TESIS DE GRADO

Antonio Bermúdez Araya

Julio 1948

DISEÑO DE UN TANQUE CIRCULAR DE CONCRETO PARA AGUA

DATOS:

Altura del tanque = 23 pies

Diámetro del tanque = 15 pies

Peso del agua (w) = 62.5 lb por pié cúbico

El tanque estará abierto en la superficie superior y empotrado en su base.

GRUESO DE LA PARED

Hallemos una expresión general que nos dé el grueso de la pared del tanque en función de la presión soportada por la pared.

Sea w = peso de un pié cúbico de agua.

d = diámetro del tanque en pies.

h = distancia a la que se encuentra cualquier punto de la superficie superior del tanque.

r = radio del tanque en pies.

Asumiendo el tanque lleno tenemos:

$$p = hw$$

Como la presión en lb/pie^2, en cualquier punto de la superficie interna. Esta presión actúa perpendicularmente a la superficie interior del tanque y tiende a comprimir el material hacia afuera radialmente y alargar la circunferencia interior del tanque, causando así un esfuerzo tangencial de tensión (figs 1 y 2)

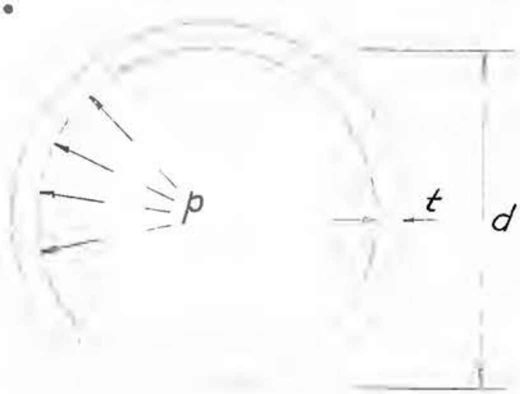


fig. 1

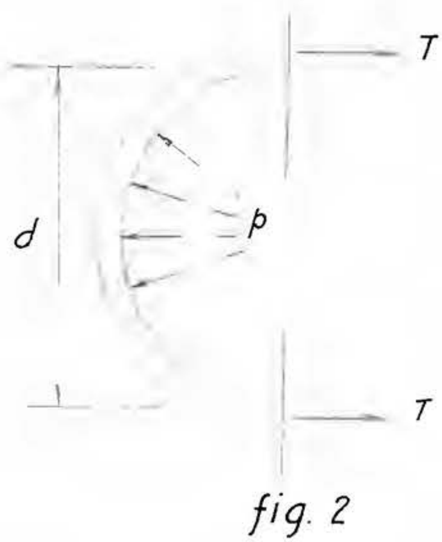


fig. 2

Consideremos un anillo elemental de altura.

igual a 1 pié sujeto a una presión p La fig. 2 muestra una sección horizontal de este anillo con las fuerzas que actúan en una mitad de dicha sección, siendo T la fuerza de tensión en la pared.

Puesto que todas las fuerzas están en equilibrio sus componentes perpendiculares al diámetro d tienen que ser iguales, luego

$$p \times d = 2T$$

$$T = pr \qquad (1)$$

La expresión (1) nos da el valor de la tensión T en la pared del tanque en función de la presión p en cualquier punto y del radio r.

Para tanques de paredes delgadas o sea aquellos en los que el grueso de la pared es pequeño comparado con su diámetro, esta tensión T se considera distribuido uniformemente en la pared. Si la pared fuera gruesa y se considera como tales aquellas en las cuales la razón de grueso de pared a diámetro de tanque excede 0.05 ó 0.1 según otros criterios, la intensidad de esfuerzo varía siendo mayor en el lado interno de la pared. Al obtener el grueso de pared deben tomarse en consideración todos los requisitos necesarios para evitar que se produzcan grietas en el concreto y así eliminar la posibilidad de que se produzcan también derrames.

Se ha podido comprobar por experimentos llevados a cabo que con elongaciones comprendidas entre 0.00016 y 0.[illegible]0 pulgadas por pulgada, se producen grietas en el concreto.

Para un esfuerzo unitario en el concreto de 200 lb/pulg² y de 3000 en el acero se obtiene una elongación de 0.0001 pulg/pulg. Por eso para obtener el grueso de pared necesario y evitar grietas el esfuerzo unitario en tensión del concreto debe mantenerse bajo, entre 100 y 200 lb/pulg²

Se ha experimentado que en tanques con alturas no mayores de 30 pies se pueden usar satisfactoriamente esfuerzos en el acero entre 8000 y 10000 lb/pulg². Debe haber acero suficiente para tomar toda la tensión en caso de que el concreto se agriete.

