

mejoran, la vida del habitante pobre de aquellos llanos, antes de los riegos mísera y precaria, hoy es fácil y segura para todos.

Y aun en la zona del canal de Aragón y Cataluña, á pesar de estar pasando la crisis á que conduce una introducción del riego poco menos que repentina, se están ya manifestando para todas las clases sociales los signos de una mejora próxima y definitiva y para los pequeños terratenientes, braceros y comerciantes, las ventajas ya obtenidas y consolidadas son innegables y positivas.

Los inconvenientes que representan la introducción del riego, las crisis á que da lugar, cada vez serán menos duraderas é importantes: los mayores recursos con que hoy cuenta España, el perfeccionamiento de los transportes, el adelanto cierto de la industria, la institución y desarrollo del crédito, la iniciación del agrícola y su próximo advenimiento para subvenir á las necesidades de los nuevos regadíos, el espíritu de asociación que va infiltrándose en nuestro cuerpo social, la inversión de capitales en negocios agrícolas é industriales, con la agricultura relacionados, el empleo cada vez más generalizado de los abonos, principalmente minerales, y, finalmente, las mejoras que las prácticas agrícolas van recibiendo en España, son un conjunto de factores y circunstancias que ahora más que nunca han de facilitar el proceso transformativo de los cultivos de secano en cultivos de regadío y han de contribuir á decidir á la población interesada en los riegos del Alto Aragón á que, con conciencia plena de lo que tamaña empresa significa, reclame su realización con la energía necesaria, se disponga á prestar la colaboración precisa y á emprender por su parte con virilidad el camino que conduce á una mejora que ha de ser transcendental para una región de España, tan importante como merecedora de salir de su actual estado de postración.

Resumen.

En suma, se trata de utilizar los caudales de agua que puede proporcionar el Pirineo, hoy elemento devastador de nuestros valles, germen fecundo en un porvenir próximo para regar 300.000 hectáreas del suelo patrio.

Se trata, pues, de una verdadera rectificación geográfica, que ha de trocar en un gran oasis ubérrimo los mezquinos secanos donde la agricultura es ahora imposible que salga de la condición mísera á que la condena un clima generalmente seco que sólo consiente cosechas invernales de rendimientos harto mezquinos é inseguros.

Y esa rectificación geográfica, que ya en España se ha hecho en un millón y cuarto de hectáreas de su suelo, lleva aparejada un cambio profundo en la constitución de la propiedad y en las condiciones sociales, políticas y económicas de la vida rural de la comarca á que afecta, porque el advenimiento del riego significa la sustitución del cultivo extensivo de las tierras, hoy único posible, por otros sistemas más intensivos que requieren superiores actividades, en los cuales el elemento *trabajo*, si no alcanza toda la preponderancia que merece, encuentra por lo menos remunerado su valor en forma mucho más justa y satisfactoria que hallan el suyo los infelices braceros de las tierras de secano, á los que con demasiada frecuencia, en épocas de sequía sobre todo, sólo se les ofrece esta disyuntiva dolorosa: la emigración del solar nativo ó las privaciones más crueles.

Esta transformación, en la proporción enorme que significan las obras requeridas, exige un período previo de actividad extraordinaria, que dará vida y riqueza á la comarca y preparará de una manera práctica y eficaz la introducción del riego, después de haber invertido los 160 millones que las obras han de absorber.

Perseverando en los lentos métodos que consiente la agricultura en los secanos, será imposible que consigamos aumentar en proporciones altas el caudal de esta fuente sagrada de riqueza, que ahora y siempre ha de ser la primera de España; por el

contrario, uniendo de una manera continua los regadíos de las márgenes del Ebro y del Gállego con los que se extienden á ambos lados del Segre, constituiremos la mayor zona de riegos de España, y el valle del Ebro, en la región aragonesa sobre todo, representará para nuestro país lo que hoy significan para Italia los grandes riegos del Po: la vida independiente y próspera de una población rural importante, el nervio de la riqueza patria, el más sólido fundamento de la nacionalidad.

Y no será esto sólo, sino que aparejado con este acontecimiento, vendrán el desarrollo de la ganadería, complemento indispensable del riego, industrias derivadas y vías de comunicación para dar fácil salida á los productos de tan fecundada zona.

Con el proyecto de riegos del Alto Aragón, casi desde el día mismo en que su realización se emprenda, hay posibilidad de ofrecer trabajo abundante al vigoroso proletariado agrícola que hoy busca medios de subsistencia más holgados en la solitaria pampa argentina; y al terminar las obras cabe proporcionar un hogar propio, independiente y libre, á multitud de ciudadanos españoles que arrastran vida por demás precaria.

Si hacemos esto habremos también dado muestras de una gran previsión social, que es, hoy, de todo punto inexcusable.

(Continuará.)

INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES DE ESPAÑA

EL HORMIGON ARMADO Y LOS GRANDES EMBALSES (1)

VI

La pantalla.

La pantalla es una bóveda cilíndrica, de generatrices á 45° y directrices, horizontal y vertical, iguales, semicirculares: su sección recta, á 45°, una elipse de semiejes r y $\frac{r}{\sqrt{2}}$

y de espesores variables desde e hasta $\frac{e}{\sqrt{2}}$.

