

La presa de El Siberio

Por **RAFAEL FERNANDEZ ORDOÑEZ**
Subdirector general de Explotación. DGOH

MANUEL ALONSO FRANCO

¡ Servicio de Vigilancia de Presas. DGOH

La presa de El Siberio, en el archipiélago canario, es un dique de 82 m. de altura de materiales sueltos con pantalla asfáltica. En su primer llenado, que se produjo de modo casi instantáneo, sufrió deterioros, de momento, que la dejaron fuera de servicio. Todas las averías ocurrieron en el plinto o zócalo de unión de la pantalla asfáltica con el terreno, que sufrió roturas en su hormigón y desplazamientos que le desarraigaron del terreno. Se describe con brevedad los modelos matemáticos que han servido para el análisis de las roturas y las conclusiones que se derivan de este análisis, de interés no sólo para la reparación de esta presa, sino también para proyectos futuros de obras de morfología similar. Se describe, aunque sin mucho detalle, la solución adoptada para la reparación de la presa.

INTRODUCCION

En este artículo se expone, de forma resumida, el análisis realizado para tratar de interpretar el comportamiento observado en el plinto perimetral de la presa de El Siberio durante su primera puesta en carga. Se intenta extraer alguna conclusión de tipo general que pueda servir para futuros proyectos. Por último, se describe la solución adoptada para dejar la presa con garantías de servicio.

La interpretación de los hechos ha sido discutida ampliamente entre los técnicos que han intervenido en el análisis y la solución de este problema, ya que el plinto de la presa de El Siberio no representa ninguna solución original, sino más bien se apoya en realizaciones precedentes.

La naturaleza de la roca de la cerrada, dura, frágil y muy fracturada, hace difícil que en la excavación se consigan las formas geométricas adecuadas para el correcto comportamiento del plinto. El brusco llenado del embalse, que suponía la primera puesta en carga de la presa, al no dar tiempo a un reajuste o acomodo de la estructura ha podido favorecer la aparición de grietas y despegues, que posteriormente la presión del agua se ha encargado de ampliar.

Alguno de estos hechos hace que el análisis del problema sea aún más complejo. Ha sido necesario introducir hipótesis, quizá discutibles, para simplificarlo y llegar a conclusiones de aplicación práctica.

En particular, la contribución de la escollera del cuerpo de presa al soporte de los empujes del agua sobre el plinto es siempre difícil de estimar, ya que depende, entre otros factores, de la rigidez relativa escollera-cimiento. En este sentido la experiencia de El Siberio recomienda adoptar hipótesis pesimistas en la valoración de este factor, aunque, quizá, las experiencias en otras presas similares no hayan apuntado tan claramente en este sentido.

LA PRESA

La presa de El Siberio, situada en el Oeste de la isla de Gran Canaria y en el barranco del mismo nombre, crea un embalse de 4,5 Hm³ de capacidad, cuyas aguas se destinan al regadío en la zona de San Nicolás de Tolentino.

Es un dique de escollera con una pantalla impermeable de hormigón asfáltico en el paramento de aguas arriba. Su planta es recta, con una longitud de coronación de 195 m. y una anchura de 11,50 m. El talud del paramento de agua arriba es de 1,6 en horizontal por 1 en vertical (1,6 : 1), y el de agua abajo es de 1,5 : 1.

El cuerpo de la presa es de una buena escollera, procedente de roca arrancada de cantera dentro del vaso; una zona de 4 m. de espesor, medida en horizontal, de roca seleccionada sirve de apoyo a la pantalla asfáltica; otro tipo de escollera se dispuso en toda la superficie en contacto con el terreno, con

un espesor en el cauce de 4 m. Esta última, junto al talud más tendido, en la parte baja del paramento exterior, se previó para evacuar a través de ella, y durante la construcción de la obra, el exceso de caudal de riada que no pudiera desaguar la galería artificial, convertida al final en galería de tomas y desagües.

