

DESLIZAMIENTO DE UNA LADERA DE UN EMBALSE (*)

Por ANGEL POVEDA CUESTA
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

En los primeros párrafos explica claramente el autor que se trata en el presente artículo de describir el procedimiento seguido para obtener un conocimiento aproximado de los deslizamientos que se producen en la margen derecha del embalse del Generalísimo.

En el embalse del Generalísimo, afecto a la Confederación Hidrográfica del Júcar, dependiente del Ministerio de Obras Públicas, en la margen derecha del embalse próximo a la zona denominada de la Colonia Antigua, en frente de la Isla, aparecía una grieta de una longitud de unos 370 m a una cota de 554,50 m, es decir, unos 25 m por encima de la cota de máximo embalse, que es la 524,50 y unos 50 metros por encima del nivel en la fecha de la toma de datos para el levantamiento del plano que se acompaña, que era la 504.

El terreno está formado, en su mayor parte, por detritus de la ladera, y en su base, arenas, ya que está al borde de una rambla que vierte al vaso del embalse.

En realidad, para dar una solución más exacta habría que definir litológicamente las partes por sus distintos parámetros geotécnicos, en realidad difíciles de obtener dada la profundidad de la grieta, y que por característica de superficie de deslizamiento sin sondeos prácticamente imposible, por lo que en el estudio por el método del montón de arena, como más adelante se indica, se considera un coeficiente de rozamiento de $T_g \varphi = 0,77$.

En los cálculos hemos considerado la densidad seca prescindiendo de la zona variable según la cota del embalse, saturada y únicamente en el deslizamiento posible de la masa la disminución del peso por el principio de Arquímedes.

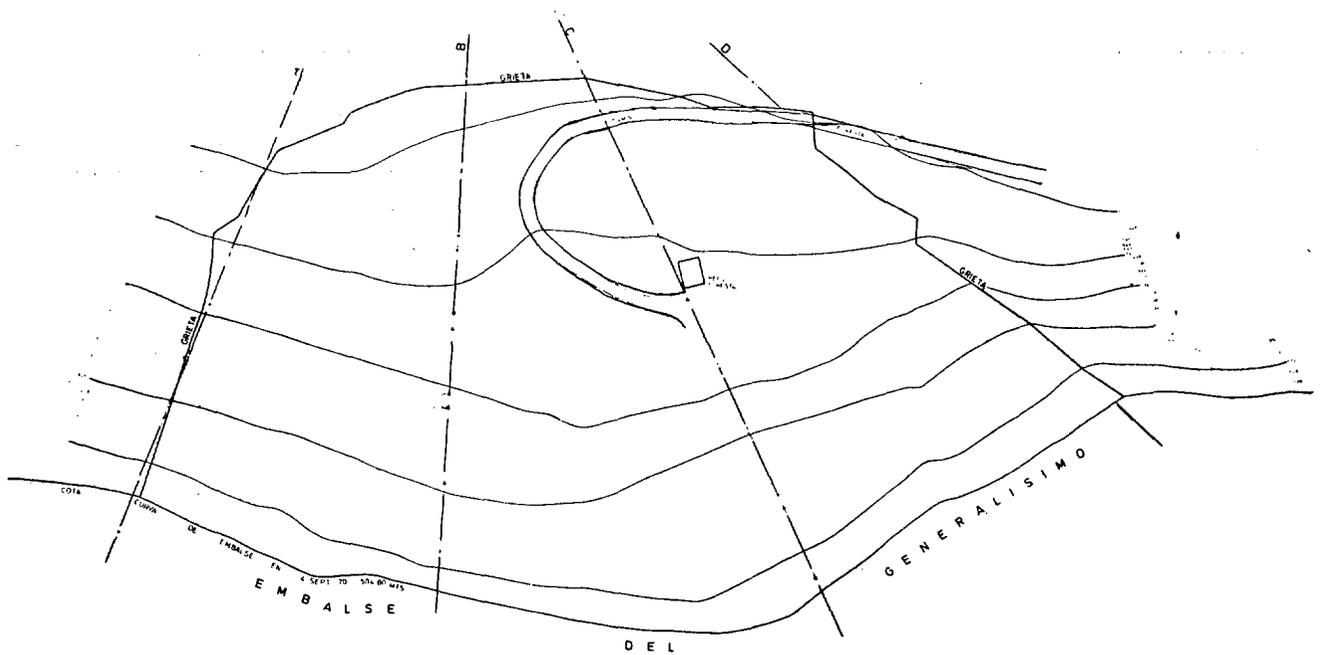
El embalse en esta zona forma una entrada en un vallé, limitado por la ladera, objeto del estudio, y la zona denominada la Isla, con una anchura prácticamente uniforme de unos 100 m y distancia a la coronación de la presa de unos 3.700 m.

