

336

Tanques cilíndricos de Eje vertical

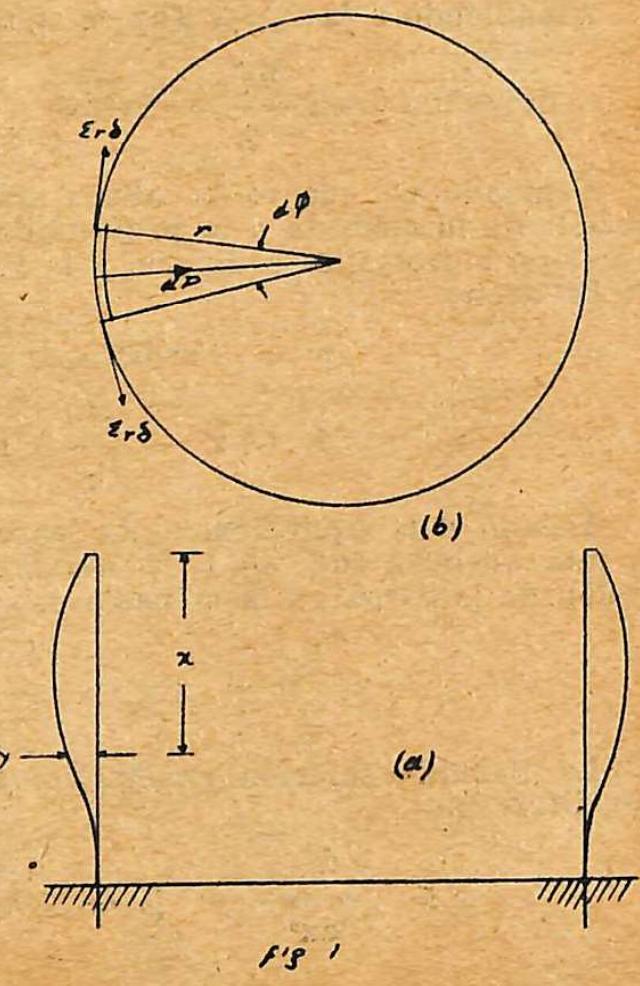
El análisis exacto de ésta estructura tal como puede verse en Muller-Breslau (Die Graphische Statik der Baukonstruktionen, editado por Alfred Kroner, Leipzig), es demasiado laborioso para que pueda justificarse en la práctica. No obstante, el ingeniero norteamericano Salter ha publicado en los "Transactions of the A. S. of C. E." un estudio muy completo que permite reducir notablemente el cálculo de aquellas fórmulas por medio de algunos diagramas.

El objeto del presente artículo es dar una exposición detallada de la fórmula aproximada debida a P. Luhrs, que aparece en la memoria del ingeniero Cornelio Flórez M., aparecida en el número 34 marzo de 1942, de la revista "Ingeniería y Arquitectura". de Bogotá.

Se trata de un tanque de pared uniforme en su espesor δ ; de altura de carga H ; base circular de radio r . Se supone que la fundación ofrece empotramiento perfecto a los elementos verticales y que no es dilatable en el sentido circunferencial. γ es el peso específico del líquido almacenado.

Aislemos un elemento vertical de anchura $= rd\theta$, para considerarle como ménsula empotrada en la base cuya ley de cargas vamos a considerar.

Si y es la dilatación radial que experimenta el elemento anular situado a la profundidad x , tendremos como alargamiento absoluto:



$$2\pi(r+y) - 2\pi r = 2\pi y$$

y como dilatación unitaria,

$$e = \frac{2\pi y}{2\pi r} = \frac{y}{r}$$

; el esfuerzo unitario vale en consecuencia:

$$\Sigma r = Ece = \frac{Ecy}{r} \quad (1)$$

(Ec léase siempre como E subcé)

La tracción circunferencial a la profundidad x , vale:

$$Z = \gamma x r dy$$

$$\text{y la tracción unitaria, } \Sigma r = \frac{\gamma x r dy}{\partial dy} = \frac{\gamma x r}{\partial} \quad (2)$$

De (1) y (2) se deduce:

$$\frac{Ecy}{r} = \frac{\gamma x r}{\partial} \therefore y = \frac{\gamma x r^2}{Ec\partial} \quad (3)$$

Atendiendo a la fig. 1 (b) se tiene

$$dP = 2\Sigma r \partial \sin \frac{d\phi}{2} = \Sigma r \partial d\phi$$

Teniendo en cuenta la altura unidad. Entonces, la carga que solicita la ménsula a la profundidad x es la diferencia entre la presión hidrostática ordinaria y la resultante de las tracciones, dP . Es decir,

$$\begin{aligned} p &= \gamma x r d\phi - \Sigma r \partial d\phi \\ &= (\gamma x - \frac{\Sigma r \partial}{r}) r d\phi \end{aligned}$$

Debido a la equivalencia de los elementos verticales se toma una anchura $r d\phi = 1$. Y atendiendo a la fórmula la expresión de la carga en la ménsula se convierte en

$$p = \gamma x - \frac{Ecy \partial}{r^2} \quad (4)$$

La llamada solución exacta consiste en integrar la ecuación diferencial

$$\text{EJ } \frac{d^4 y}{dx^4} = p = \gamma x - \frac{Ecy \partial}{r^2}$$

La integral general indica que la carga sigue una ley semejante a la que representa la figura 2, (a y b).