La pantalla asfáltica es bicapa, sin control de filtraciones. El plinto, o elemento de unión entre la pantalla asfáltica y el terreno, es un cuerpo prismático de hormigón en masa en las laderas; es un muro de sección escalonada y zapata en la zona de los desagües de fondo (entre el cauce y el estribo

izquierdo). Sus formas y dimensiones, así como la sección correspondiente al cauce, se reflejan en la figura 1.

Las principales características de la presa, son:

Cota de coronación.....	277 m.
Cota cauce en pie de aguas arriba.....	203 m.
Cota máxima embalse normal... ..	274 m.
Cota máxima embalse en crecidas	275,37 m.
Altura presa sobre pie aguas abajo	82 m.
Aliviadero en lámina libre, capacidad	250 m ³ /seg.
Volumen de escollera.....	900.000 m ³ .
Superficie de la pantalla.....	16.000 m ² .
Longitud del plinto.....	315 m.

PLINTO.- SECCION TIPO EN CAUCE

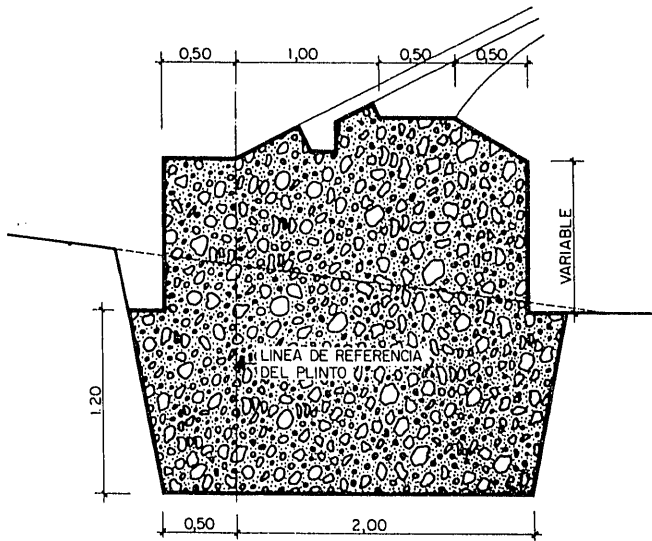
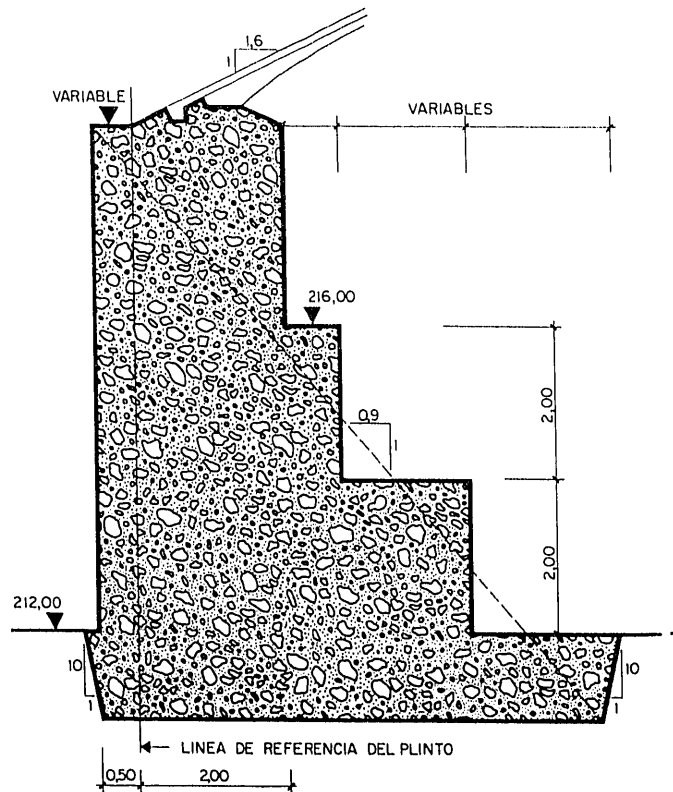
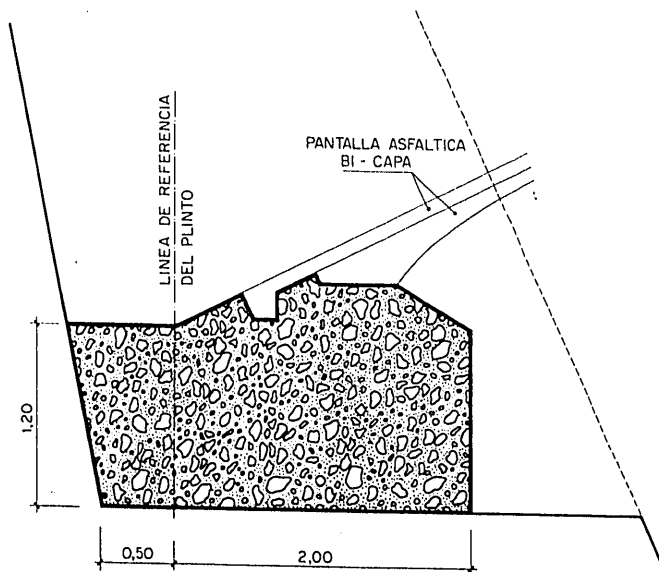


