

# Estudio de un tranque en bóveda de radio variable para el embalse de las lagunas de Mondaca

POR

LUIS EYQUEM

---

*Generalidades.*—El proyecto consiste en el estudio de un tranque ubicado en el desagüe de las lagunas de Mondaca, origen del río Lontué; estas se componen de:

La Laguna Grande situada aguas arriba, con una superficie de 90 Hs. y una cota aproximada de 1 460 m. sobre el nivel del mar,—y

La Laguna Chica, con una diferencia de nivel con la anterior de 2.<sup>m</sup>30, tiene una superficie de 20 Hs.

El origen de estas lagunas se debe a la aparición del volcán «El Chivato» que hizo erupción al lado S. del valle del Lontué, exparciendo una gran corriente de lava que obstruyó el talweg, dando origen a una gran laguna con un nivel 47 m. superior al actual nivel de la Laguna Grande. Posteriormente las aguas han ido horadando el desagüe, hasta llegar al nivel que actualmente ocupan.

Estas lagunas están alimentadas por los esteros de San José (8,3 m.<sup>3</sup> según aforo de Enero de este año), y el Volcán (5,7 m.<sup>3</sup> según aforo de Enero de este año).

Las variaciones diurnas del San José son poco pronunciadas, en cambio las del Volcán son muy fuertes.

*Idea general del proyecto.*—Consiste éste en un tranque de concreto en arco de radio variable, de 40 m. de altura, ubicado en el desagüe de la Laguna Chica, —con una capacidad entre el actual nivel de las lagunas y el nivel futuro de las aguas, de 70 (XX) (XX) m.<sup>3</sup>

Las obras de toma consisten en un túnel labrado en la roca con dos tomas a distintas alturas. Se consulta un vertedero de rebalse, unido al túnel de bocanilla, para las creces normales. Las creces extraordinarias rebalsarán por sobre el tranque, que tiene su base protegida por un colchón de agua.

*Tipo de tranque.* — La extensión considerable de la hoya hidrográfica (XX Hs.), y la altura reducida sobre el nivel del mar de la ubicación del tranque, son razones que rechazan la idea de un tranque de tierra, porque puede pro-

ducirse una intensa precipitación en forma de lluvia en una gran extensión de la hoya, para la cual toda obra de rebalse se haría insuficiente.

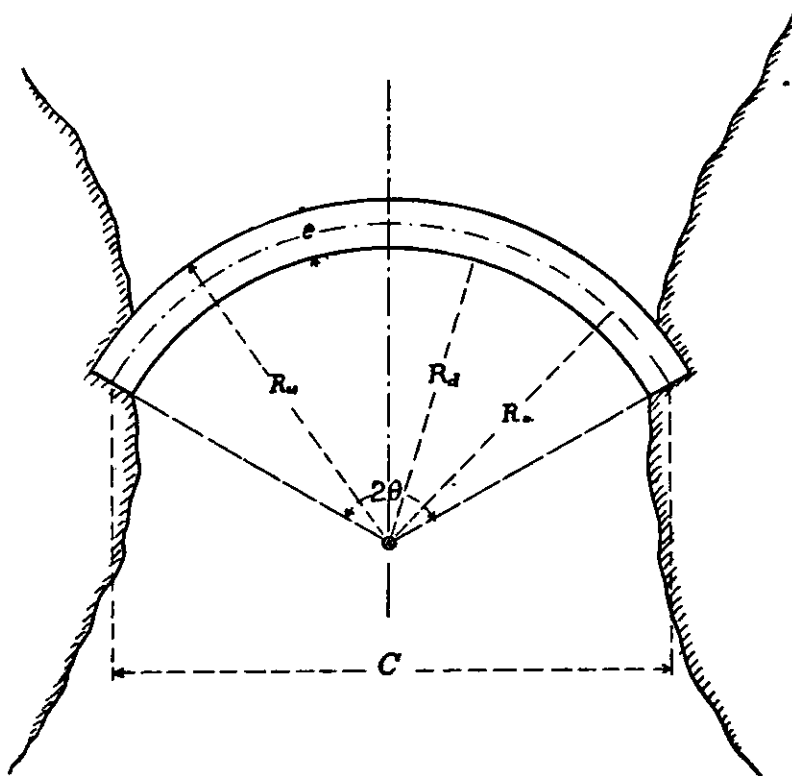
Por otra parte el fondo y costados de roca de la quebrada de desagüe presentan una base adecuada para un tranque de albañilería.