La carga en una sección horizontal es uniforme, δz tons./m.²: su efecto es, como en toda superficie velaria con presión normal, una compresión uniforme en todos los puntos, una flexión nula y dos acciones sobre los apoyos, iguales, tangenciales al arco y paralelas, por ser esto un semicírculo. En ningún punto hay componente transversal: la acción de la pantalla sobre los contrafuertes, es la de un semitubo sobre otro semitubo: dos fuerzas, iguales cada una á $\delta z \times r$ tons./m. l., paralelas al plano medio del contrafuerte: no hay sobre éste ni empuje ni tracción transversales. Tanto da considerar la unión de contrafuerte y pantalla como apoyo que como empotramiento, puesto que la sección extrema del arco ni tiende á girar ni á correr en ningún sentido.

Cuando la presión es interior, tal sistema es *permanente de forma*, cualquiera que sea el valor de la carga, δz . Si la presión obra por el exterior, hay una cierta carga crítica que, análogamente á la de pandeo en las piezas rectas, determina la *inestabilidad* de forma, el paso del régimen elástico al plástico. Excedida dicha carga, la menor deformación accidental lleva consigo deformaciones generales, sin cesar crecientes, que producen el aplastamiento y la rotura del arco.

Esta carga crítica (véase Foepl, *Resistencia de materia-*

(1) Véase el número anterior.

les) tiene por expresión, para un espesor ε y un coeficiente de elasticidad, E :

$$p = \frac{3EI}{r^3} = \frac{E}{4} \times \frac{\varepsilon^3}{r^3} \text{ tons./m.}^2 \quad (43)$$

Con un coeficiente de seguridad de 4, y el valor usual, mínimo de E , 150.000 kg./cm.² ó 1.500.000 tons./m.² y para $r = \frac{s}{2} = 3$ m.

$$\varepsilon^3 \geq 16 \delta z \frac{r^3}{E} = 0,000288 z; \varepsilon \geq 0,066 \sqrt[3]{z} \quad (44)$$

Para $z = 20, 40, 60$, los espesores mínimos por este concepto, serían: 0,179, 0,226 y 0,258 m.

Hay que limitar el espesor (siempre se entiende medido horizontalmente), por razón de la carga admisible. Por la de impermeabilidad, la pantalla ha de hacerse con hormigón rico, de 400 kg./m.², por lo menos, hasta profundidades de unos 40 m., más rico todavía en la zona inferior. Pudiera admitirse $H' = 56$ kg./cm.²; pero como han de aparecer ciertos trabajos de flexión en sentido vertical, lo rebajaremos á 45 ó sean 450 tons./m.².

A la profundidad z el espesor así determinado sería

$$\varepsilon' = \frac{\delta z r}{H'} = \frac{3}{450} z = 0,0066 z \quad (45)$$

y para $z = 20, 40, 60$, $\varepsilon' = 0,133, 0,266, 0,399$ m.

Adoptaremos $\varepsilon = 0,300$, según la horizontal, *constante* hasta la profundidad de 40 m., y desde ésta á la de 60, creciente de un modo uniforme hasta 0,450. La carga máxima será de 400 tons./m.² (40 kg./cm.²) á 40 m., y se mantendrá con ese mismo valor hasta el fondo. Los coeficientes de seguridad respecto á ese *pandeo especial* de las formas tubulares serán, en vez de 4, 5,3 á 40 m. y 6,9 á 60 m.

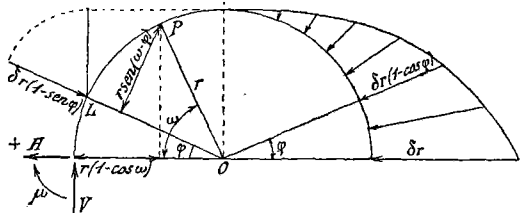


Fig. 18.

En sentido vertical la carga pierde la uniformidad; pasa de δz , en la clave, á $\delta(z+r)$ en los arranques, y se pierden las preciosas cualidades de las velarias con presión constante.

La carga unitaria en el punto á φ sobre la horizontal (fig. 18), es $\delta(z+r(1-\sin \varphi))$: la distribución á lo largo de un cuadrante es la indicada á la derecha, prescindiendo del término constante δz , cuyo efecto es ya conocido y que dejamos á un lado.

La pantalla forma cuerpo con los contrafuertes: en el plano ideal de unión las reacciones de éstos sobre aquélla se reducen: á una componente vertical, V , conocida, el peso del área mixtilínea, diferencia entre el cuadrado r^2 y el cuadrante $\pi \frac{r^2}{4}$, $V = \delta r^2 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$; y á una componente horizontal, H , y un momento, μ , estáticamente indeterminados los dos.

La carga en el elemento $ds = r d\varphi$, situado en L , (φ), es $\delta r(1 - \sin \varphi) \times r d\varphi$; su brazo de palanca respecto al punto M , (t, ω) vale $r \sin(\omega - \varphi) = r(\sin \omega \cos \varphi - \cos \omega \sin \varphi)$.