Figura 1.
Secciones tipo del plinto, según proyecto.

PLINTO.- SECCION TIPO EN ZONA DESAGÜES DE FONDO



PLINTO.- SECCION TIPO EN LADERAS



La construcción de esta presa comenzó en 1974 y se terminó en 1976, aunque no el aliviadero, que, pendiente de su ensayo en modelo reducido, fue acabado en octubre de 1978. Esta presa figura en el grupo de las de pantalla asfáltica como una de las más altas del mundo: Oxchenik (Austria, h = 83 m.), Ril-Emda (Argelia, h = 75 m.), El Siberio (h = 74 m.), Shiroyama (Japón, h = 73 m.).

GEOLOGIA

La zona del embalse de El Siberio se encuentra en el extenso complejo traquítico-sienítico que forma todo el centro de la isla. Es un complejo intrusivo formado por innumerables diques traquíticos que han surgido a favor de superficies cónicas concorriantes, cuyo centro puede estar a algunos kilómetros de profundidad de la superficie actual y cuyos diámetros pueden tener algunas decenas de kilómetros («cone sheet»). Una serie, de edad posterior, de diques fonolíticos atraviesan los materiales anteriores.

En la cerrada es tal la densidad de diques que, en superficie, es prácticamente inexistente la roca de caja (tobas traquíticas y brechas traquíticas). Los diques de traquita dominan en la mitad superior de los estribos: es una roca gris violácea, poco fisurada y poco alterada (cuando lo está, su color es gris blanquecino). En la mitad inferior predomina la traquisienita, roca más alterable que la anterior y que se encuentra más meteorizada en superficie (color blanco algo grisáceo).

Los diques generalmente tienen dirección Norte-Sur y buzamiento hacia el Este. La coincidencia del buzamiento con las pendientes topográficas favorece la descompresión de la roca y la formación de bloques sueltos. No existen en las laderas grandes accidentes ni fracturas destacables. Existen algunos contactos milonizados entre diques y algunos de éstos, con sistema de juntas muy próximos; hay que destacar la acusada fracturación del macizo rocoso de apoyo de la presa. La naturaleza de la roca, dura y frágil, contribuye a aumentar la fragmentación en las labores de excavación. El SGOP ha cartografiado unas 200 juntas en la caja de excavación, que se han distribuido en nueve sistemas.