Consideremos una franja horizontal de un pié de alto alrededor del tanque y sea.

t = grueso de la pared en pulgadas.

f_c = esfuerzo permisible en el concreto = 100 lb/pulg²

f_s = esfuerzo permisible en el acero = 10.000 lb/pulg²

$n = 15$

Tenemos:

$A_c = 12 \times t$ area en pulg² de la sección de concreto.

$A_s = \frac{T}{10000}$ area del acero en pulg²

$$f_c = \frac{T}{A_T} = \frac{T}{A_c + n\,A_s} = \frac{T}{12\,t + \frac{15\,T}{10000}}$$

$$100 = \frac{10000\,T}{120000\,t + 15\,T}$$ de aquí obtenemos

$t = 0.000708\ T$

$t = 0.000708\ pr \quad (2)$

DISEÑO DE LA PARED

Presión en el fondo del tanque $p = hw = 22.5 \times 62.5$ $1407\ lb/pie^2$, como la presión promedio en la franja del fondo de un pie de alto.

Esfuerzo tangencial debido a esta presión tenemos según (1)

$$T = pr = \frac{1407 \times 15}{2} = 10540\ lb$$

Y como grueso necesario en el fondo tenemos según (2)

$t = 0.000708\ pr = 0.000708 \times 10540 = 7.47$ pulg; pongamos 7.5 pulg

Como el grueso de la pared está en función de la presión soportada por la pared y ésta varía desde cero en la parte superior hasta un máximo en el fondo, tendríamos que el grueso de la pared también sería cero en la superficie y máximo en el fondo. Luego en la superficie superior le damos un espesor suficiente para la fácil colocación del concreto y del acero, digamos seis pulgadas.

El tanque tendrá pues 7.5 pulg. de grueso en el fondo y 6 pulg en su borde y la superficie externa con esta pendiente.

Veamos ahora el acero necesario y su espaciamiento en toda la altura del tanque.

En el fondo del tanque teníamos $T = 10540$ lb

$$A_s = \frac{10540}{10000} = 1.05\ pulg^2$$ por pie de alto.

Usando varillas redondas de 5/8" y colocando la mitad en cada lado nos quedan 2 varillas

A 4 pies del fondo del tanque tenemos:

$p = 19 \times 62.5 = 1188$ lb/pie^2

$T = 1188 \times \frac{15}{2} = 8900$ lb

$A_s = \frac{8900}{10000} = 0.89$ pulg^2 por pie de alto

Usamos 2 ∅ 5/8" @ 6" en cada lado.

A 8 pies del fondo.

$p = 15 \times 62.5 = 938$ lb/pie^2

$T = 938 \times \frac{15}{2} = 7040$ lb

$A_s = 0.704$ pulg^2

Usamos 2 ∅ 1/2" @ 6" en cada lado.

A 12 pies del fondo

$p = 688$ lb/pie^2

$T = 5160$ lb

$A_s = 0.516$ pulg^2

Usamos 2 ∅ 1/2" @ 6" en cada lado.

A 16 pies del fondo

$p = 438$ lb/pie^2

$T = 3280$ lb

$A_s = 0.328$ pulg^2

Usamos 2 ∅ 3/8" @ 4 1/2" en cada lado.

A 20 pies del fondo

$p = 188$ lb/pie^2

$T = 1410$ lb

$A_s = 0.141$ pulg^2

Usamos 2 ∅ 3/8" @ 6" en cada lado.

La distribución completa de las varillas en toda la altura del tanque se muestra al final de la tesis.

EFECTO DEL EMPOTRAMIENTO EN LA BASE

Estando empotrada la pared en la base, deja de existir en este punto tensión tangencial ya que la pared está imposibilitada para moverse hacia afuera y más bien tratará de trabajar como una viga vertical empotrada en su punto más bajo. Esta acción de viga termina en el punto en el cual la pared se encuentre bastante libre y se produzca solamente tensión tangencial.

La pared se flexionará como lo muestra la fig. 3. El diagrama total de presiones es un trapecio con un valor igual a w (1-n) arriba y en la base wl.

