

EL RECRECIMIENTO DE PRESAS

Por JOSE ANTONIO GALLEGO, Ingeniero de Caminos y
CARLOS SAFRANEZ, Ingeniero (Dr. Ing.).

Presentan los autores en este artículo el método de Kelen para recrecimiento de presas, cuyas ventajas sobre los demás empleados ponen de manifiesto, exponiendo los resultados en diversas obras conocidas y comentando acertadamente las diversas soluciones desde el punto de vista técnico y económico.

I. Necesidad del recrecimiento.

La experiencia demuestra, con frecuencia, la conveniencia del aumento de la capacidad del embalse y, por consiguiente, del recrecimiento de la presa. Esto se basa en varias razones, de las que exponemos a continuación algunas de las más importantes.

Requiriendo la construcción de la presa capitales muy elevados, en muchos casos no se dispone de fondos necesarios para su ejecución hasta la altura conveniente. Razones económicas aconsejan el invertir, de momento, solamente la cantidad necesaria para conseguir un embalse aprovechable en los próximos años y proceder posteriormente al recrecimiento de la presa cuando las necesidades del consumo lo requieran, siempre y cuando este recrecimiento resulte factible.

También ocurre, con frecuencia, que el aumento imprevisto de la zona regable, abastecimiento de nuevas zonas industriales o determinada utilización del embalse, no prevista al hacer el proyecto, como para agua potable, para centrales hidroeléctricas, para la regulación hiperanual, etc., requieren el recrecimiento de la presa. En algunos casos son los aterramientos los que, al disminuir la capacidad original del embalse, hacen necesario el recrecimiento.

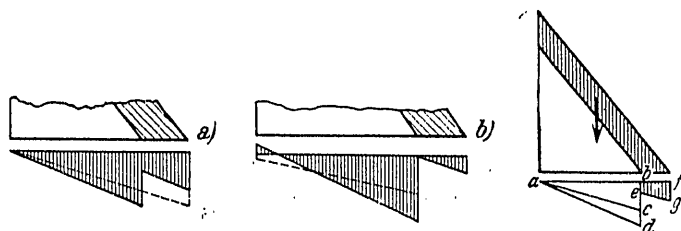
Igualmente hay que tener en cuenta que, en muchos casos, durante la construcción de la presa, la falta de aforos o la de seguridad sobre la impermeabilidad en ciertas zonas del embalse, aconsejan construir la presa solamente hasta una altura determinada, con vistas a su posterior recrecimiento, después de haber conseguido las experiencias correspondientes.

II. Recrecimientos efectuados.

Trataremos solamente del recrecimiento de presas de gravedad. Al aumentar la altura de presa h_1 en h_2 , hasta la altura total de h , hace falta reforzar el perfil de la presa, sea del lado de aguas arriba o del de aguas abajo. Como el refuerzo por el lado de aguas arriba requiere vaciar el embalse o suspender por ello el servicio del pantano, casi todos los refuerzos se efectúan por el lado de aguas abajo.

Nos ocuparemos ahora de la eficacia estática del refuerzo por el lado de aguas abajo. Según el Doctor Kelen (*), resulta un diagrama de presiones del suelo, según figura 1.^a, si el refuerzo se ejecuta estando el pantano vacío, y se supone que la unión entre la obra nueva y la vieja se realiza una vez terminados los trabajos de recrecimiento.

Si se supone, en cambio, que esta unión se efectúa a la medida de la progresión de los trabajos de recrecimiento, existe la posibilidad de que, debido a la



Figs. 1.^a, 2.^a y 3.^a.

contracción durante el proceso del fraguado, la obra nueva quede "suspendida" a la antigua.

En este caso extremo, resulta el diagrama de presiones del suelo según figura 2.^a.

Si partimos de la base que existe una unión eficaz entre la obra nueva y la antigua, resulta el diagrama de presiones según figura 3.^a. Antes del recrecimiento, el diagrama era abc ; la nueva obra ejerce una carga encima de la antigua, empujándola hacia abajo, hasta resultar el diagrama de presiones abd . Al mismo tiempo baja también la obra nueva, resultando el diagrama $begf$.