El momento debido á las cargas tan solo desde el arranque hasta P es:

$$M_c = \int_0^\omega \delta r^3 \left\{ \overline{\sin \omega \cos \varphi} - \overline{\cos \omega \sin \varphi} - \overline{\sin \omega \sin \varphi \cos \varphi} + \overline{\cos \omega \sin^2 \varphi} \right\} d\varphi \quad (46)$$

ω es por el momento una constante, y por claridad señalamos los factores que lo son. Resulta integrando:

$$M_c = \delta r^3 \left\{ 1 - \cos \omega - \frac{\sin^3 \omega}{2} + \omega \frac{\cos \omega}{2} - \frac{\cos^2 \omega \sin \omega}{2} \right\} \quad (47)$$

El momento flector en P , debido á todas las acciones y cargas que obran sobre el arco es:

$$M = \mu + Hr \sin \omega + Vr(1 - \cos \omega) - M_c. \quad (48)$$

Expresado el momento, podemos aplicar el teorema de Castigliano, base, en unión del de Maxwell, de todos los modernos procedimientos de resistencia de materiales. Merced á ellos el cálculo de construcciones hiperestáticas, á veces complicadísimas (formas tubulares angulosas, mixtilíneas, vigas sobre empotramientos múltiples, etc.) á que con el hormigón armado se llega donde, como en Alemania, se trata este material como merece y no rutinariamente; ese cálculo, repetimos, se hace siempre factible y relativamente fácil.

Lo poco divulgados que en España están, merced al funesto predominio de todo lo francés, tales procedimientos, el ser éstos de absoluta generalidad y, puede afirmarse, los únicos que permiten el cálculo de formas muy complejas, nos inducen á dar una idea de su aplicación. El ejemplo presente será una prueba de su fecundidad.

El teorema de Castigliano es una sencilla consecuencia del principio universal de la naturaleza: el de la mínima acción. Un cuerpo elástico, sometido á un sistema de acciones (fuerzas, momentos) que, por intermedio de aquél, se equilibran, se deforma: al hacerlo y moverse los puntos de aplicación de dichas fuerzas y girar los planos de los momentos, cada acción desarrolla un cierto trabajo, cuyo valor varía con el valor y dirección de las deformaciones. El sistema entero desarrolla un trabajo total, dependiente del modo y cuantía de la deformación del cuerpo. En cada punto de éste, las moléculas que se apartan ó se acercan unas á otras, lo hacen desarrollando un cierto trabajo y la suma de todos, el trabajo desarrollado por el cuerpo entero, antagónico del puesto en juego por el sistema de acciones exteriores, lo equilibra. La deformación del cuerpo se realiza única y exclusivamente de tal modo y en tal cuantía, que *ambos trabajos son mínimos*.

Entre las acciones del sistema hay siempre algunas, las reacciones (fuerzas, momentos) de los puntos de sustentación, que no producen trabajo alguno, si dichos puntos son fijos. El teorema de Castigliano es: *las derivadas parciales del trabajo elástico, tomadas respecto á las acciones que no producen trabajo externo, son nulas*. O de otro modo: *las ac-*

ciones cuyo trabajo es nulo, son tales que el trabajo elástico del cuerpo es un mínimo (1).

Si, por tanto, se llega á expresar algebraicamente el trabajo elástico de un cuerpo en función de las acciones conocidas y desconocidas, basta derivar esa expresión parcialmente respecto á cada una de las acciones que no producen trabajo, generalmente incógnitas, para tener, igualando á cero, otras tantas ecuaciones que las determinan.

Las acciones que no producen trabajo son: en un apoyo con carro de dilatación, la normal al plano de los rodillos; en una articulación, las dos componentes de la fuerza que pasa por el centro de la rótula; en un empotramiento, en el que la sección de sustentación ni corre ni gira en ningún sentido, las dos componentes referidas al centro de gravedad de la sección y el momento de empotramiento.

La expresión del trabajo elástico es:

$$T = \int \frac{M^2}{2EI} ds + \int \frac{N^2}{2ES} ds + \int D t^0 N ds; \quad (48)$$

s designa la variable independiente, en función de la cual están expresados: el momento flector M , el de inercia I , la fuerza normal N , á cada sección de área S ; D es el coeficiente de dilatación y t^0 el incremento de temperatura. Los límites de las integrales deben comprender la totalidad del cuerpo.

La expresión (48) es incompleta, porque falta el término representativo del trabajo desarrollado por las cargas tangenciales. Generalmente se prescinde, no sólo de él, sino del relativo á las cargas normales N , porque las deformaciones correspondientes á unas y otras son muy pequeñas respecto á las producidas por los momentos M . No se suele, en la mayoría de los casos, hacer sino como en el nuestro, en que por ser constante I :

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT}{d\mu} &= \int M \frac{dM}{d\mu} ds = 0 \\ \frac{dT}{dH} &= \int M \frac{dM}{dH} ds = 0 \end{aligned} \right\} \quad (49)$$

prescindiendo, por ahora, de las variaciones de temperatura.