La profundidad en el centro del embalse en dicha zona el día de la toma de datos era de 23,50 m, y a embalse lleno la profundidad es de unos 48 m.

La grieta fue aumentando de forma imperceptible en anchura, y en agosto de 1970 tenía en algunos sitios una anchura del orden de los 50 cm y gran profundidad, siendo el perfil y la planta curvos, y presentando la clásica fisonomía de una superficie predispuesta al deslizamiento.

El coeficiente de rozamiento del terreno en la parte más baja, que es la que puede acusar más los efectos del posible deslizamiento calculado por el método del montón de arena, era de $T_g \varphi = 0,77$, lo que equivale a un ángulo de $37,6^\circ$.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de diciembre de 1972.



PLANO GENERAL

Deslizamiento en una ladera del embalse del Generalísimo (Va'encia)

Figura 1.

La grieta sigue aumentando de forma impreceptible en algunos testigos del orden 1 cm por semana, previéndose que al aumentar los desembalses la próxima temporada de riegos se incremente este movimiento.

En la planta del plano topográfico levantado al efecto para comprobar la estabilidad y el coeficiente de seguridad de los taludes se han tomado cuatro perfiles, no sólo para la cubicación, sino para la determinación del círculo pésimo de deslizamiento aplicando el método sueco y el procedimiento de Fellenius, obteniéndose unos resultados en el perfil A de 0,98; en el perfil B, de 0,99; en el perfil C, de 1,17, y en el perfil D, de 1,30 de coeficiente de seguridad.

En los cálculos sólo se ha tenido en cuenta el peso, que lo hemos fijado en $1,7 \text{ Tm/m}^3$, y el rozamiento, ya que por estar la grieta formada hemos despreciado la cohesión y tampoco hemos considerado la posible acción estabilizadora del agua, puesto que en época de desembalse (la más desfavorable) actúa de lubricante para el deslizamiento.

La cubicación entre los perfiles y los círculos pésimos arroja un volumen de $1.662,511 \text{ m}^3$ de probable deslizamiento.

En el posible caso de un aceleramiento de la masa móvil de deslizamiento produciría en el embalse una ola no sólo debido a la fuerza ascensional de la masa líquida desplazada, sino al empuje dinámico, aunque éste quedaría frenado por la zona denominada de la Isla, en la que no se advierte grieta alguna.