La forma especial de la quebrada se presta para la aplicación de un tranque en bóveda, que permite en muchos casos una economía apreciable. Ultimamente se ha estudiado y construido en Estados Unidos, un nuevo sistema de tranques en bóveda con radio variable, con lo cual se consigue una reducción sensible del cubo de albanilería.

He aplicado este sistema para el tranque proyectado en Mondaca.

### Cálculo de un tranque en bóveda de radio variable

La economía de un tranque en bóveda depende del radio elegido; aceptando que el tranque en bóveda se descompusiera en una serie de anillos horizontales,



*Fig. 1*

sometidos por la acción del agua a compresión simple, el espesor  $e$  de uno de estos anillos será:

$$e = \frac{R_u H}{t} \text{ (fórmula de Napier).}$$

siendo  $R_u$  el radio aguas arriba del anillo en cuestión,  $H$  la altura de agua sobre el anillo y  $t$  la fatiga admitida. (fig. 1)

El espesor  $e$  es proporcional a  $R_u$  que puede variar entre  $\frac{1}{2} C$  (siendo  $C$  la cuerda del arco, o luz del anillo), hasta  $\infty$ ; entre estos límites pasará el volúmen del anillo por un mínimo.

Tomando un anillo de altura igual a la unidad, su volúmen será,

$$V = e R_m \times 2 \theta$$

$$R_m = \frac{C}{2 \operatorname{sen} \theta}; e = \frac{H R_u}{r} = K R_m = \frac{K C}{2 \operatorname{sen} \theta}$$

$$V = e R_m \times 2 \theta = K \frac{2 C^2 \theta}{4 \operatorname{sen}^2 \theta} = K' \frac{\theta}{\operatorname{sen}^2 \theta}$$

$K$  y  $K'$  son constantes que sólo varían con la cuerda  $C$ , que es fija para el anillo considerado.

El volúmen del anillo varía pues con el término  $\frac{\theta}{\operatorname{sen}^2 \theta}$ , y su mínimo se obtiene igualando a cero la primera derivada.

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{\operatorname{sen}^2 \theta - 2 \theta \operatorname{sen} \theta \cos \theta}{\operatorname{sen}^4 \theta} = 0$$

$$\operatorname{sen} \theta (\operatorname{sen} \theta - 2 \theta \cos \theta) = 0$$

Primera solución,  $\operatorname{sen} \theta = 0$ , que debe corresponder a un máximo, ya que en ese caso el espesor resulta infinito,  $e = \frac{V}{0}$ .

Segunda solución

$$\operatorname{sen} \theta - 2 \theta \cos \theta = 0$$

$$\operatorname{tg} \theta = 2 \theta$$

$$\theta = 67^\circ$$

Valor de  $\theta$  que hace mínimo a  $V$ ; resultando el ángulo al centro más ventajoso:

$$2 \theta = 134^\circ$$

Se conseguirá un cubo de albañilería mínimo para el tranque cuando el ángulo al centro se mantenga alrededor de la cifra calculada en toda la altura del tranque.