Si, en cambio, la obra nueva queda "suspendida" de la antigua, tenemos el mismo caso de la figura 2.^a.

En la realidad ocurre un caso entre las figuras 1.^a, 2.^a y 3.^a, puesto que, generalmente, el nivel del agua es variable durante la ejecución de los trabajos de refuerzo. En todo caso, el resultado de estas investigaciones demuestra con toda claridad que, reforzando la presa del lado de aguas abajo, nunca se puede lograr un trabajo uniforme de las dos partes.

(*) Kelen: *Gemichtsstaumauern*, pág. 204.

dola de tierra a ambos lados, es la presa de Mullhol-land, en California. La causa principal de este procedimiento fué que los habitantes del valle aguas abajo, alarmados a causa de la rotura de la presa de San Francisco, exigieron el aumento de la seguridad de la presa.

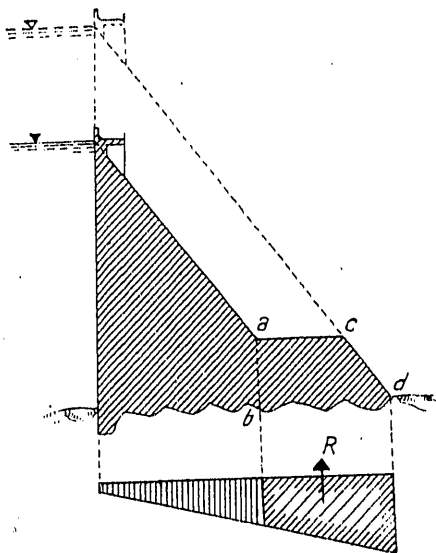


Figura 9.ª

IV. La posibilidad del recrecimiento previsto en el proyecto original.

Como la experiencia demuestra que muchas veces es necesario un recrecimiento, se hace cada día más actual el problema de hacer el proyecto original de

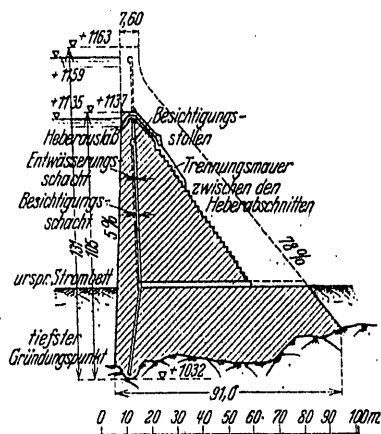


Figura 10.

tal modo que, más tarde, se pueda efectuar el recrecimiento en cualquier momento y con una gran eficacia estática. Esto se resuelve, generalmente, ejecutando la cimentación de la presa para la altura má-

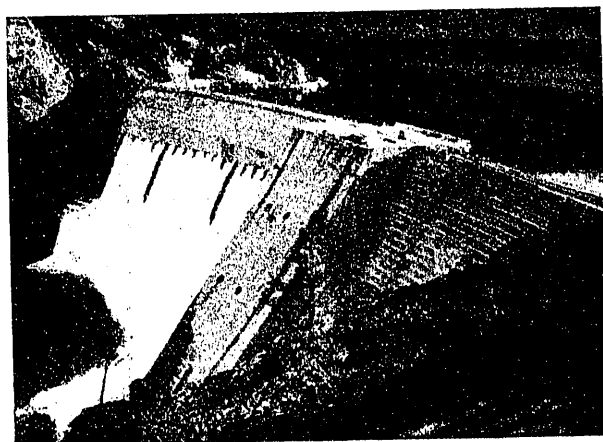


Figura 11.

xima futura, de modo que la parte recrecida se pueda poner encima de este bloque de cimentación. Para la mejor unión de la obra nueva con la antigua, esta última se ejecuta en forma escalonada en la parte de aguas abajo. El inconveniente de este procedimiento es que el espesor de la placa de la cimentación debe ser muy grande para evitar las grietas por su parte inferior, según figura 9.ª. El parte del diagrama de presiones del terreno al lado de aguas abajo que tiene la resultante R , ejerce flexiones en la placa de cimentación ($a b c d$), de tal modo, que en el punto b pueden producirse tracciones. En los casos en que el espesor de la placa se ejecuta tan grande como es necesario