El complejo traqui-sienítico es, desde el punto de vista hidrogeológico, impermeable, como se corrobora por el buen comportamiento de otros embalses en él ubicados y por la esterilidad de los pozos que se han perforado en dicho complejo. La permeabilidad secundaria, a favor de superficies de intrusión de diques, planos de disyunción y red de diaclasas,

no se consideró importante en el estudio del proyecto, por lo que no se previó ninguna pantalla de impermeabilización. La realidad de la obra fue algo distinta y las inyecciones de consolidación y cosido bajo la obra de fábrica, realizadas al final de la construcción, representan una auténtica pantalla de impermeabilización, cuya necesidad fue puesta de manifiesto por las pruebas realizadas. El grueso de estas inyecciones componen una pantalla vertical en el centro de la sección del plinto, con una profundidad media de unos 20 m. y una admisión media de lechada de 124 kg/m.

LA PUESTA EN CARGA

Hasta el comienzo del año 1979 el embalse no había recogido nada de agua. Es en enero de ese año, y como consecuencia de unas fuertes lluvias, cuando se produjo su llenado. En él pueden distinguirse dos etapas:

- Una subida rápida en los 20 primeros metros (cotas 203 a 223) que tuvo lugar entre los días 5 al 16 de enero.
- Un ascenso súbito de 51 m. (cotas 223 a 274 —MEN—) que duró veinticuatro horas, entre los días 17 y 18 de enero, como consecuencia de la fuerte lluvia caída el día 16.

A las 20,00 horas del día 18 empezó a verter el aliviadero, vertido que se mantuvo hasta el día 29 del mismo mes. La lámina máxima se alcanzó el día 20, con 0,70 m., que equivale a un caudal de 150 m³/seg.

Puede, pues, hablarse de una «instantánea» puesta en carga de la presa.

Las lluvias que llenaron el embalse cortaron todas las comunicaciones y accesos a la presa. Vencido el aislamiento, pudo comprobarse que por el pie de agua, bajo la escollera, salían filtraciones importantes, que vaciaron el embalse al cabo de unos tres meses. El caudal máximo de filtración se estimó en 1,2 m³/seg.

Las primeras observaciones que se hicieron, fueron:

- Aforo y medición de la turbiedad en las filtraciones.
- Nivelaciones en coronación.
- Inmersión de un submarinista.
- Medición del nivel de agua en 5 piezómetros de control perforados en roca, aguas abajo de la presa.

LA PRESA DE EL SIBERIO

La información obtenida no fue suficiente para poder predecir el origen de las fugas, pero sí para acotar el campo de las hipótesis. Los asientos en coronación eran moderados, con un máximo de 5,4 cm.; la turbiedad del agua en el embalse impidió al submarinista realizar su trabajo. La turbiedad de las fugas, prácticamente coincidente con la del embalse, descartaba la posibilidad de filtración por permeabilidad de la roca, e indicaba más bien el paso por conductos amplios; los piezómetros no acusaban pérdida y descartaban también la posibilidad de filtración por la roca.

Después del vaciado del embalse y de la retirada de los fangos depositados, las roturas observadas fueron (figura 2 y fotos 1, 2 y 3):

- El plinto o zapata, como consecuencia del llenado, en la zona de laderas, se había desraigado de la roca de su cimentación, desplazándose hacia el valle y separándose, por tanto, de la montaña.

La amplitud de la separación era variable según la cota. no se apreció en la zona alta, hasta la cota 260 y alcanzó hasta 6 cm. en las zonas más bajas. En la ladera izquierda esta amplitud fue menor que en la derecha.

En la ladera derecha, y entre las cotas 222 y 210 el despegue no se produjo entre el hormigón y la roca, sino en una junta vertical dentro del plinto (éste fue hornigonado en dos fases: una primera de 2,50 m. de anchura —según proyecto—, con encofrado en sus dos alzados, y una segunda fase hasta completar el hornigonado contra la roca, con ancho variable entre 0,5 y 2 m.).

- Se acusaron dos roturas transversales, a 45°, por diferencias de desplazamiento de zonas contiguas, en el plinto de la ladera derecha, y precisamente en los extremos de la zona anteriormente descrita (junta en el hormigón).

