte, el ángulo que forma con la horizontal hasta llegar a las cartelas, donde empieza a aumentar este ángulo con mucha rapidez y llega a ser mayor que $\frac{\pi}{2}$, donde terminan dichas cartelas; sigue aumentando en el resto de la cabeza, para la zona supra-Levy, hasta tener la inclinación del paramento de aguas arriba, y vuelve a

principales. Vemos que resultan cargas muy pequeñas, que resistirá perfectamente el hormigón de la presa.

Terminado así lo relativo a la comprobación de las dimensiones dadas a un elemento, diremos algunas palabras acerca de detalles constructivos.

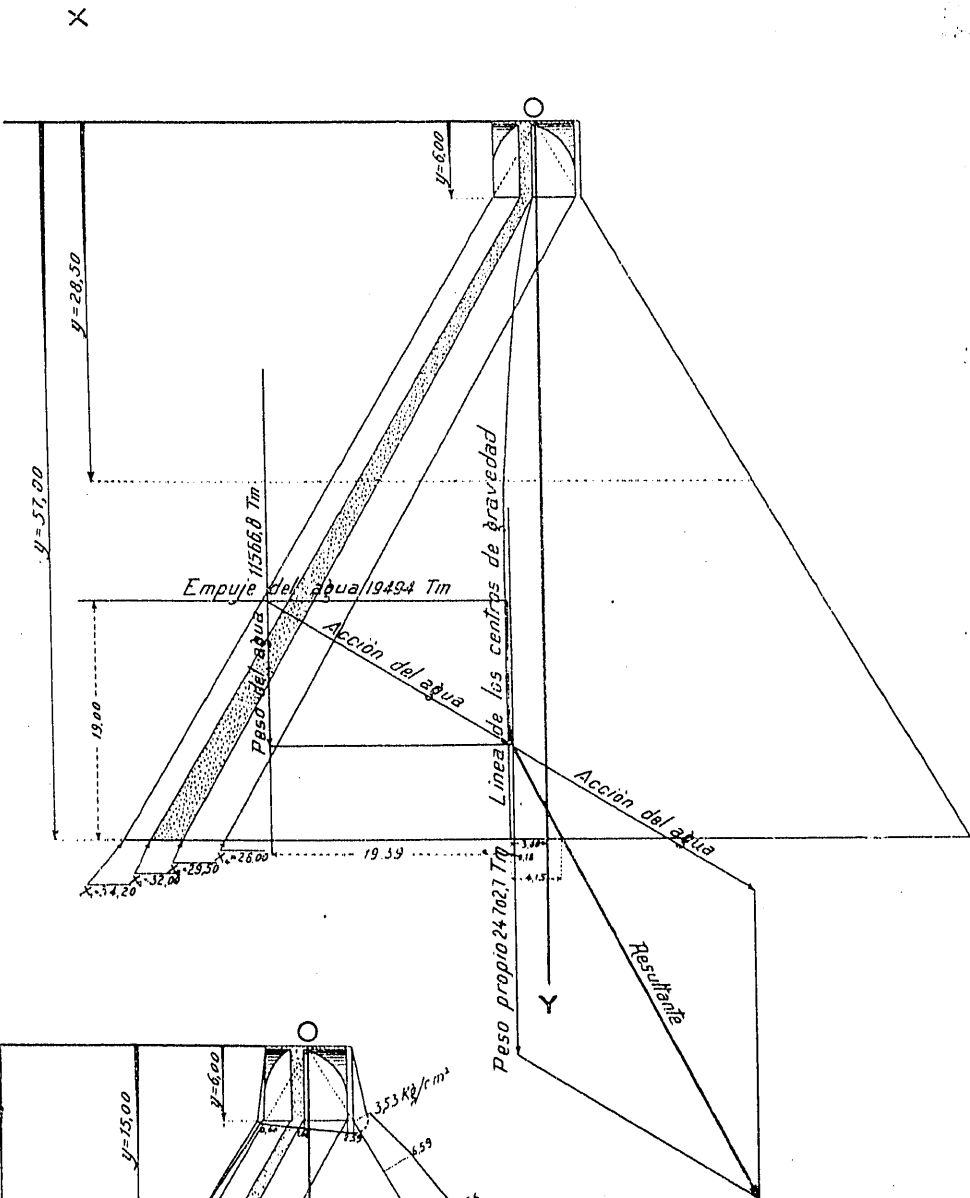
En la figura 7 se puede ver la clasificación de hormigones que proponemos. El llamado hormigón número 1 es muy rico en cemento (400 kg/m^3);