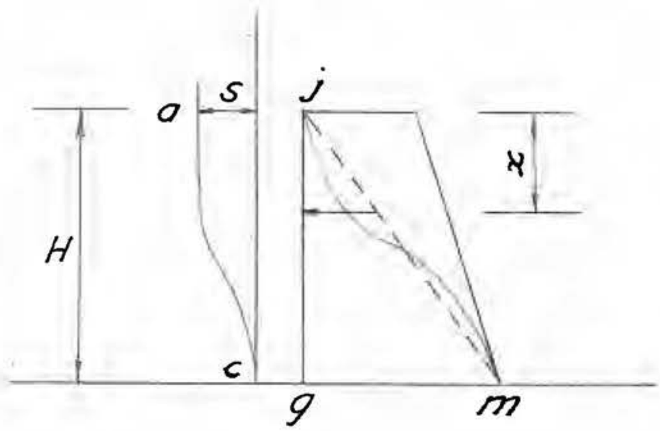


fig.3

Para analizar la viga vertical tenemos que ver la parte del trapecio de presiones que actúa sobre la viga.

Puesto que las deformaciones son proporcionales a los esfuerzos, el diagrama que muestre la variación de los esfuerzos tangenciales será un diagrama similar al diagrama de deformación ca. y si restamos este diagrama al trapecio de presiones, nos quedará la presión soportada por la viga. Vemos que podemos usar con bastante aproximación como presión sobre la viga el triángulo j-g-m (fig. 3)

Refiriéndonos a la fig 3. tenemos:

a = punto donde cesa la acción de viga o voladizo vertical.

H = altura en pulgadas sobre la base, del punto a

M = momento en el punto a

M'= momento en la base de la pared.

Vamos a analizar una franja vertical de pared de un pie de ancho y para uniformidad de unidades en las ecuaciones que se van a deducir p" será la presión en la base de la franja por pulgada de alto.

Tomando como origen de coordenadas el punto a, usamos el método de Trabajo Mínimo para la obtención del momento en el punto a; tenemos:

$$W = \int \frac{M^2 dx}{2\,EI}$$

$$(\alpha) \quad M_x = M - \frac{p''x^2}{2H} \cdot \frac{x}{3} = M - \frac{p''x^3}{6H}$$

$$W = \int_0^H \left(M - \frac{p''x^3}{6\,H} \right)^2 \frac{dx}{2EI}$$

$$\frac{dW}{dM} = \int_0^H 2\left(M - \frac{p''x^3}{6H} \right) \frac{dx}{2EI} = 0$$

$$\int_0^H \left(M - \frac{p''x^3}{6H} \right) dx = 0$$

$$M.x - \frac{p''x^4}{24H} \Big|_0^H = 0$$

$$MH - \frac{p''H^4}{24H} = 0$$

$$(3) \quad M = \frac{p''H^2}{24}$$

Momento en la base de la pared.- De la ecuación (α) tenemos para $x = H$,

$$(\alpha) \quad M' = \frac{p''H^2}{24} - \frac{p''H^2}{6} = -\frac{3p''H^2}{24}$$

$$(4) \quad M' = -\frac{p''H^2}{8}$$

$$\alpha) \quad M_x = M - \frac{p''x^3}{6H}$$ en el punto de inflexión el momento vale cero, luego

$$M - \frac{p''x^3}{6H} = 0$$

$$\frac{p''H^2}{24} - \frac{p''x^3}{6H} = 0$$

$$x^3 = \frac{p''H^2}{24} \times \frac{6H}{p''} = \frac{H^3}{4}$$

$$\underline{x = 0.63H}$$

Lo que demuestra que el punto de inflexión se encuentra a $\underline{0.37H}$ de la base de la pared hacia arriba.

Para hallar la deflexión total en el punto a usamos el método de Trabajo; tenemos.

$$S = \frac{M\,m\,dx}{EI}$$

Siendo M = momento en cualquier sección debido a las cargas que producen la deflexión que se busca

m = momento en la misma sección debido a la carga unitaria que se aplica en el punto donde se busca la deflexión luego $$M_x = M - \frac{p'' x^3}{6H} = \frac{p''H^2}{24} - \frac{p''x^3}{6H}$$

$$m_x = -x$$

$$\delta = \int \left(\frac{p''H^2}{24} - \frac{p''x^3}{6H}\right)(-x)\,\frac{dx}{EI} = \int \left(-\frac{p''H^2 x}{24} + \frac{p''x^4}{6H}\right)\frac{dx}{EI}$$

$$\delta = \left[-\frac{p''H^2 x^2}{48} + \frac{p''x^5}{30H}\right]_0^H \frac{1}{EI}$$

$$\delta = \left(-\frac{p''H^4}{48} + \frac{p''H^4}{30}\right)\frac{1}{EI} = \frac{3p''H^4}{240\,EI}$$

(5) $$\delta = \frac{p''H^4}{80EI}$$

Ahora el valor de δ en el punto a debe ser igual al aumento de longitud del radio en ese punto.