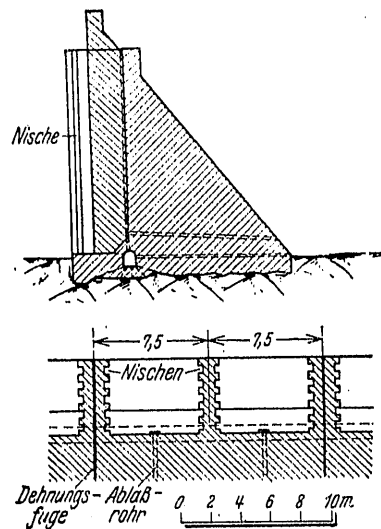


Figura 12.

para evitar dichas grietas, la construcción de aquella presa tiene gastos adicionales considerables. Un ejemplo de un recrecimiento de esta forma es la presa Hetch-Hetchy, en California (fig. 10). Aparte de la

placa de cimentación, también el bloque medio de la presa fué ejecutado con el espesor definitivo, según figura 11.

El Sr. Kelen, en su libro, págs. 206 y 209, hizo una proposición para el proyecto de esta presa previendo su recrecimiento por medio de contrafuertes al lado de aguas arriba, según fig. 12, con relleno posterior del espacio entre ellos.

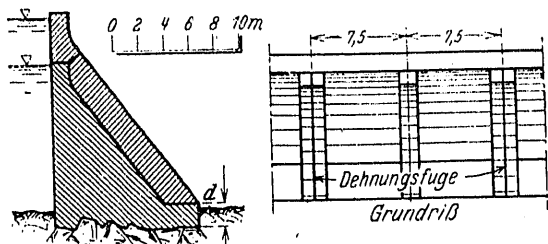


Figura 13.

Pero la realización de este proyecto tiene varios inconvenientes graves si hay que ejecutarlo con embalse lleno. Otra propuesta del mismo autor, según figura 13, prevé, al lado de aguas abajo, un refuerzo con contrafuertes. En este caso la placa de cimentación puede tener un menor espesor, d , por no estar solamente empotrada en la misma presa, sino también en estos contrafuertes. Siendo su ejecución más fácil, tiene, en cambio, una eficacia estática menor que según la figura 12.

V. Una nueva solución para el recrecimiento económico y eficaz de las presas de gravedad.

El Sr. Kelen hizo un nuevo proyecto que resuelve por primera vez, de una manera perfecta, desde los puntos de vista técnico y económico, el problema del recrecimiento de las presas. Esta solución tiene pre-

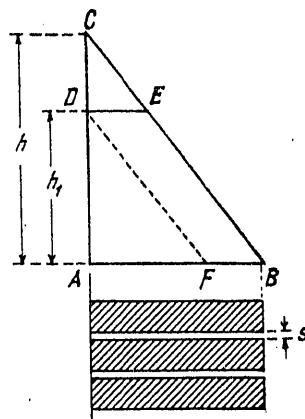


Figura 14.

visto el recrecimiento posterior de la presa en el proyecto primitivo, de tal modo que éste tendrá una completa eficacia estática, se ejecutará sin interrumpir el servicio del pantano, y al mismo tiempo, sin necesidad de invertir más capital para la ejecución de la prime-