Desarrollando la primera expresión, tenemos:

$$\begin{aligned} \frac{dM}{d\mu} &= 1; ds = r d\omega; \frac{dT}{d\mu} = \int_0^\pi Mr d\omega = 0 \\ \int_0^\pi \left\{ \mu + Hr \sin \omega + Vr - Vr \cos \omega + \right. \\ &+ \delta r^3 \left[-1 + \cos \omega + \frac{\sin^3 \omega}{2} - \omega \frac{\cos \omega}{2} + \right. \\ &\left. \left. + \frac{\cos^3 \omega \sin \omega}{2} \right] \right\} r d\omega = 0 \end{aligned} \quad (50)$$

Las integrales parciales son:

$$\int_0^\pi d\omega = \pi; \int_0^\pi \sin \omega d\omega = \left[-\cos \omega \right]_0^\pi = 2$$

$$\int_0^\pi \cos \omega d\omega = \left[\sin \omega \right]_0^\pi = 0;$$

$$\int_0^\pi \sin^3 \omega d\omega = \left[-\frac{\sin^2 \omega \cos \omega}{3} - \frac{2}{3} \cos \omega \right]_0^\pi = \frac{4}{3}$$

$$\int_0^\pi \omega \cos \omega d\omega = \left[\omega \sin \omega + \cos \omega \right]_0^\pi = -2$$

$$\int_0^\pi \cos^3 \omega \sin \omega d\omega = \left[\frac{\cos \omega \sin^2 \omega}{3} - \frac{\cos \omega}{3} \right]_0^\pi = \frac{2}{3}$$

Y resulta, con $V = \delta r^3 \frac{4-\pi}{4}$:

$$\begin{aligned} &\mu \pi + 2Hr + \\ &+ \left\{ \frac{4-\pi}{4} \pi - \pi + \frac{1}{2} \times \frac{4}{3} + \frac{1}{2} \times 2 + \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} \right\} \delta r^3 = 0 \\ &\mu + \frac{2}{\pi} Hr = \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) \delta r^3. \end{aligned} \quad (51)$$

La segunda expresión (49) da:

$$\frac{dM}{dH} = r \sin \omega; \frac{dT}{dH} = \int_0^\pi Mr \sin \omega \times r d\omega = 0$$

$$\begin{aligned} \int_0^\pi \left\{ \mu \sin \omega + Hr \sin^3 \omega + Vr \sin \omega - Vr \sin \omega \cos \omega + \right. \\ \left. + \delta r^3 \left[-\sin \omega + \sin \omega \cos \omega + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\sin^3 \omega}{2} - \omega \frac{\sin \omega \cos \omega}{2} + \frac{\sin^2 \omega \cos^2 \omega}{2} \right] \right\} r d\omega = 0 \end{aligned} \quad (52)$$

$$\int_0^\pi \sin^2 \omega d\omega = \left[-\frac{\sin \omega \cos \omega}{2} + \frac{\omega}{2} \right]_0^\pi = \frac{\pi}{2}$$

$$\int_0^\pi \sin \omega \cos \omega d\omega = \left[\frac{\sin^2 \omega}{2} \right]_0^\pi = 0$$

$$\int_0^\pi \sin^4 \omega d\omega = \left[-\frac{\sin^3 \omega \cos \omega}{4} - \frac{3}{8} \sin \omega \cos \omega + \frac{3}{8} \omega \right]_0^\pi = \frac{3}{8} \pi$$

$$\int_0^\pi \omega \sin \omega \cos \omega d\omega = \left[\omega \frac{\sin^2 \omega}{2} + \frac{\sin \omega \cos \omega}{4} - \frac{\omega}{4} \right]_0^\pi = -\frac{\pi}{4}$$

$$\int_0^\pi \sin^2 \omega \cos^2 \omega d\omega = \left[-\frac{\sin \omega \cos \omega}{8} + \frac{\omega}{8} \right]_0^\pi = \frac{\pi}{8}$$

$$2\mu + \frac{\pi}{2} Hr + \left\{ \frac{4-\pi}{4} - 2 + \frac{1}{2} \times \frac{3}{8} \pi + \frac{1}{2} \times \frac{\pi}{4} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2} \times \frac{\pi}{8} \right\} \delta r^3 = 0$$

$$\mu + \frac{\pi}{4} Hr = \frac{\pi}{16} \delta r^3. \quad (53)$$

(1) En realidad este teorema es un corolario de otro más general, también debido á Castigliano: el recorrido del punto de aplicación de una fuerza (ó el giro del plano de un momento), aplicada á un cuerpo que se deforma elásticamente, es igual á la derivada parcial del trabajo de deformación, tomada respecto á aquella fuerza (ó momento). Cuando los recorridos (ó giros) son nulos per se, las derivadas parciales también lo son y el trabajo pasa por un máximo ó un mínimo: las segundas derivadas resultan necesariamente positivas y el trabajo siempre un mínimo.