- Averías de mayor entidad se produjeron en el

SEMIPLANTA DE LA PRESA

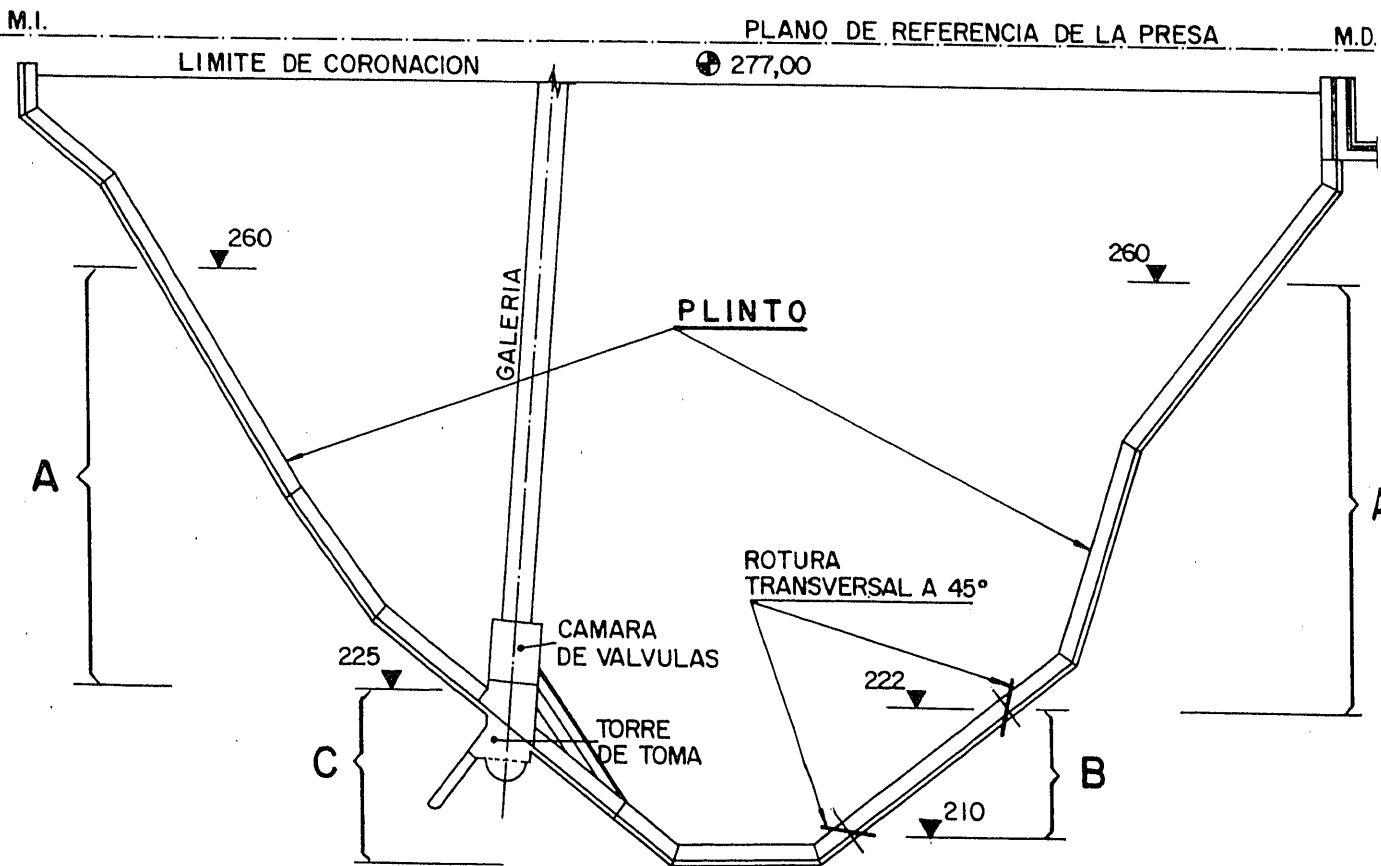


Figura 2.—Planta del paramento aguas arriba, con indicación de las averías en el plinto: A) Zona en la que el plinto se ha despegado de la roca; la amplitud máxima del despegue es de unos 3 cm. B) Zona en la que se ha abierto, con amplitud máxima de unos 6 cm., una junta fría entre hormigones del plinto (foto 1). C) Zona en la que los despegues son diversos: rotura total del arranque del alzado del plinto, roturas en la masa del hormigón, basculamiento y giro de algún bloque (foto 3).