PRESA DE CONTRAFUERTES

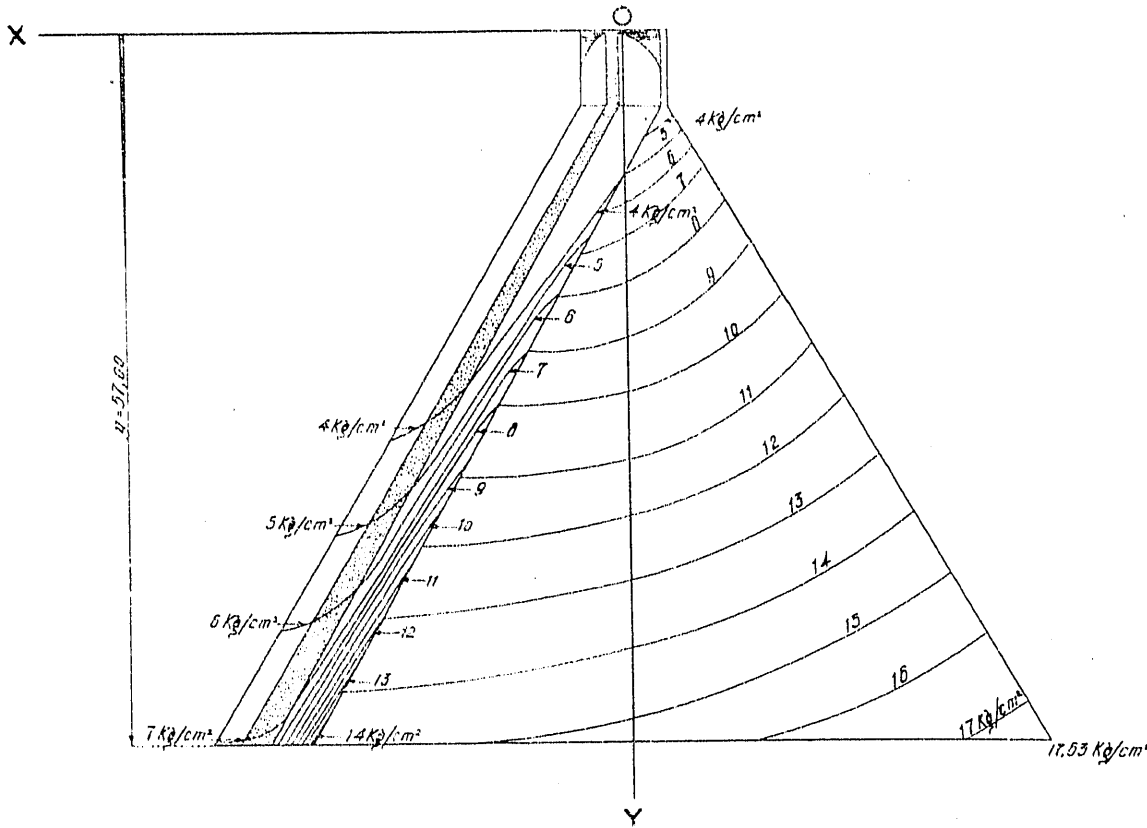
POR
D. JOSE MARTIN ALONSO