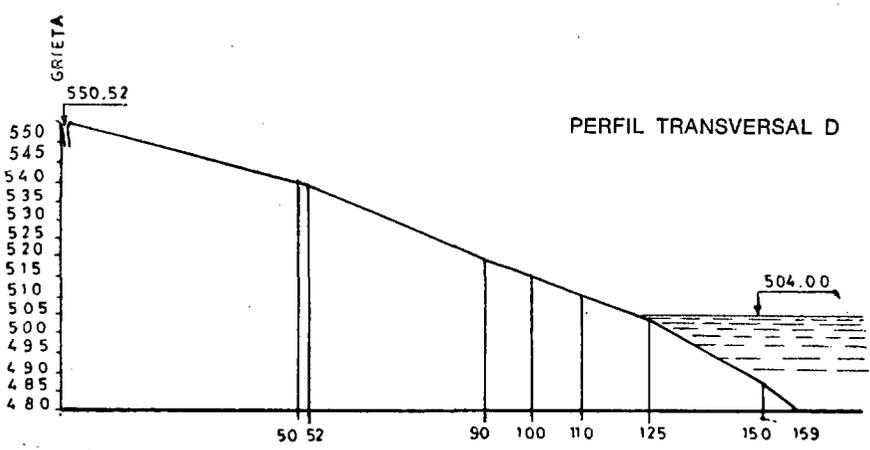
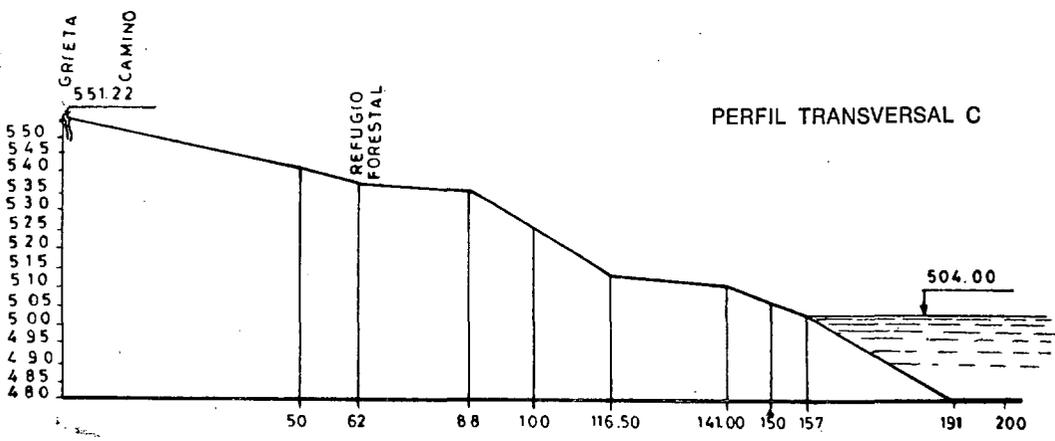
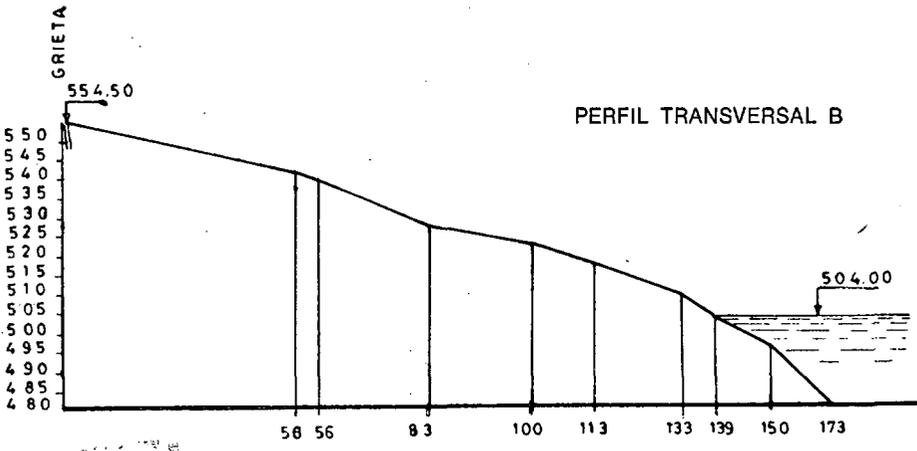
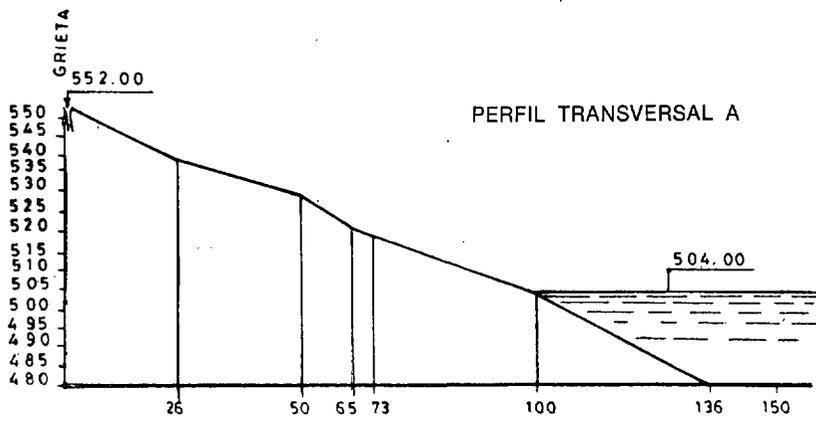
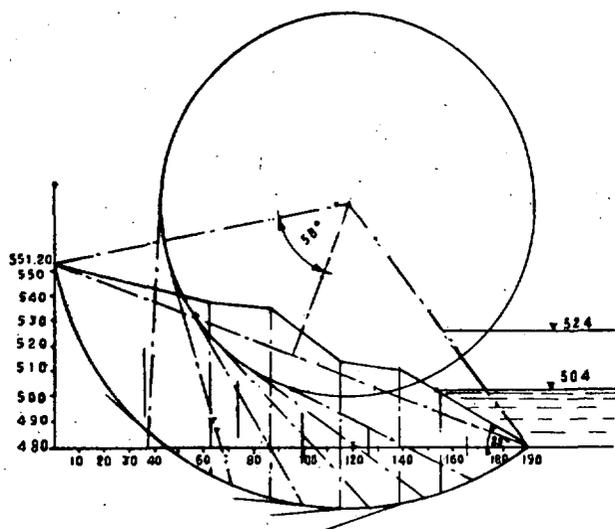


Figura 2.