Por AB' se representa el primer sumando de la ecuación (4) y por $AA'OO'B$ el segundo sumando de la misma, cuyos valores son proporcionales a los de la elástica. Se reconoce que el punto en que la tangente a ésta curva es vertical, está muy cerca del punto O' de inflexión.

Los desarrollos analíticos que siguen, provienen de reemplazar el estado de carga representado por la figura 2-b, por los dos estados que representa la fig. 3-a y 3-b y reemplazar el efecto de las cargas distribuidas de 3-b; por una carga concentrada P' situada en O' .

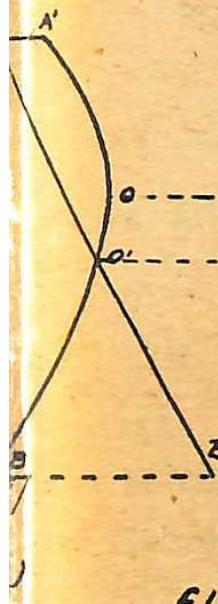
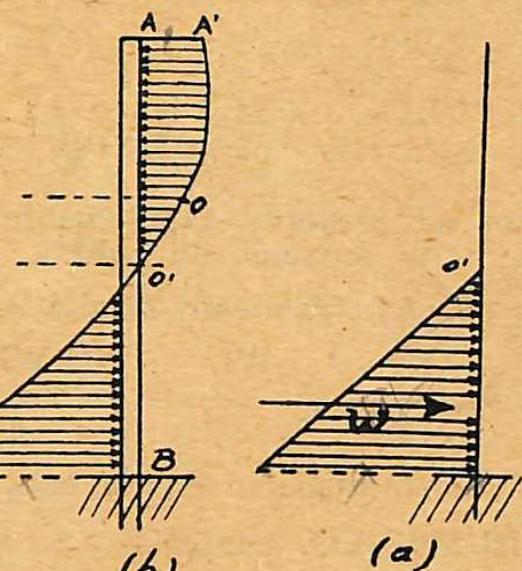


FIG 2



(a)

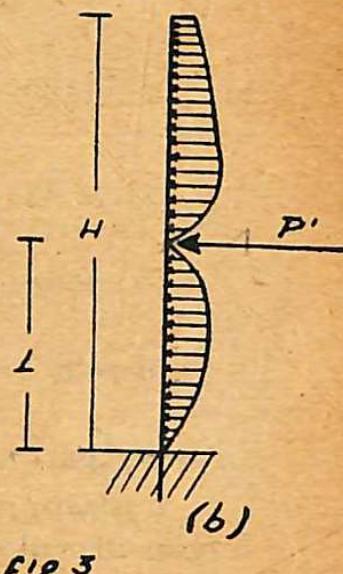


FIG 3

Ahora todo se reduce al estudio de las deformaciones angulares y lineales de la ménsula cuya longitud L queremos conocer (Véase Apéndice).

Si Θ_w y Θ_p' son las deformaciones angulares producidas en O' por la carga triangular de valor W y por P' , serán respectivamente

$$\Theta_w = \frac{WL^2}{12EJ}, \quad \Theta_p' = \frac{PL^2}{2EJ}$$

y como $\Theta_w + \Theta_p' = 0$

$$\text{será: } \frac{WL^2}{12EJ} = -\frac{PL^2}{2EJ} \quad \therefore P = -\frac{W}{6}$$

La deformación lineal de la ménsula en O' será

$$y = \frac{WL^3}{15EJ} + \frac{PL^3}{3EJ} = \frac{WL^3}{15EJ} - \frac{WL^3}{18EJ} = \frac{WL^3}{90EJ}$$

y según (3)

$$\frac{\gamma xr^2}{Ec\sigma} = \frac{WL^3}{90EJ} \quad \text{sustituyendo } W \text{ por su valor } \frac{\gamma HI}{2}$$

se llega finalmente a

$$\frac{\gamma (H - L)r^2}{Ec\sigma} = \frac{\gamma HL^4}{180EJ}$$

Se acepta $Ec = E$ y se suprime. Luego se tiene en cuenta

$$\text{que } J = \frac{1}{12} \sigma^3, \text{ para tener } (H - L)r^2 = \frac{HL^4}{15\sigma^2}$$

$$\text{y finalmente } L^2 = \sqrt{\frac{1}{15}} \sigma r \sqrt{1 - \frac{L}{H}}$$

ecuación que se resuelve rápidamente por falsa suposición. La anterior es la ecuación de Luhrs.