DIAGRAMAS DE CARGAS Y ESFUERZOS

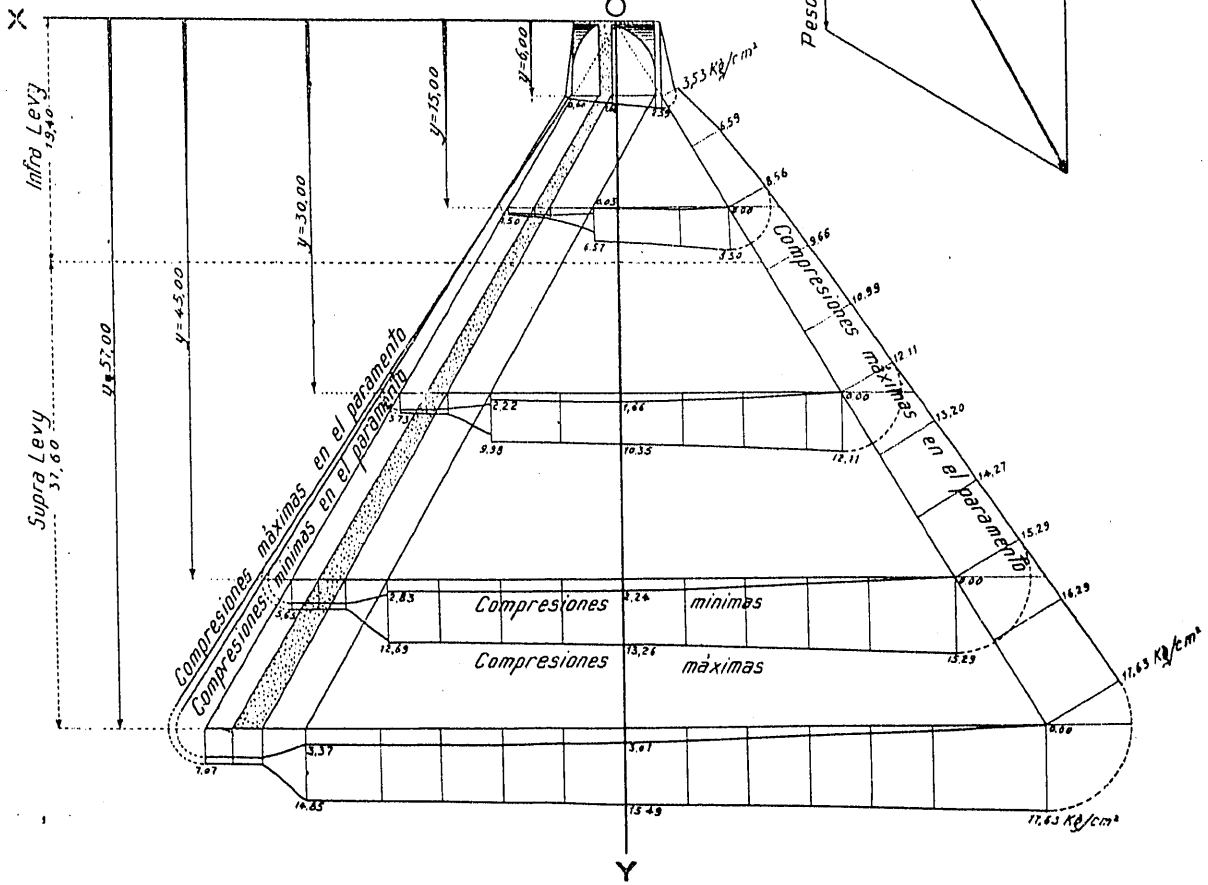
I. Diagrama de las fuerzas a embalse lleno.