La elongación total de un anillo del tanque será:

$$dL = \frac{fL}{E}$$

$$dL = \frac{f \times 2\pi r}{E}$$

El aumento de longitud del radio, dr será

$$2\pi R_1 = 2\pi r + dL$$

$$2\pi R_1 = 2\pi r + \frac{f \cdot 2\pi r}{E}$$

$$R_1 = r + \frac{fr}{E}$$

$$r + dr = r + \frac{fr}{E}$$

$$dr = \frac{fr}{E}$$

En este caso $\delta = dr = \frac{1[illegible]\times 7.5\times 1[illegible]}{2000000} = 0.0045$ pulg.

De la ecuación (5) obtenemos

$$(6)\qquad H=\sqrt[4]{\frac{80\,E_c\,S\,I}{p''}}$$

Como altura de pared, sobre la base, en que existe acción de voladizo.

En el presente caso tenemos:

$S = 0.0045$ pulg

$A_c = 12x7.5 = 90$ pulg^2

Asumamos $A_s = 0.6$ pulg^2 y un recubrimiento de una pulgada.

$p'' = \frac{23x62.5}{12} = 120$ lb por pulg de alto y por pie de ancho

$I = \frac{1}{12}x12x7.5^3 + 15x0.6x2.75^2 = 422+68$

$I = 490$ pulg^4 (aproximadamente)

$$(6)\qquad H=\sqrt[4]{\frac{80x2000000x0.0045x490}{120}} = 41.6 \text{ pulg.}$$

$H = 42$ pulg.

Hallemos el momento en la base de la pared

$$(4)\qquad M' = -\frac{120x42^2}{8} = -26460 \text{ lb-pulg.}$$

$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{26460}{10000x0.87x6.5} = 0.467$ pulg^2

Usamos ϕ 5/8" a 6"

El momento en el punto a vale

(c) $M = \frac{p''h^2}{24} = \frac{1}{3} M'$ luego en este punto necesitamos la tercera parte del acero en la base.

$$A_s = \frac{0.467}{3} = 0.156 \text{ pulg}^2$$

Usamos ϕ 1/2" @ 12"

El esfuerzo cortante en la base vale

$$V = \frac{[illegible]}{2 \times 12} = 2520 \text{ lb}$$

$$v = \frac{V}{bjd} = \frac{2520}{12 \times 0.87 \times 65} = 37 \text{ lb/pulg}^2 \text{ - correcto}$$

[illegible] para diseño de viento

La presión unitaria ejercida por el viento varía de acuerdo a la forma de la superficie y a las condiciones locales. Sin embargo para cuerpos cilíndricos se acostumbra usar una presión de viento igual a 30 lbs por pie cuadrado de proyección vertical.

La fuerza total del viento en lbs, actuando encima de cualquiera sección a una distancia h medida del borde del tanque hacia abajo, vale

$P = hDp_v$ siendo

D = diámetro exterior de la superficie expuesta, en pies

p_v = presión unitaria debido al viento, lb por pie cuadrado

Se considera a esta fuerza actuando en el centro de gravedad del area proyectada.

El momento debido a esta fuerza a cualquier distancia h del borde del tanque hacia abajo, vale

$$M_v = \frac{h^2}{2} Dp_v$$

El esfuerzo unitario en las fibras extremas lo hallamos por la fórmula

$f_v = \frac{Mc}{I}$ siendo

c = radio del tanque

I = momento de inercia de la sección transversal horizontal del tanque

$$I = \frac{\pi(D^4-d^4)}{64}$$

En este caso tenemos:

$p = hDp_v = 23x15.625x30 = 10800$ lbs como presión total del viento en el tanque.

$M = \frac{10800x23}{2} = 124000$ lb-pie, momento en la base del tanque.