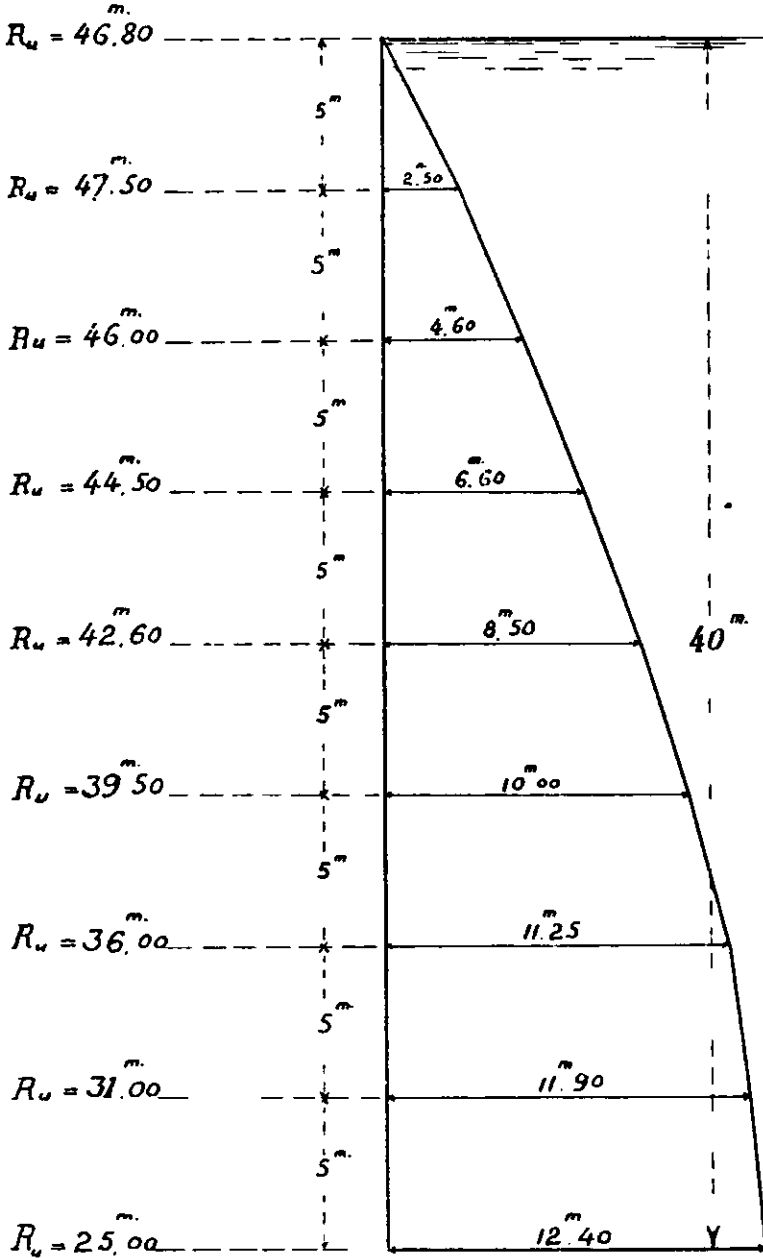


Fig. 2

En la práctica no se puede conservar el ángulo constante en la altura total del tranque, pues al pretender hacerlo, habría que dejar secciones del muro en desplome, lo que conviene evitar.

Para conseguir un primer diseño del tranque, determinaremos los espesores de diversas alturas, valiéndonos de la fórmula de Napier:

$$e = \frac{H R_u}{t}$$

En vista de la forma por demás atrevida de estos tranques, he creído prudente fijar una tasa bastante reducida, aceptando una fatiga  $r = 10$  Kg. por  $c/m.^2$ , —y la condición de que en ningún punto se presenta el muro en desplome.

Con estas bases se ha ido calculando los espesores de cinco en cinco metros, fijando gráficamente la variación de  $R_u$ . La figura que acompaño (fig. 2) es un perfil transversal del tranque según el plano vertical fijado por los centros de los diversos arcos.

En este cálculo preliminar no se ha tomado en cuenta el peso propio, y se ha supuesto que la totalidad del empuje del agua lo resiste el tranque trabajando como arco; en realidad una parte del empuje es contrarrestado por el tranque en forma de muro, desde el momento que el tranque está anclado en la roca en toda su extensión lo que le impiden tomar las deformaciones que corresponderían a un arco.