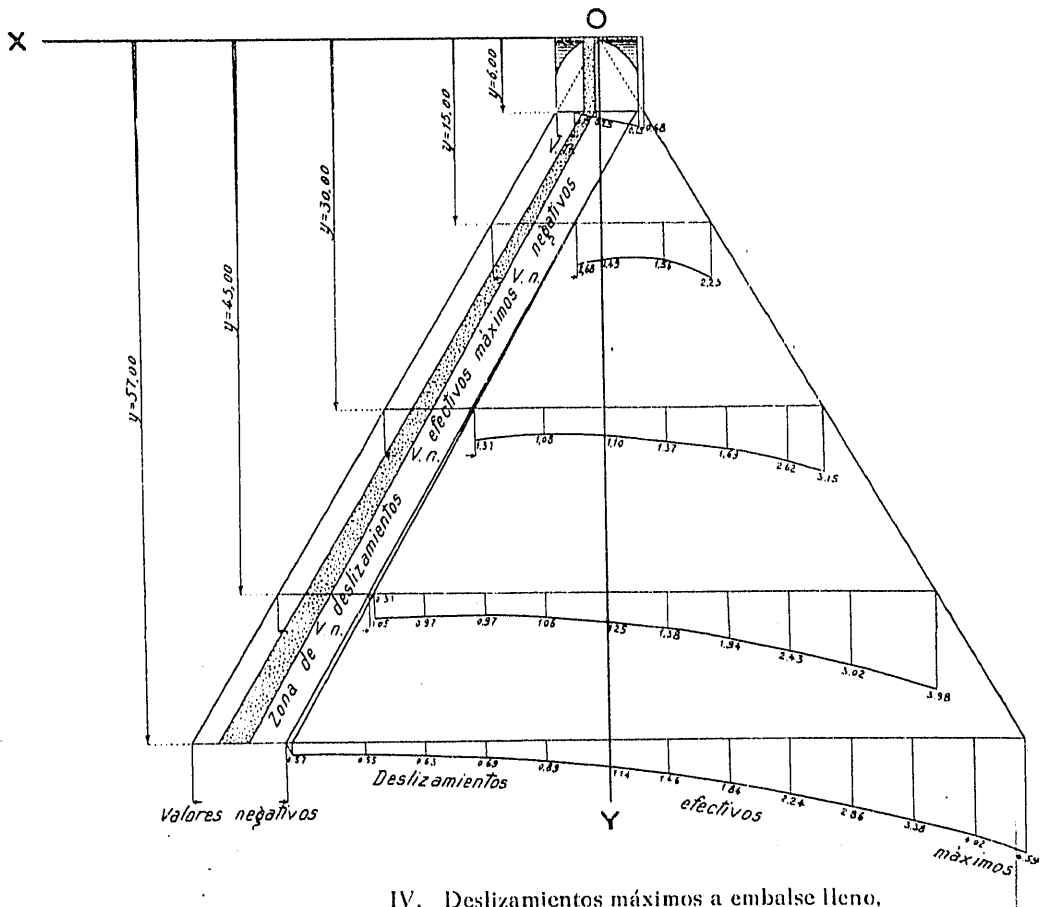
III. Líneas de igual compresión máxima a embalse lleno.