Este momento producirá compresión en un lado del tanque y tensión en el lado opuesto.

$$I = \frac{\pi}{64}(16.25^4 - 15^4) = 938 \text{ pies}^4$$

$$f_v = \frac{Mc}{I} = \frac{124000x8.125}{938} = 1075 \text{ lb por pie cuadrado} = 7.47\#/\text{pulg}^2$$

Peso de la pared $= \frac{6.75x23x150}{12} = 1940$ lb por pie de pared.

$$\frac{1940}{7.5x12} = 21.5 \text{ lb/pulg}^2$$

Como presión máxima en la pared tenemos 29 lb/pulg². En este caso debido a la altura moderada del tanque, el esfuerzo debido al viento no es de importancia, pero si puede llegar a ser en el caso de tanques de mayor altura.

DISEÑO DE LA LOSA DE LA BASE

Diámetro de la base = 15'

Area de la base = $\pi x 7.5^2 = 176.5$ pies^2

Presión total en la base debido al agua.

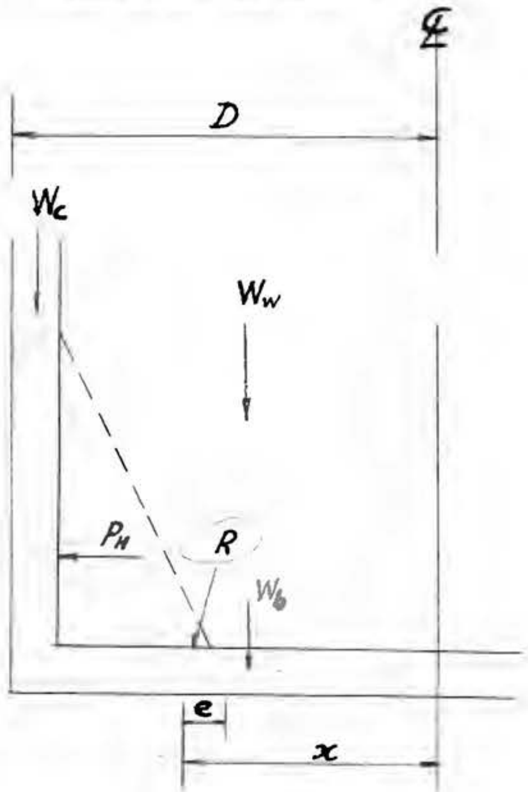
$$\pi x 7.5^2 x 23 x 62.5 = 254000 \text{ lb}$$

Como presión unitaria en la base tenemos

$$\frac{254000}{176.5} = 1440 \text{ lb/pie}^2$$

Prácticamente no hay ningún momento en la base; pero siempre reforzamos la losa tal como se muestra al final de la tesis como una medida preventiva contra cualquier posible esfuerzo producido por asentamientos en la fundación.

ESFUERZOS EN LA FUNDACION



Tomamos momentos con respecto a

FUERZA	BRAZO	MOMENTO
$W_c = 1940$	7.81	15150
$W_w = 7.5 \times 23 \times 62.5 = 10780$	3.75	40400
$P_H = 23 \times 62.5 \times \frac{0.5}{2} = 2020$	1.188	2940
$W_b = 0.5 \times 7.5 \times 150 = 562$	3.75	2110
		60600

$$x = \frac{60600}{13282} = 4.56'$$

$$e = x - \frac{B}{2}$$

$$e = 4.56 - 4.06 = 0.5$$

$$P_{mx} = \frac{W}{B}\left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{13282}{8.125}\left(1 + \frac{6 \times 0.5}{8.125}\right) = 1635 \times 1.36 = 2230 \quad /\square'$$

DISEÑO DE LA CUBIERTA

Diseñaremos la cubierta como una losa armada en dos direcciones

CARGAS:

muerta = 0.5x150 = 75 #/□' (~~asumiendo~~ suponiendo grueso de 6 pulg).

viva = 30

$q = 105$ #/□'

$l_x = l_y = 15$ pies

$$q_x = \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} \times q = \frac{15^4}{15^4 + 15^4} \times 105 = 52.5$$