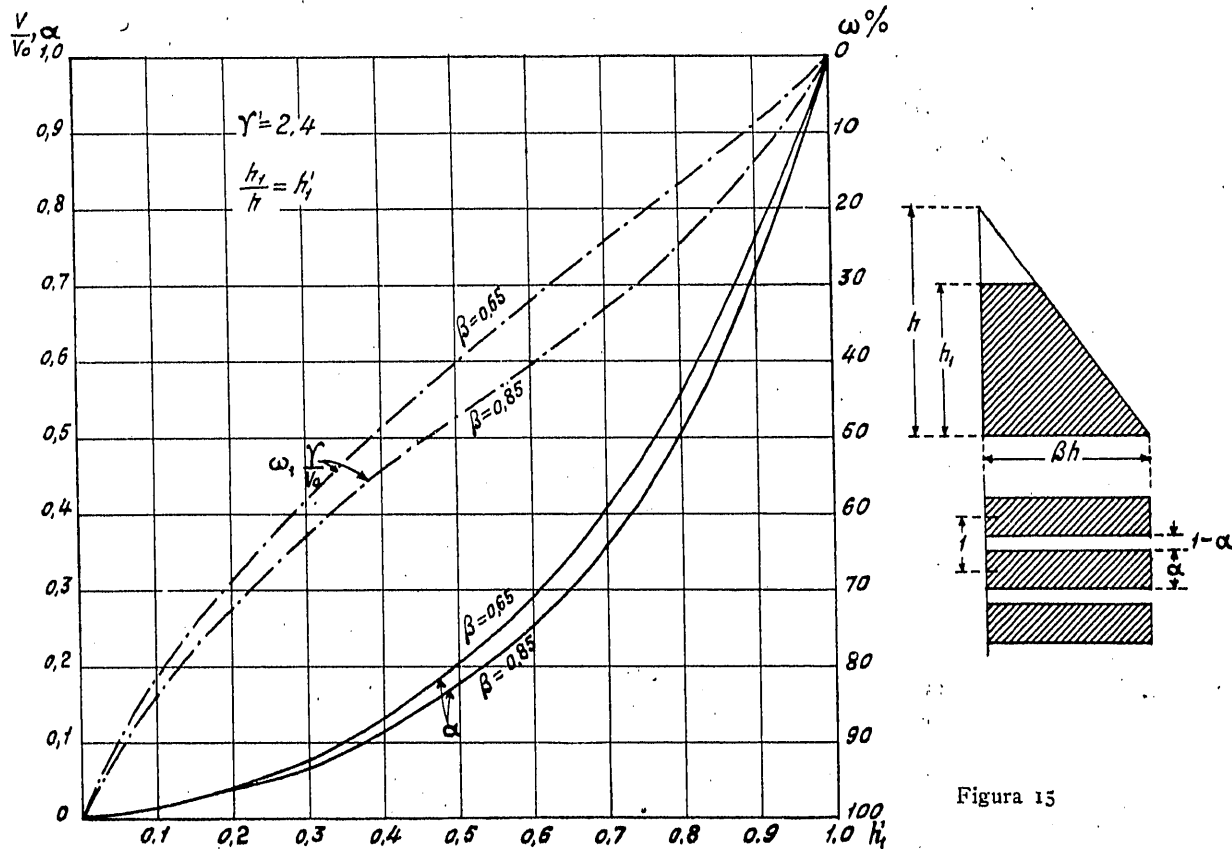


Figura 15

ra fase que se invertiría para una presa normal de la misma altura (*).

Partimos del perfil triangular de la presa de gravedad de la altura definitiva, h , mientras que la altura de la primera fase sea h_1 (fig. 14). La presa se construye primeramente con el perfil trapecial $ADEB$. La parte recrecida DCE , se ejecuta más tarde. Aquella presa tiene en la primera fase mayor volumen de hormigón correspondiente a la superficie del paralelogramo $FDEB$. Este gasto adicional se evita, según el procedimiento de Kelen, ejecutando la presa de forma no maciza, sino con varios huecos de anchura S . Esta anchura se calcula partiendo de la condición de que la resultante de las fuerzas, estando el pantano lleno, pase por el extremo del núcleo central de la solera AB .