El momento de empotramiento resulta ser:

$$M_{\min.} = - \frac{WL}{3} + \frac{WL}{6} = - \frac{WL}{6} = - \frac{HL^2}{12}$$

y según los autores mencionados $M_{\max.} = - 0.27 M_{\min.}$

EJEMPLO NUMERICO. Contención de agua. Material: hormigón armado.

$$r = 10 \text{ mts. } H = 4.50 \text{ mts. } \sigma = 0.25 \text{ mts.}$$

$$\text{resulta ser } L^2 = 9.67 \sqrt{1 - \frac{L}{H}} \quad (5)$$

por rápidos tanteos se ve que el valor $L = 2.53$ satisface la ecuación anterior

$$M_{\min.} = - 1000 \times 4.50 \times 2.53 \times 2.53/12 = - 2.400 \text{ K} \times \text{m}$$

$$M_{\max.} = 0.27 \times 2.400 = 650 \text{ K} \times \text{m}$$

La máxima tracción circumferencial se presenta a la profundidad

$$4.50 - 2.53 = 1.97$$

$$\text{su valor es } Z = 1000 \times 1.97 \times 10 = 19700 \text{ Kgs.}$$

El diseño del reforzamiento se reduce por lo demás a una cuestión de rutina

APENDICE. Deformaciones de la ménsula (Cantilever).

Primer caso. Carga concentrada P'

Las deformaciones angulares se obtienen por la fórmula

$$\Theta P' = \int_0^L \frac{M dz}{EJ}$$

y la deformación lineal

$$\delta P' = \int_0^L \frac{Mz dz}{EJ}$$

en este caso es $M = P'z$ por consiguiente

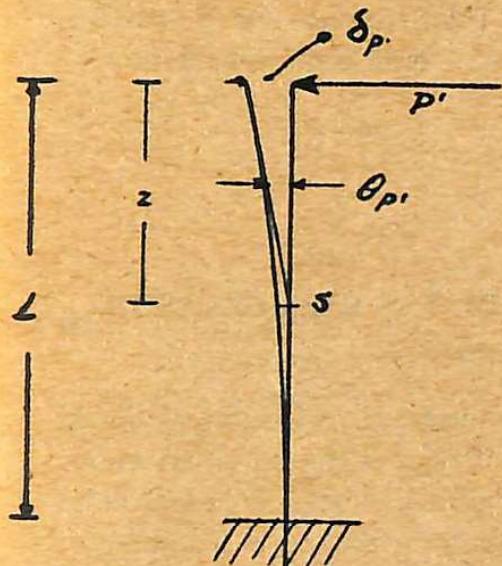


fig 4

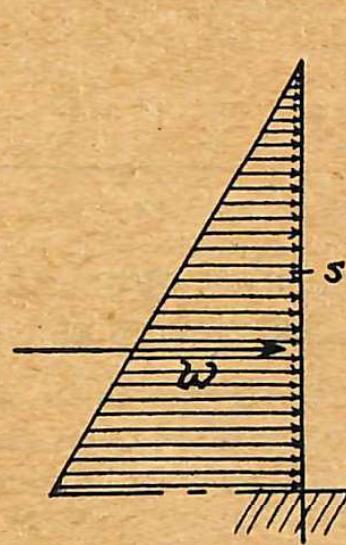


fig 5

$$\Theta p' = \frac{P'L^2}{2EJ} \text{ y } \delta p' = \frac{P'L^3}{3EJ}$$

Segundo caso. Carga triangular W .

La carga sobre un punto S se expresa por

$$W = \frac{Z^2}{L^2}$$

y el momento de flexión

$$W \frac{Z^3}{3L^2}$$

entonces

$$\Theta w' = \int_0^L \frac{WZ^3 dz}{3L^2 EJ} = \frac{WL^2}{12EJ}$$

$$\partial w' = \int_0^L \frac{WZ^4 dz}{3L^2 EJ} = \frac{WL^3}{15EJ}$$

Estas son fórmulas utilizadas en el análisis de un elemento vertical de tanque.

Ingo LUIS DE GREIFF B.

Profesor de la Facultad
Nacional de Minas

SEPARACION DE LA SILICE DISUELTA, DE LAS SALMUELAS DE CARBONATOS ALCALINOS

La separación de la sílice disuelta en las salmueras de carbonatos alcalinos, por medio de un procedimiento en dos etapas que implica el empleo de un carbonato magnésico básico, la hidromagnesita, ha sido objeto de estudio. Como mecanismo para separar la sílice se consideró la formación de un compuesto, o la absorción, o una combinación de ambos métodos. Se desechó la formación de un compuesto a causa de la inconstancia de la relación molar de la magnesia y la sílice. Se cree que el mecanismo adecuado es la absorción, calculando los resultados por medio de las ecuaciones de absorción de Freundlich. La representación logarítmica de las isotermas de absorción de Freundlich, toma la forma de líneas rectas de pendiente constante. Las intersecciones de estas líneas son proporcionales a la concentración molar Na_2CO_3 , K_2CO_3 de las soluciones de donde se absorbe la sílice. Por consiguiente, existe una relación entre el coeficiente de Freundlich y la concentración de carbonatos en las soluciones. Se explica el fundamento de esta relación. Se formula una ecuación final para el rendimiento de la eliminación de la sílice del carbonato de magnesio básico, en función de las concentraciones de sílice y de los carbonatos alcalinos en la solución.

(Chemical and Metallurgical Engineering).