$q_y = 52.5$ #/□'

$$M_x = M_y = \frac{1}{8} \times 52.5 \times 15^2 = 1480 \text{ lb- pie}$$

$$\mathcal{M}_x = \mathcal{M}_y = \frac{1}{8} \times 105 \times 15^2 = 2960 \text{ lb- pie}$$

$$\gamma_x = 1 - \frac{5}{6}\frac{M_x}{\mathcal{M}_y} = 0.583$$

$$\gamma_y = 0.583$$

$$\gamma'_x = \frac{1 + \gamma_x}{2} = 0.792$$

$$\gamma'_y = 0.792$$

$$M'_x = M'_y = 0.792 \times 1480 = 1172 \text{ lb.-pie}$$

$$r_s / r_c = 16000/650 \;, \quad K = 108$$

$$d = \sqrt{\frac{1172}{108}} = 3.3''$$

Dejaremos el grueso de 6 pulg. en el centro y le daremos a la losa una pendiente tal que su grueso sea de 4 pulg. sobre las paredes

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} = 0.1534$$

Usamos ∅ 1/2" @ 8 pulg- cruzada

El peso de la cubierta debe tomarse en cuenta en el análisis de los esfuerzos en la pared y en la fundación sin embargo se ve que eso no afectará mucho los resultados obtenidos.

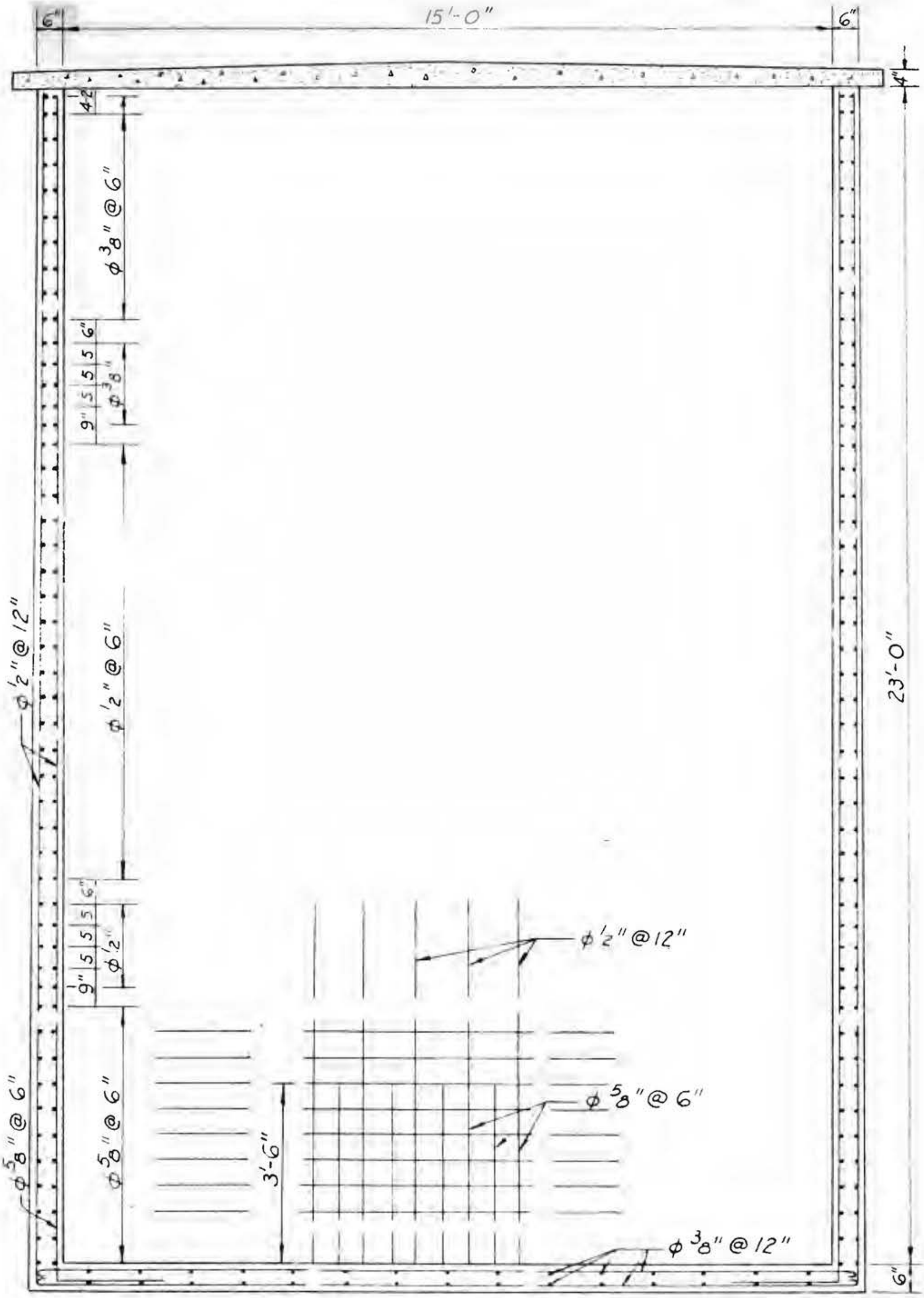
B I B L I O G R A F I A

Pressure vessels manual - Karl Siemon

Concrete Engineer s Handbook - Hool and Johnson.