Foto 1.—Junta abierta entre los dos hormigones del plinto; corresponde a la zona «B» de la figura 2.



Foto 2.—Rotura transversal del plinto; corresponde a la zona «B», cota 222, de la figura 2.



Foto 3.—Grieta entre alzado y zapata del plinto, en la zona «C» de la figura 2.

plinto de la zona inferior de la ladera izquierda, donde está situada la estructura de los desagües de fondo y tomas. Aquí el plinto tiene su mayor altura, unos 7 m. de alzado sobre la zapata de cimentación. Se observó un ligero despegue de la zapata respecto a la roca, la rotura por tracción en la base del alzado, segando toda la sección de hormigón, y desplazamiento y vuelco de algunos módulos del plinto.

— En la zona central del cauce el plinto está metido en zanja y no se constató ningún movimiento ni rotura.

Se estimó que el estado de agrietamiento observado justificaba el caudal de filtración medido.

Ni en el cuerpo de presa ni en la pantalla asfáltica se ha apreciado deterioro alguno, si exceptuamos en esta última dos grietas de una longitud de 1,80 m., como continuación y consecuencia de las grietas transversales del plinto a 45°.

ANALISIS CUANTITATIVO DE LA ROTURA

Hecho el análisis cualitativo de la rotura, se inició inmediatamente la redacción del proyecto de reparación de la presa. El proyecto, terminado en octubre de 1979, desarrolla una solución de plinto nuevo autoestable y autorresistente, sin contar con ninguna colaboración del plinto roto, al que no se le supone capacidad resistente. Las obras comenzaron en el último trimestre de 1980.

Si se quería, sin embargo, obtener una mayor utilidad para proyectos nuevos de una rotura como la presente, eran necesario emprender un análisis que pudiera dar respuesta, y en su caso cuantificar a interrogantes como: «¿estaba el plinto suficientemente empotrado en la roca?», «su dimensionamiento... ¿era estricto en ciertas zonas?», «¿proporcionó la escollera el soporte horizontal necesario?», o «¿tuvo alguna influencia, respecto a la estabilidad, la existencia de una pantalla impermeable vertical?».

A dilucidar estos temas se dirigió el estudio de la rotura del plinto en la presa de El Siberio. La metodología seguida se resume, a continuación, brevemente.

En las *laderas*, el plinto es asimilable a una pieza de sección rectangular de dimensiones B (base) y H (altura), sometida a una presión de agua P en su cara superior, a una subpresión en su contorno con la roca y a una reacción horizontal, cuyo valor es K veces la carga vertical que le transmite la escollera. Para el análisis de la rotura se han considerado dos casos (modelos matemáticos) cuya diferencia estriba en que, en el primero, la subpresión tiene una caída lineal a lo largo del contacto, mientras que en el

segundo se supone una pérdida concentrada en una pantalla impermeable vertical (figura 3).

Planteado el equilibrio de fuerzas, la resolución analítica es sencilla y, puesta de forma adimensional (dividiendo por H = altura del plinto), nos da las siguientes expresiones.

Modelo 1

$$\text{Deslizamiento } \alpha_d = \frac{3,8 n^2 + 2,8 n + 4 K (n + 1)}{2 + 2 n - n^2}$$

$$\text{vuelco } \alpha_v = \frac{1,4 n^3 + 2,4 n^2 - n + 3 K (n + 1)}{2 + 3 n - n^2}$$

Modelo 2

$$\text{Deslizamiento } \alpha_d = \frac{3,8 n - 2}{4 (1 - K) - n}$$

$$\text{vuelco } \alpha_v = \frac{4,6 n^2 - 4}{12 (1 - K) + n^2}$$

Donde:

$$\alpha_d = P_d/H.$$

$$\alpha_v = P_v/H.$$

H = altura del plinto.