Todos estos teoremas implican, claro es, la deformación perfectamente elástica; desde el momento en que hay alguna deformación plástica, el trabajo desarrollado por el cuerpo no alcanza á equilibrar al de las acciones exteriores: al cesar éstas, los recorridos de sus puntos de aplicación no llegan á anularse, ni vuelven estos puntos á sus primitivas posiciones: queda el cuerpo con una deformación permanente, con la que se ha operado plásticamente: en producirla, primero, para luego transformarse en calor, se ha invertido el exceso del trabajo exterior sobre el elásticamente devuelto por el cuerpo.

ecuación que con la (51) conduce á:

$$\left. \begin{aligned} H &= \frac{32 - 3\pi^2}{4\pi^2 - 32} \delta r^2 = + 0,3197 \delta r^2 \\ \mu &= \frac{\pi}{4} \left(\frac{1}{4} - \frac{32 - 3\pi^2}{4\pi^2 - 32} \right) \delta r^3 = - 0,0547 \delta r^3 \\ V &= \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \delta r^2 = + 0,2146 \delta r^2 \end{aligned} \right\} \quad (54)$$

H y V son positivos y tienen las direcciones de la figura 18, mientras que μ , negativo, obra en sentido contrario (fig. 19).

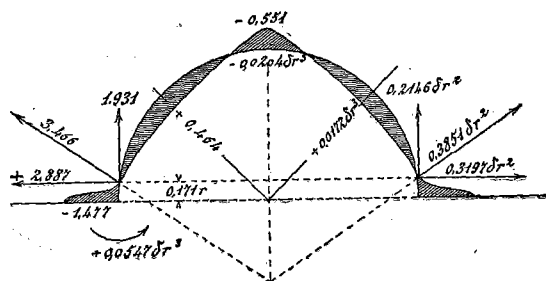


Fig. 19.

Para $r = 3$ m.: $H = 2,877$ tons./m. l.; $V = 1,931$; $\mu = -1,477$ m. — tons. por m. l. Si se componen H , V , μ , trasladando H á un punto á una altura $y = \frac{\mu}{H} = 0,171 r$, ó $0,511$ m., y componiendo allí con V , se obtiene en magnitud y posición la reacción única:

$$R = \delta r^2 \sqrt{0,2146^2 + 0,3197^2} = 0,3851 \delta r^2.$$

ó $3,466$ tons./m. l. (fig. 19). En el punto de intersección con el arco el momento es nulo; desde allí hasta cerca de la clave, positivo, con un máximo hacia 45° (la ecuación transcendente que determina su posición es complicadísima), de valor $+0,0172 \delta r^3$ ó $+0,464$ m. — tons./m. l., y en la clave alcanza un nuevo máximo de $-0,0204 \delta r^3$ ó $-0,551$. El arco tiende á deformarse como la curva de momentos indica, aumentando de curvatura en la clave y arranques y aplanándose en la zona intermedia de momentos positivos.

La presión en la clave es la diferencia entre la suma de presiones horizontales $\frac{1}{2} \delta r^2$ y H , ó sea $0,1803 \delta r^2$ ó $1,623$ tons./m. l., algo menor que la presión, V , en los arranques, $0,2146 \delta r^2$ ó $1,931$ m.—tons./m. l.

El arco tiende en conjunto á cerrarse, y en lugar de empujar hacia afuera á sus estribos, tira de ellos hacia dentro, consecuencia lógica de la especial repartición de sobrecarga.

Si en la expresión (51) se hace $H = 0$, resulta;

$$\mu_o = \left(\frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) \delta r^3 = + 0,1488 \delta r^3; \quad (55)$$

valor del momento cuando el estribo cede, conservando su plano la misma dirección; y si $\mu = 0$:

$$H_o = \left(\frac{\pi^2}{8} - 1 \right) \delta r^2 = + 0,2337 \delta r^2; \quad (56)$$

valor de la reacción cuando la sección de empotramiento gira, conservando su centro la misma posición.

En aquel caso, μ_o , ó $+4,018$ m — tons./m. l., tendería á rectificar el arco hasta un punto de inflexión, hacia 45° ; desde allí á la clave, los momentos negativos crecerían has-

ta $-0,1362 \delta r^3$ ó $-3,677$ (deducido de (48)), tendiendo á aumentar la curvatura.

En el segundo caso, H_o ó $+2,103$ tons./m. l., empujaría al extremo del arco hacia el exterior. El momento, nulo en la supuesta articulación, crecería, al principio positiva, poco después negativamente, hasta $-0,0517 \delta r^3$ ó $-1,396$ m — tons./m. l., en la clave, tendiendo á peraltarse el arco.

Como los contrafuertes han de ir arriostrados no puede suceder, ni acercarse á ello, que $H = 0$. Tampoco puede ocurrir que $\mu = 0$, por el mismo efecto del arriostrado, pero, exagerando como siempre las circunstancias desfavorables, podemos admitir que el momento llegue á cambiar de signo en la zona central, haciéndose negativo en parte de ella.

Lo más prudente y al mismo tiempo más ajustado á la hipótesis de cálculo. $I = \text{constante}$, es hacer la armadura simétrica é igual en todas partes, con sección y momento de inercia de la pieza invariables.