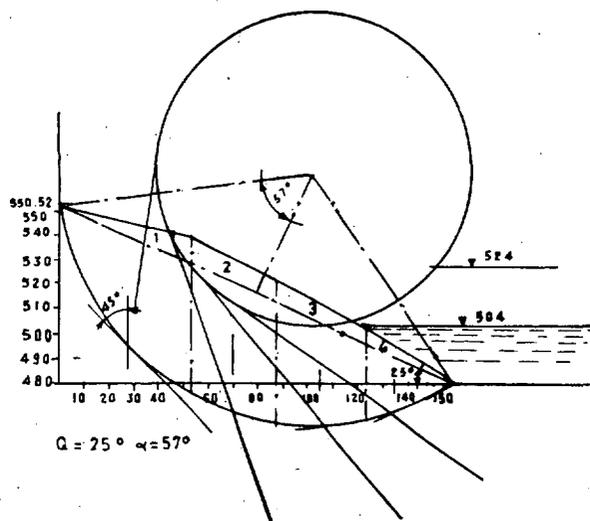
PERFIL C



Tramo	Superficie	Peso	$T_g \phi$	n	$n T_g \phi$	t
1	2.733	4.645	0,77		2.622	3.150
2	1.833	3.119	0,77		1.796	706
3	1.820	3.080	0,77		1.690	535
4	1.296	2.200	0,77		1.095	176
5	690	1.172	0,77		— 575	312
6	640	1.088	0,77		— 415	

$$\text{Coeficiente de seguridad} = \frac{\sum n T_g \phi}{\sum t} = \frac{6.213}{5.321} = 1,17$$

PERFIL D



Tramo	Superficie	Peso $r = 17$	$T_g \phi$	n	$n T_g \phi$	t
1	2.008	3.500	0,77	2.480	1.900	2.480
2	2.210	3.760	0,77	3.500	1.900	1.230
3	1.650	2.800	0,77	2.800	1.400	0
4	650	1.100	0,77	1.060	— 640	— 370

$$\text{Coeficiente de seguridad} = \frac{\sum n T_g \phi}{\sum t} = \frac{4.560}{3.340} = 1,50$$

Figura 2.

Considerando únicamente la fuerza ascensional debida al principio de Arquímedes, al precipitarse la masa deslizante en el fluido a embalse lleno en la profundidad de 48 m produciría en esa zona una sobre elevación del orden de los 4 m que se transmitiría a la presa como una ola de un *fetch* de unos 100 m en profundidad indefinida, ya que el embalse en el cierre tiene 100 m de profundidad, con una energía de 11 Kgm/ml, si bien aminorada por los efectos de la viscosidad.

Por la fórmula de Navier-Stokes considerando movimiento uniformemente acelerado por considerar que en el principio de Arquímedes actúan sólo las fuerzas de gravedad y considerando el movimiento plano con componentes sólo verticales tenemos:

$$\frac{l}{S} \frac{dP}{dx} = X - \frac{du}{dt} + f(V).$$

x = coordenado vertical.

S = masa unitaria.

P = presión en un punto.

X = componente vertical de la fuerza uniformemente repartida en la superficie.

$$\frac{du}{dt} = \text{aceleración vertical.}$$

V = viscosidad (despreciada).

$$F = mg - m \frac{d^2 x}{dt^2} = m \frac{du}{dt},$$

de donde:

$$\frac{1,7}{(mg - 1)} = \frac{d^2 x}{dt^2} \text{ por Arquímedes; } 0,7 = \frac{d^2 x}{dt^2}; \frac{du}{dt} = 0,7.$$

$$u = 0,7t + C.$$

Hipótesis para $t = 0$, $U = 0$; por tanto, $C = 0$.

$$x = 0,7 \frac{t^2}{2} + C_2, \text{ hipótesis para } t = 0, x = 0; \text{ por tanto, } C_2 = 0.$$

$$x = 0,7 \frac{t^2}{2} \text{ para } x = 48.$$

$$t^2 = \frac{2 \times 48}{0,7} = \frac{96}{0,7} = 136.$$

$t = 11,6$ segundos.

$$U = 0,7 \times 11,6 = 8,1 \text{ m/seg. } V = \sqrt{2gh} \text{ (Bernoulli).}$$

$$\frac{8,1^2}{2g} = h \frac{65}{2 \times 9,8} = h = 3,30 \text{ m sobre elevación,}$$

con lo que la ecuación de Navier quedaría en la forma:

$$\frac{dP}{d} = 0,7 \frac{t^2}{2} - 0,7 = 0,7 \left(\frac{t^2}{2} - 1 \right)$$

que nos daría la presión en un punto de la línea de circulación de la partícula en función de t , por tanto de x .

La energía de la ola es:

$$E = P g L h^2, \text{ y por metro lineal } E_1 = R g h^2, \text{ siendo } h \text{ la sobreelevación} = 3,30.$$

$$E = 11 \text{ Kg fácilmente absorbibles por la obra de fábrica.}$$

Por tanto, las condiciones de seguridad tomadas, ya que prácticamente era imposible asegurar la estabilidad de la masa deslizante, es mantener el embalse 3,30 m por debajo de la línea de máximo embalse.

En el gráfico de las figuras 1 y 2 están dibujados la planta de la zona deslizante y los perfiles transversales con los círculos de deslizamiento.