P_d = presión de agua que inicia el deslizamiento.

P_v = presión de agua que inicia el vuelco.

K = relación de presión horizontal a vertical en la cara de escollera.

B = base del plinto.

n = B/H.

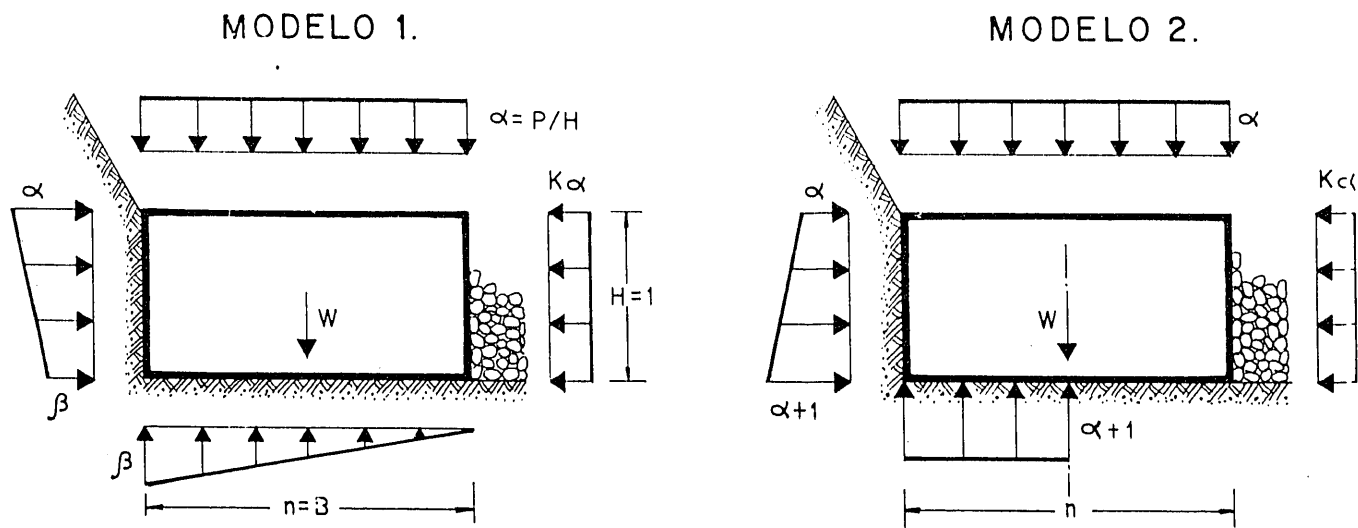


Figura 3.—Modelos de cálculo para el análisis de la rotura del plinto en las laderas.

Se supone que se inicia el deslizamiento cuando la relación de fuerzas horizontales a verticales, sobre la base del plinto, alcanza el valor 1/2 (coeficiente de seguridad = 1,5, $\text{tg } \phi = 0,75$, y cohesión nula), y que el inicio del vuelco ocurre cuando la resultante de las acciones sobre la base del plinto pasa por el extremo de su núcleo central.

En este análisis se ha considerado como coeficiente de seguridad el cociente entre la carga de agua que inicia el movimiento (P_a deslizamiento, P_v vuelco) y la carga de agua máxima existente (P). Es interesante señalar que aunque el modelo 2 representa mejor la situación real de El Siberio, cuando se inicia el despegue del plinto de su cimiento será el modelo 1 el más próximo a la realidad.