Con una armadura simétrica, á 5 cm. del trasdós é intradós, de 2×5 barras de 12 mm. en m. l., sección $11,30$ cm.², la cuantía es $0,00226$ y el momento resistente, en cualquier sentido, $11 \times 25 \times 5,65 = 1554$ m — kg., mayor que el máximo más desfavorable de $1,477$ m — tons.

Totalizando los efectos de la carga uniforme δz y de la variable entre δz y $\delta(z+3)$ resulta para la sección cuyos arranques están á 40 m. $= (z+3)$: una compresión uniforme $= \frac{37 \times 3}{0,30} = 370$ tons./m.²; otra compresión, $V = 1,931$, también uniforme y un momento $\mu = 1,477$. El régimen es el de flexión compuesta, debido á una fuerza de $370 + V = 372$ tons., que obra con una excentricidad absoluta de $\frac{1,477}{372} = 0,004$ m., relativa de $0,013$. Es decir, que huelga por completo la armadura en cuanto la profundidad, que da la compresión uniforme, atenúa y después llega casi á borrar el efecto de la carga variable $\delta r (1 - \sin \omega)$. Las únicas secciones que pueden presentar trabajo de extensión son las inmediatas al nivel del agua. Es preciso que

$$\frac{\mu}{10(z-3)+2} \geq \frac{0,30}{6},$$

es decir, que la acción total salga fuera del núcleo central, prescindiendo de lo que amplía la armadura, para que llegue á haber extensión, lo que exige:

$$\frac{6\mu}{0,30} \geq 10z - 28; \quad z \geq 5,75 \text{ m.} \quad (57)$$

A partir de la sección con arranques á $5,75$, toda la superficie está comprimida de un modo cada vez más próximo á la uniformidad.

En el fondo las compresiones uniformes suman $(60 - 3) \times \frac{3}{0,45} + 2 = 382$ tons./m.² y la excentricidad vale solamente $\frac{1,477}{382} = 0,004$ en absoluto y $0,009$ respecto al espesor de $0,450$.

Proyectamos, sin embargo, la armadura ya dicha en toda la altura, como un elemento más de confianza y un medio excelente de enlace entre pantalla y contrafuertes.

Al considerar la pantalla como en realidad está, en una sola pieza con el contrafuerte, resulta necesariamente sometida á las cargas principales ya calculadas. Ambas, desde luego, á 45° con la vertical no difieren sensiblemente de las

del extremo del contrafuerte las de tensión; más bien, por la forma que siempre ofrecen las curvas en todas las secciones, deben ser algo menores: las de compresión no pueden ser sino las engendradas por las presiones hidrostáticas δz (tons./m.²) en cada punto como ya hemos visto.

La máxima tensión aparece en el paso del espesor mínimo del contrafuerte al variable: crece desde cero en la coronación hasta 260 tons./m.² y decrece inmediata y progresivamente, conforme dicho espesor va aumentando, hasta 170 en $z=40$. Desde allí apenas varía hasta el fondo, en el canto del contrafuerte: en la pantalla debe lógicamente seguir disminuyendo por el aumento de espesor horizontal de 0,30 hasta 0,45.

Tomaremos, sin embargo, como base la tensión máxima y la armadura así determinada correrá sin variación alguna en la totalidad de la pantalla. Su área será:

$$\pi \frac{s^2 - s'^2}{8} \times \cos 45^\circ \times T \times \frac{1}{A} = 2,70 \text{ m.}^2 \times 0,707 \times 260 \text{ tons./m.}^2 = 496 \text{ cm.}^2 \quad (58)$$

ó 200 (●18), que suman 508 cm.², distribuidas simétricamente en dos órdenes, con un espaciamiento medio de 9 cm.

Hasta ahora hemos prescindido de las variaciones de temperatura, ó más en general, de volumen: precisa, sin embargo, estudiar su efecto, que pudiera ser importante. Lleno el embalse, las oscilaciones térmicas serán bastante pequeñas; pero al vaciarlo, total ó parcialmente, se producirán alteraciones de longitud, no sólo por el juego de la temperatura ambiente, sino también, quizá más cuantiosas, por la alteración de estado higrométrico de la pantalla, que pasará de la saturación á una desecación casi completa.

Hecha una limpia en otoño, concurrirán á producir acortamientos la desecación y la baja de temperatura. Si, al contrario, se llena el embalse en primavera, se sumarán los efectos de la saturación de humedad y del aumento de temperatura. Admitiremos que la variación de longitud unitaria, λ , pueda llegar á valer, *positiva ó negativamente*, hasta 0,0003, lo que representaría, si se debiera exclusivamente á oscilaciones termométricas, una de $\pm 30^\circ$ alrededor de la inicial.

En la expresión del trabajo elástico

$$T = \int \frac{M^2}{2EI} ds + \int \frac{N^2}{2ES} ds + \int \lambda N ds \quad (48)$$

introduzcamos los valores que corresponden á la variación de longitud del arco, considerada aisladamente.