II. Compresiones máximas y mínimas,



IV. Deslizamientos máximos a embalse lleno.

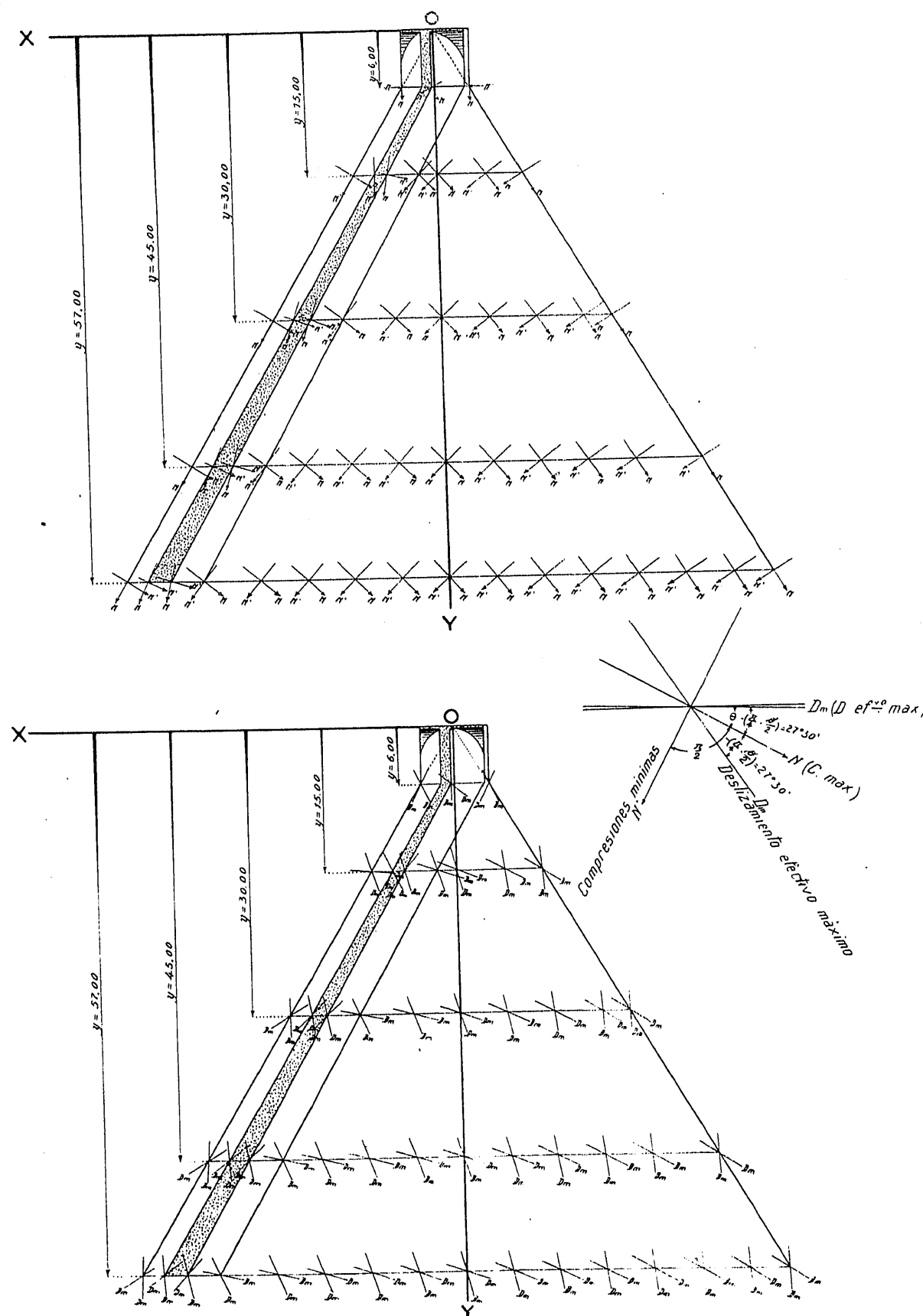


PRESA DE CONTRAFUERTES

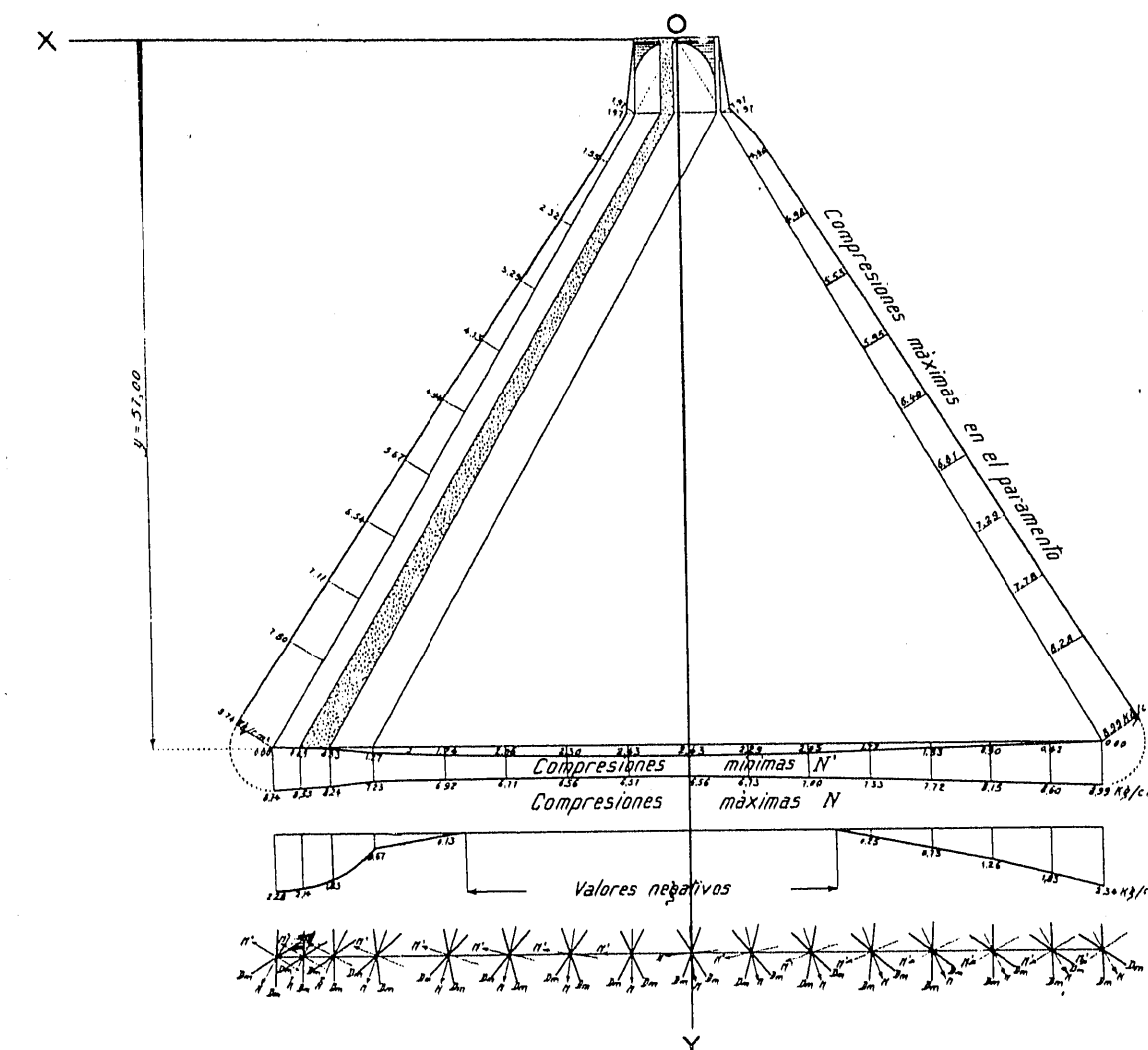
POR

D. JOSE MARTIN ALONSO

DIAGRAMAS DE CARGAS Y ESFUERZOS



V. Direcciones principales a embalse lleno.



VI. Cargas principales a embalse lleno.

y sirve para formar la pantalla impermeable, mientras que el núm. 2 tiene menor dosificación (unos 220 kg de cemento por m³), y puesto que su única función será la resistente, proponemos que esta dosificación no sea preceptiva y que, mediante ensayos continuos en el laboratorio de la obra, se determine la dosificación más conveniente, teniendo como norma el que a los noventa días de fabricación tenga una resistencia diez veces mayor que la carga de compresión a que va a estar sometido.

Se ve también en la misma figura que para la cimentación de la cabeza disponemos de un rastrollo, de 3 m de profundidad como mínimo, que tiene una longitud igual al ancho de aquélla, o sea 12 m, y una anchura igual a la ocupada por el hormigón rico de la cabeza.

Respecto a las juntas de dilatación entre elementos, puede apreciarse su disposición general en la figura 7 y un detalle en la figura 8. Se coloca una barra de hormigón armado, apoyada en los para-

mentos de dos cabezas consecutivas por intermedio de planchas de cartón alquitranado, y después, embutida