Indicamos a continuación el cálculo estático de es-

Teniendo en cuenta que $h_0 + h_1 = h$, o sea, $h'_0 + h'_1 = 1$, se transforma esta fórmula en la siguiente:

$$\alpha = \frac{h'^2_1}{\beta^2 [\gamma' (1 + h'_1 + h'^2_1) - m]}; \quad [1]$$

siendo:

$$h_0:h = h'_0 \quad \text{y} \quad h_1:h = h'_1.$$

Partiendo de la fórmula para el cálculo del perfil mínimo triangular refiriéndola a la altura h de la presa recrecida e introduciendo la relación

$$\beta^2 (\gamma' - m) = 1 (*),$$

podemos escribir la fórmula [1] de la manera siguiente:

$$\alpha = \frac{h'^2_1}{1 + \beta \gamma' h'_1 (1 - h'_1)}. \quad [2]$$

Fuerzas	Brazos de palanca respecto a 0	Momento respecto a 0
$H = \frac{1}{2} \gamma_0 h^2_1$	$e_h = \frac{1}{3} h_1$	$M_H = \frac{1}{6} \gamma_0 h^3_1$
$G = \frac{1}{2} \alpha \gamma \beta h^2$	$e_g = \frac{1}{3} \beta h$	$M_G = -\frac{1}{6} \alpha \gamma \beta^2 h^3$
$G_0 = -\frac{1}{2} \alpha \gamma \beta h^2_0$	$e_{g_0} = \frac{1}{3} \beta (2h - h_0)$	$M_{G_0} = \frac{1}{6} \alpha \gamma \beta^2 h^2_0 (2h - h_0)$
$U = -\frac{1}{2} \alpha \gamma_0 \beta m h h_1$	$e_u = \frac{1}{3} \beta h$	$M_{cr} = \frac{1}{6} \alpha \gamma_0 m h^2 h_1 \beta^2$

tas presas con perfil trapecial con contrafuertes, según el sistema de Kelen. Designemos la distancia entre los ejes de los contrafuertes con 1, siendo α su espesor (figura 15), y consideremos como vertical el paramento de aguas arriba.

El peso del contrafuerte triangular de altura h , es G , y el de altura h_0 , es G_0 , siendo $h_0 + h_1 = h$.

Supongamos que la subpresión U es triangular con la altura al lado de aguas arriba de $m \gamma_0 h_1$, que es el caso más desfavorable. La subpresión es efectiva solamente bajo el contrafuerte con espesor α .

Tomamos momentos respecto al extremo 0 de aguas abajo del núcleo central (véase cuadro), siendo γ el peso específico del hormigón, y γ_0 el del agua.

De la condición $\Sigma M = 0$, resulta la siguiente fórmula para el valor α :

$$\alpha = \frac{h'^3_1}{\beta^2 [\gamma' - m h'_1 - \gamma' h'^2_0 (1 + h'_1)]}$$

siendo:

$$\gamma' = \gamma : \gamma_0, \quad h'_0 = h_0 : h \quad \text{y} \quad h'_1 = h_1 : h;$$

La fórmula [2] es válida hasta aquella altura de la presa donde aun no se ha alcanzado la presión máxima admisible. Los valores de α en relación con h'_1 , están indicados gráficamente en la figura 15.

Vamos a calcular ahora el ahorro que se puede alcanzar en el volumen de la obra con este procedimiento. El volumen del contrafuerte trapecial es:

$$V = \frac{\beta h_0 + \beta h}{2} \alpha h_1;$$

o sea, introduciendo las relaciones mencionadas:

$$V = \frac{1}{2} \alpha \beta \left(\frac{2}{h'_1} - 1 \right) h^2_1.$$

El volumen de una presa de gravedad maciza de la altura h_1 y de base βh_1 es:

$$V_0 = \frac{1}{2} \beta h^2_1.$$

(*) Patente de invención española núm. 140 420.

(*) Kelen: *Gewichtstaumauern*, pág. 28.

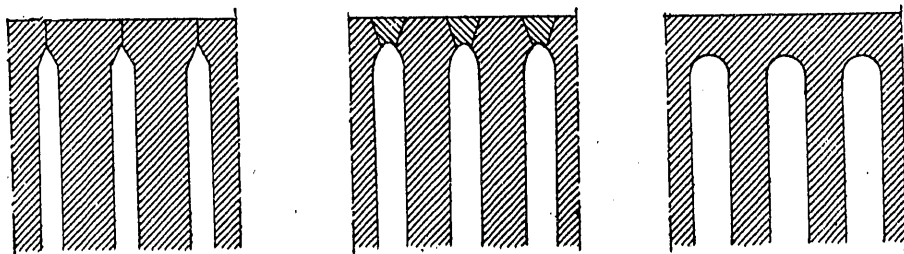


Figura 16.