Por la simetría no hay reacción vertical V (fig. 20); pero no se puede prescindir ahora de las compresiones normales N , que son precisamente las que entran en juego. Ahora tenemos:

$$M = \mu + Hr \sin \omega; N = H \sin \omega \quad (59)$$

$$\frac{dM}{d\mu} = 1; \frac{dN}{d\mu} = 0; \frac{dM}{dH} = r \sin \omega; \frac{dN}{dH} = \sin \omega$$

$$\frac{dT}{d\mu} = \int_0^\pi \frac{M}{EI} \frac{dM}{d\mu} r d\omega + \int_0^\pi \frac{N}{ES} \frac{dN}{d\mu} r d\omega + \int_0^\pi \lambda \frac{dN}{d\mu} r d\omega = 0$$

Las dos últimas son nulas ($\frac{dN}{d\mu} = 0$) y queda:

$$r \pi \times \mu + 2 Hr^2 = 0; \mu + 2 \frac{r}{\pi} H = 0 \quad (60)$$

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dH} &= \int_0^\pi \frac{M}{EI} r \sin \omega \times r d\omega + \int_0^\pi \frac{H \sin \omega}{ES} \times \sin \omega \times r d\omega + \int_0^\pi \lambda \sin \omega \times r d\omega = 0 \\ \frac{2r^2}{EI} \mu + \frac{\pi r^3}{2EI} H + \frac{\pi r}{4ES} H + 2 \lambda r &= 0 \\ \mu + H \left\{ r + \frac{\pi I}{8rS} \right\} + \lambda \frac{EI}{r} &= 0 \quad (61) \end{aligned}$$

Y resultan así, para $r = 3 \text{ m.}; S = 0,3 \text{ m.}^2$:

$$I = \frac{0,3^3}{12} + 2 \times 15 \times 0,0015 \text{ m.}^2 \times 0,10^2 = 0,0027 \text{ m.}^{(4)}$$

$$H = -1,237 \text{ tons./m. l.}; \mu = +2,363 \text{ m-tons./m. l.} \quad (62)$$

para toda la zona hasta $z = 40$. Y para $z = 60$:

$$S = 0,45 \text{ m.}^2; I = \frac{0,45^3}{12} + 2 \times 15 \times 0,00225 \text{ m.}^2 \times 0,175^2 = 0,0097 \text{ m.}^{(4)}$$

$$H = -1,325 \text{ tons./m. l.}; \mu = +2,530 \text{ m-tons./m. l.} \quad (63)$$

La reacción total, H_t , resultante de H y de μ , está aplicada á la altura $\frac{2r}{\pi} = 1,909 \text{ m.}$ por encima de los arranques (fig. 20).

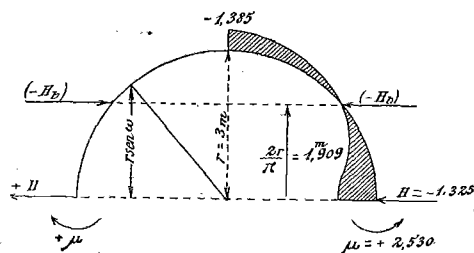


Fig. 20.

El momento en la clave vale respectivamente

$$(\mu + Hr) = -1,348 \text{ y } -1,385.$$

Los signos obtenidos se refieren á λ positivo, es decir, á elevación de temperatura y llena del embalse: H_t se dirige al interior del arco y éste á su vez empuja hacia afuera á los contrafuertes. Lo contrario sucede con la baja de temperatura y limpia del embalse.

El cálculo se refiere á la unidad de longitud, horizontal ó verticalmente; en la sección recta, á 45° con esas direcciones; la reacción resultante, H , tiene el mismo valor, pero está referida á una longitud $\frac{1}{\cos 45^\circ}$ veces la unidad ó $\sqrt{2}$; el momento resultante de los dos μ es $\sqrt{2} \times \mu$, pero también se refiere á una longitud de $1 \text{ m.} \times \sqrt{2}$. Los valores por m. l. medido á lo largo de la pantalla son, para $z = 60$:

$$H = \mp 0,937 \text{ tons.}; \mu = \pm 2,530 \text{ m-tons.} \quad (64)$$

Los primeros signos corresponden á las dilataciones. En la dirección á 45° , en la que hemos de estudiar el

pandeo de los contrafuertes, el efecto de la carga variable, $\delta r(1 - \sin \varphi)$ es:

$$H = + 2,877; \quad \mu = - 1,477. \quad (65)$$

Lo más desfavorable no es la dilatación con embalse lleno, porque los signos de H y μ son ambos contrarios. Si se vacía el embalse desaparece la carga variable, así es que lo verdaderamente peor es suponer que lleno el embalse haya una contracción por baja de temperatura de toda la masa de agua, lo que, muy exageradamente, corresponde a 15° ó $\lambda = - 0,00015$. Entonces, siempre en el plano de las cargas C :

$$\left. \begin{aligned} \mu &= - 1,477 - \frac{2,530}{2} = - 2,737 \text{ m-tons./m. l.} \\ H &= + 2,877 + \frac{0,937}{2} = + 3,346 \text{ tons./m. l.} \end{aligned} \right\} (66)$$

La acción del agua no puede dar acciones disimétricas en un arco ó desiguales en dos contiguos. Aun suponiendo paralelamente á la pantalla olas de longitud tan corta que á

dos arcos consecutivos correspondan alturas de agua muy diferentes, las cargas $\delta r(1 - \sin \varphi)$ serán siempre las mismas, salvo en los tres primeros metros: las cargas $\delta(z - r)$ podrán diferir y dar distinta compresión, pero nunca producir reacción de un arco sobre otro. Las variaciones λ pueden, sí, obrar disimétricamente, pero sólo en la parte de pantalla descubierta, que el sol hiera oblicuamente, quedando parte de cada arco en sombra.