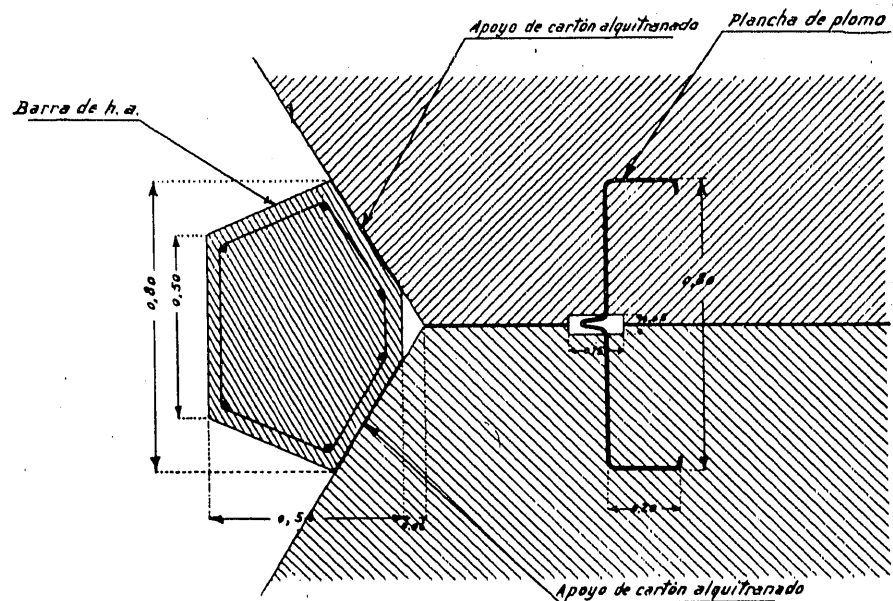


Fig. 8.

en el hormigón que forman las cabezas, una plancha de plomo con un pliegue para darla flexibilidad.

José MARTÍN ALONSO
Ingeniero de Caminos.

Unas consideraciones sobre el problema ferroviario

El Sr. Coderch ha replicado de nuevo, en el pasado número de esta REVISTA, al trabajo mío que, con este mismo título, fué publicado en el número correspondiente al día 15 de junio pasado.

Para ello enturbia las aguas del problema ferroviario, que podían ser limpiísimas, con gran acopio de datos numéricos arbitrariamente manejados, para, al final, dejar desorientada, en este alborotado mar, que él alimenta con su gran cultura estadística, a la opinión, que tiene el suficiente derecho a que no se la predique con fines de tergiversación.

Por haber llevado el Sr. Coderch esta controversia a campos en que no soy competente, yo la voy a dar por terminada, no sin antes, como es natural, explicar las razones de mi determinación, ya que a ello me obliga la consideración que debo al ilustre director adjunto de la Compañía de M. Z. A.; y perdone el Sr. Coderch que emplee términos de cortesía de los que no puedo prescindir, porque a ello me impele, en primer lugar, el propio temperamento.

Quien haya tenido la paciencia de seguir esta discusión —hemos de llamarla así—, iniciada por mí el día 1.º de mayo, indignado, en cierto modo, a causa de unas conclusiones acordadas por la Asociación general de Transportes por Vía férrea, en las que se tendía a borrar las aportaciones llevadas por el Estado al Consorcio con las Compañías de ferrocarriles, recordará que yo me limité a dejar sentados ocho puntos de difícil contradicción, relativos a las

derivaciones obtenidas del actual régimen de explotación de los ferrocarriles españoles. No podía extenderme, ni me extendí, a opinar sobre las soluciones que cabe aportar al problema ferroviario, porque mi modestia —y no es falsa modestia—, hija del pleno conocimiento que tengo de mis facultades, me producía el convencimiento de que yo no era quién para terciar en semejante discusión, de tanta envergadura. Así, todo el mundo recordará que mi labor se redujo a sentar hechos acaecidos y a sacar, natural era, las consecuencias inmediatas.

En este terreno, y según pude demostrar el día 15 de junio, la réplica del Sr. Coderch no desvirtuó ni uno solo de mis argumentos; por el contrario, adquirieron tal relieve, que han impulsado al señor Coderch a invadir otro campo distinto a aquel en que primeramente nos encontramos, y en el cual yo no estoy dispuesto a hacer el juego a nadie.

Efectivamente, el Sr. Coderch trata de achacar la crisis de las explotaciones ferroviarias a medidas de Gobierno, y entre ellas, como las más principales, a las emanadas del Ministerio de Trabajo; siguiendo el camino en otras ocasiones iniciado, se reduce casi exclusivamente, en su último trabajo, a impugnar tales determinaciones gubernamentales, y, apuntando aparentemente hacia mis opiniones, la verdad es que trata de hacer blanco en planos de mayor altura.

Pues bien: ante esta posición, yo renuncio a servir