El ahorro relativo en el volumen de la obra será de:

$$w = \frac{V - V_0}{V_0} = \frac{V}{V_0} - 1,$$

o sea:

$$w = \alpha \left(\frac{2}{h'_{11}} - 1 \right) - 1. \quad [3]$$

Los valores w se indican en la figura 15.

Se deduce de dicha figura que la anchura de los huecos, o sea el valor $1 - \alpha$, crece en el mismo sentido que la proporción de la altura recrecida h respecto a la primitiva h_1 , o sea, como el valor $h'_{11} = \frac{h_1}{h}$.

El valor w , que indica el ahorro en el volumen de la obra, crece en el mismo sentido, naturalmente, que la relación h'_{11} .

En la figura 16 están expuestas algunas soluciones para la ejecución del paramento de aguas arriba. En la figura 17 está indicado el proyecto de aquella presa.

El recrecimiento de la presa se realiza del siguiente modo: Primero se rellenan los huecos hasta la altura h_1 , pero dejando juntas de 1 a 2 mm., por ejemplo, entre la nueva y la antigua fábrica (fig. 18). Estas juntas se consiguen, por ejemplo, colocando planchas de hierro en las superficies laterales de la obra antigua y subiéndolas a medida que fragua el hormigón. En los dos extremos estas juntas se cierran, por ejemplo, con planchas de hierro. Al lado de aguas arriba se deja un espacio vacío entre la obra nueva y antigua, rellenándolo de agua hasta la altura del nivel del pantano. De este modo la obra nueva recibe la misma carga que la antigua, sometiendo estas dos partes de la presa al mismo régimen elástico.

En este régimen de tensiones iniciales se ejecuta el relleno de las juntas inyectando lechada de cemento o mortero muy fino. Una vez fraguado el cemento inyectado, se procede al hormigonado de los huecos mencionados.

Gracias a este procedimiento se consigue que, tanto la parte vieja como la nueva, estén sometidas al mismo régimen elástico, evitándose las tensiones acce-