Aunque esa posible disimetría de las dos acciones sobre un contrafuerte valga poco, es preferible anularla en absoluto con un arriostrado, que la seguridad contra el pandeo hace, por otra parte, necesario.

En el escalonado de las zonas inferiores, indispensable para amoldar la presa á la sección de la cerrada, la disimetría es completa: el pie de un contrafuerte queda en cierta altura sometido exclusivamente á las acciones de un solo elemento de pantalla. Pero como veremos, el mismo problema obliga á reforzar lateralmente el contrafuerte, constituyendo un robustísimo estribo (fig. 29).

(Continuará.)

Revista de las principales publicaciones técnicas.

Aplicaciones de la metrofotografía en Rusia.

La metrofotografía, es decir, el método que consiste en levantar planos por medio de los datos obtenidos en fotografías panorámicas de la región, es debida, como se sabe, al Coronel Laussedat y tiene de fecha unos cincuenta años, próximamente. Aunque este método no parece haberse adoptado de una manera tan general como hubiera sido de esperar, á causa de sus ventajas, sobre todo en los países abruptos, se pueden citar importantes trabajos geográficos realizados en Rusia, desde hace veinte años, por este método. M. Thiele publica, respecto á este asunto, una nota detallada en el *Bulletin de la Société française de Photographie*, del mes de Septiembre del año pasado.

Forma parte de esta nota la descripción de un aparato fotográfico de siete cámaras y siete objetivos, destinado á ser suspendido de un cometa ó de un globo cautivo, para tomar vistas panorámicas extensas: una de las cámaras se enfoca verticalmente hacia el suelo, y las otras seis, dispuestas simétricamente en corona alrededor de ella, toman vistas oblicuas que abrazan todo el horizonte. Un conmutador eléctrico ligero, combinado con un reloj y un nivel, desengancha á la vez los siete obturadores, cuando el aparato está á una altura suficiente y en la posición horizontal ó sea vertical el eje del primer objetivo. Todas estas disposiciones son estudiadas por M. Thiele que, además, indica el modo como ha de emplearse este «autopanorámógrafo», que pesa solamente 6 kilogramos, y publica unas fotografías obtenidas con este aparato.

Los derrumbamientos del canal de Panamá.

La Prensa de información se ha ocupado mucho en estos últimos tiempos de los derrumbamientos acaecidos en el canal de Panamá. Será, pues, interesante para los lectores de esta Revista tenerlos al corriente de los hechos, para lo cual extractamos los datos oportunos de un periódico técnico, las *Engineering News*, del 11 de Septiembre del año pasado.

Desde el principio de los trabajos emprendidos por los franceses se han producido derrumbamientos. Las colinas del Istmo

están formadas de arcilla rojiza, muy grasa y deslizante cuando está saturada de agua, como sucede durante la estación lluviosa.

En más de un tercio de la longitud de la trinchera de la Culebra, las colinas se encuentran á través del valle, en el cual se establece el canal. Cuando los desmontes llegan al pie de las colinas, se producen deslizamientos según diferentes planos. Los Ingenieros franceses han tenido que preocuparse de ellos, tanto más cuanto que tenían que realizar un canal á nivel, mientras que el proyecto actual es el de un canal á 25,95 metros por encima del nivel del mar.

Uno de los medios empleados corrientemente para impedir los deslizamientos, consiste en drenar las tierras, y éste aplicaron los franceses en la Culebra, sin gran resultado, porque no conviene este sistema en esta región en que sobrevienen grandes lluvias.

En 1904 se encargaron los americanos de las obras en la Culebra, y desde 1907, los desmontes llegaron á una cantidad importante. Desde este momento, los deslizamientos se han multiplicado y han sido causa de peligros constantes.

Hacia mediados de 1909, la mayor parte de los deslizamientos ocurrían en la capa de arcilla, situada en la parte superior del talud, pero desde entonces se han producido roturas en la roca en diferentes puntos; y, lo que es más grave, el fondo de la trinchera se ha levantado en varios sitios, bajo la acción de los empujes laterales.

Al principio del año 1911 existían trece deslizamientos importantes y nueve de menor importancia.

El mayor, el de Curaracha, data del tiempo de la empresa francesa; la superficie en movimiento es de 19 hectáreas, y el plano de rotura se halla á 555 metros del eje del canal. Desde que se encargaron los americanos, el prisma de deslizamiento se ha puesto en movimiento en ocho ocasiones diferentes, y de ellas ha resultado varias veces la obstrucción del canal de drenaje abierto en el eje del gran canal. Ya los americanos han transportado más de 1.530.000 metros cúbicos de esta masa en movimiento. Por otra parte, existen deslizamientos que compren-