La carga solicitante deberá dividirse entre arco y muro proporcionalmente a sus rijideces relativas.

Un elemento sometido a cierto esfuerzo sufre una deformación dada, y si el material no es solicitado más allá del límite de elasticidad, el valor de la deformación es proporcional al esfuerzo solicitante, el cual puede determinarse midiendo la deformación respectiva.

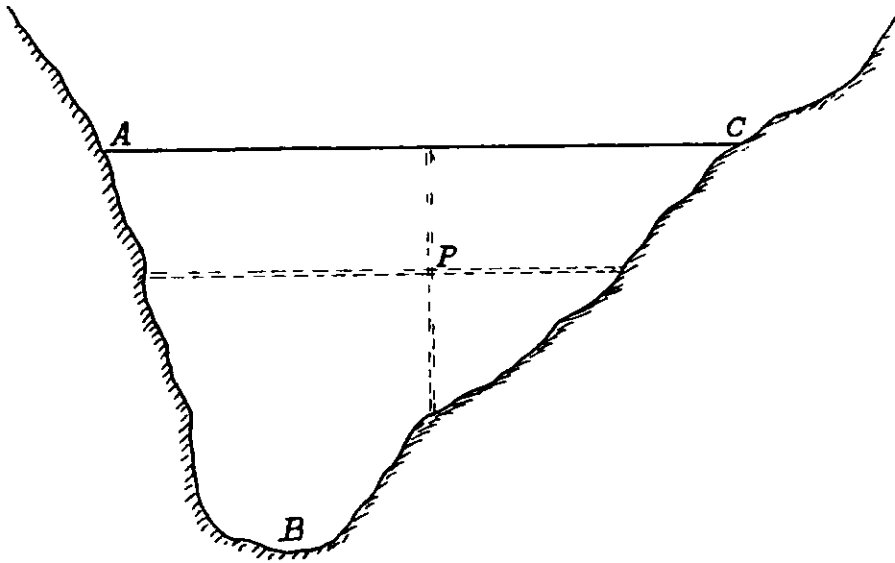
Sea  $A B C$  (fig. 3) una quebrada cerrada por un tranque en bóveda. A medida que el agua sube en la represa, un punto cualquiera  $P$  del tranque se desplazará aguas abajo por efecto de las deformaciones. Este desplazamiento corresponde a dos solicitaciones; la una debida a la deformación de un muro de la unidad de largo entre dos secciones transversales verticales, y la otra debida a la deformación de una lámina de arco de espesor igual a la unidad entre dos planos horizontales. La distribución del esfuerzo solicitante entre el muro y el arco para el punto  $P$ . se determinará igualando las expresiones de la deformación de las dos solicitaciones.

La solución del problema en la forma expuesta conduciría a expresiones insolubles; para obtener un resultado práctico, he aceptado las siguientes hipótesis:

- 1.º) Que la forma de la quebrada pueda considerarse simétrica;
- 2.º) Que la fracción de carga aportada para la lámina de arco provoque en éste una compresión simple, omitiendo el encastramiento de los apoyos y los es-

fuerzas desarrollados en los planos de separación. (Caso de un anillo circular completo sometido a una presión exterior uniforme).

3.º) Que la lonja de muro considerada de longitud  $l$  soporte el resto de la carga, haciendo abstracción de los esfuerzos que se desarrollan en los planos en que se le ha separado hipotéticamente.



*Fig. 3*

4.º) Que el empotramiento del tranque en su base sea fijo, inmóvil.

5.º) Solamente buscaremos una expresión de la distribución del empuje del agua para los puntos  $P$  ubicados en la parte central del tranque, donde su altura es máxima.

Aceptadas estas hipótesis, buscaremos la expresión de la elástica para el muro y el arco.

(Concluid).