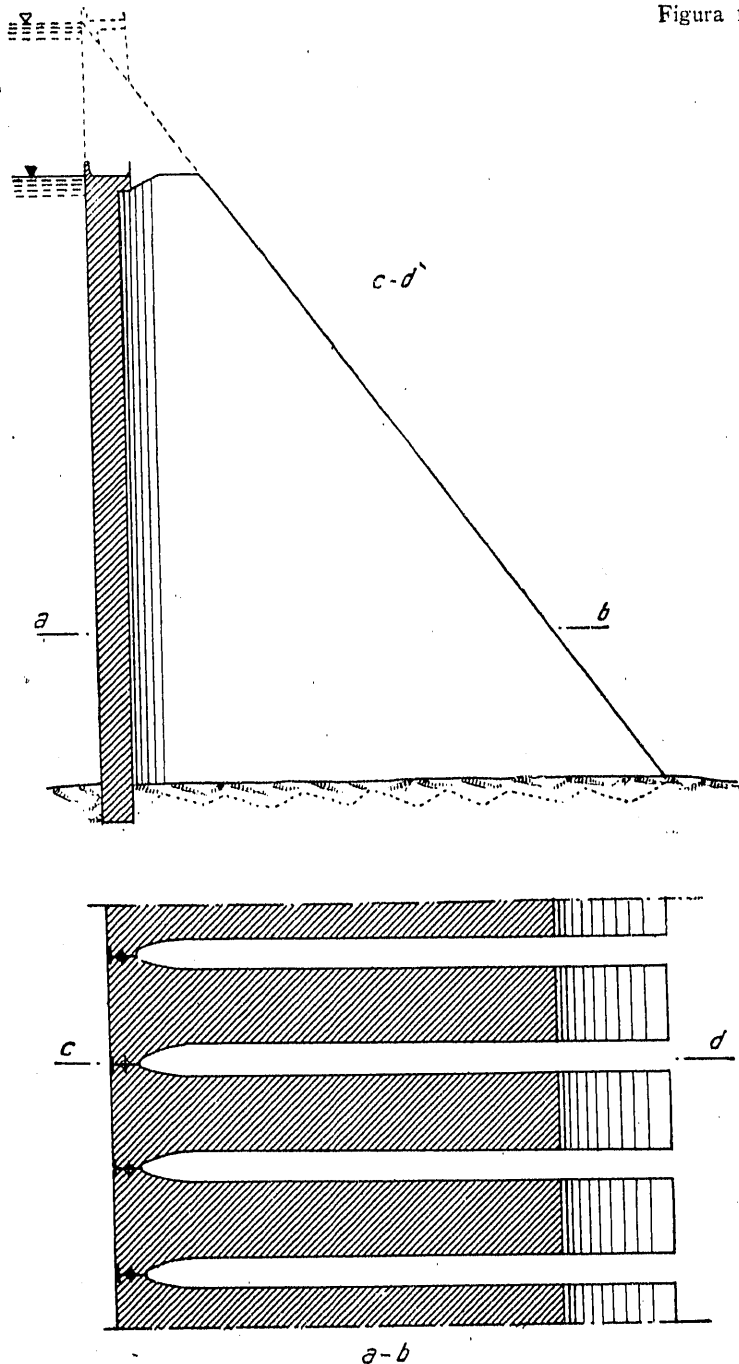


Figura 17.

sorias que de otro modo se originarían entre ambas partes de la construcción.

Otras ventajas de esta solución son las siguientes: En primer lugar la subpresión se reduce hasta el mínimo porque el agua que eventualmente puede pene-

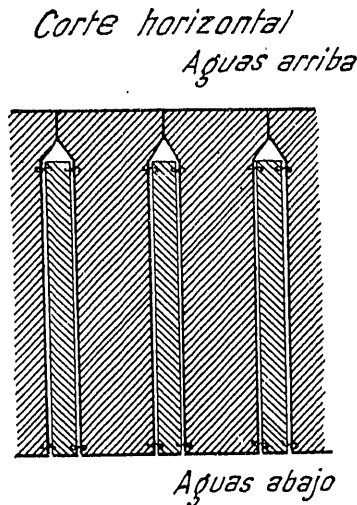


Figura 18.

trar en la solera tiene la posibilidad de salir lateralmente. Un corto drenaje en la solera puede facilitar aún más esta reducción.

El calor de fraguado, que puede alcanzar grados muy elevados, puede disiparse lateralmente, y la refrigeración de la presa se efectúa sin medios artificiales,

mucho más rápida y uniformemente que en una presa maciza, reduciendo considerablemente el peligro de las grietas.

La presa es siempre accesible por todos los lados, de modo que puede ser observada cómodamente. Caso de producirse grietas o filtraciones, los sitios afectados se fijarían muy exactamente. Los trabajos de reparación que puedan ser necesarios se ejecutarían más cómodamente y con más seguridad que en una presa maciza.

La ejecución de la presa, según el procedimiento de Kelen, no requiere gastos adicionales porque se amolda fácilmente al sistema corriente de la construcción, por bloques alternos entre juntas de dilatación. No es necesario emplear mayor cantidad de encofrado porque los encofrados laterales se necesitan en todo caso para la formación de las juntas de construcción.

Nos hemos referido hasta ahora al perfil más sencillo, cual es el triangular, pero el método de Kelen es igualmente aplicable a cualquier otro perfil. También es posible disminuir hacia arriba el espesor de los contrafuertes, a medida que disminuye la altura de la presa, reduciendo los gastos de la obra.

Para demostrar las ventajas económicas del procedimiento de Kelen, citaremos el proyecto de una presa de 115 m. de altura, con un recrecimiento previsto en 15 m., y donde se consigue una economía de más del 10 por 100 en comparación con una presa corriente de la misma altura, con la ventaja de diferir el gasto de la parte correspondiente a los 15 m. adicionales hasta que sea necesario.