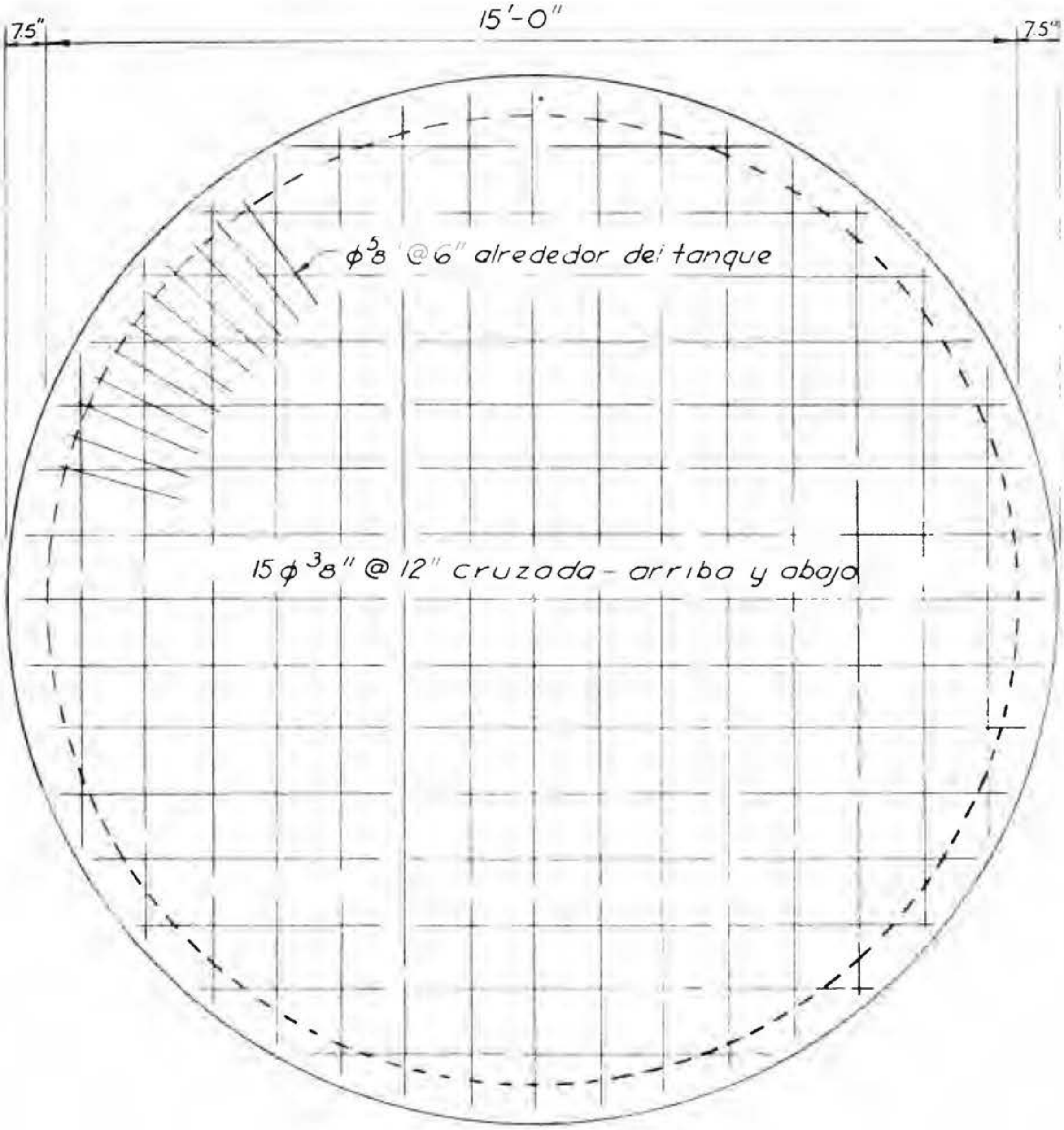
Hormigón Armado - Kersten.

y principalmente el estudio sobre tanques circulares de J. . Kirkham.



PARED

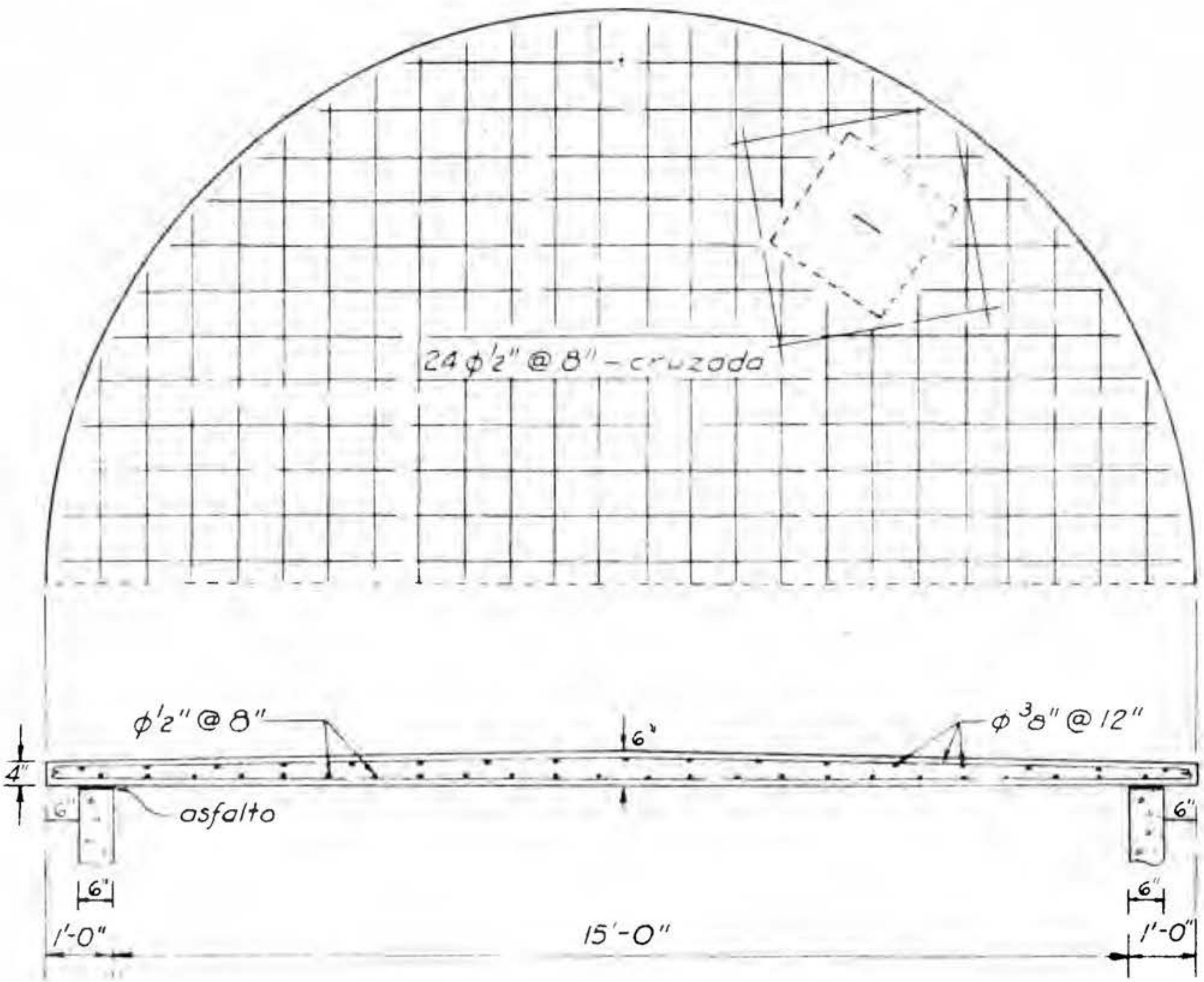
ESC.:3/8" =1'



15'-0"
7.5"
7.5"
ϕ 5/8" @ 6" alrededor del tanque
15 ϕ 3/8" @ 12" cruzada - arriba y abajo

BASE

ESC: 3/8" = 1'



CUBIERTA

ESC: 3/8" = 1'