Para realizar los cálculos hay que hacer algunas hipótesis sobre el valor de K . Un valor $K = 0,22$ corresponde al empuje activo de la escollera en la teoría de Rankine; $K = 0,36$ sería el coeficiente de empuje al reposo, y $K = 1$ corresponde ya a un empuje pasivo parcial. El valor mínimo imaginable es el 0,22. Con este valor y las fórmulas anteriores se ha dibujado el gráfico de la figura 4. Son inmediatas las conclusiones de tipo general para plintos rectangulares que de él se deducen.

1. La condición de inicio de vuelco se rebasa antes que la de deslizamiento; esto es más acusado en el modelo 2 (existencia de una pantalla vertical impermeable).
2. La existencia de una pantalla impermeable vertical, favorable para la estanqueidad, empeora la estabilidad.
3. La forma del plinto (n), o su esbeltez ($1/n$), es uno de los factores que más influyen en la estabilidad.

Plintos planos pueden llegar a ser «autoestables», es decir, estables por su forma, con independencia de su tamaño relativo y de la carga de agua que soporta. Para $n = 2,73$ no puede iniciarse el deslizamiento; para $n = 3,56$ no puede iniciarse el vuelco (el denominador de las fórmulas anteriores es nulo en el modelo 1).

4. Un plinto de forma cuadrada o más esbelto ($n < 1$), con pantalla impermeable centrada en su base, inicia el vuelco poco después de quedar sumergido (ver figura 4).
5. Siempre que sea posible, debe irse a plintos planos (autoestables); deben evitarse los muy esbeltos (casos en que el plinto es aprovechado, en la zona de cauce, como ataguía).

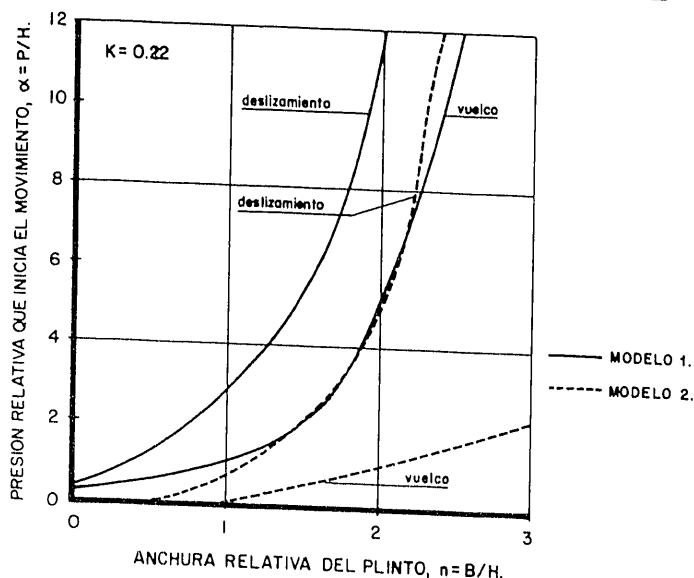


Figura 4.—Gráfico de resultados del cálculo en los dos modelos.

Para aplicar los dos modelos matemáticos al análisis de la rotura de la presa de El Siberio se han seleccionado 16 secciones de plinto en la margen derecha y 15 en la izquierda; sus rasgos geométricos son los reales de obra. Se observa que los valores $n = B/H$ son inferiores a los de proyecto (la fragilidad y el diaclasado de la roca han conducido a unas excavaciones más profundas, y por tanto a un plinto más esbelto). Valores de proyecto de $n = 2$ han resultado, en la realidad, comprendidos entre 1,73 y 0,58 en la M.D., con un 44 % de $n > 1$; y en la M.I. van de 1,8 a 0,62, con un 80 % de $n > 1$; también se observa que en la margen izquierda los valores de n , de secciones próximas, son más uniformes que en la derecha.

Con estos valores de n y de la carga de agua α , las fórmulas anteriores nos dan los coeficientes de seguridad de cada sección del plinto.

Se han confeccionado unos gráficos (no se incluyen) que representan, para cada sección, la evolución de su coeficiente de seguridad (al vuelco), a medida que aumenta el nivel de agua en el embalse. La interpretación que de ellos se deduce es que la rotura se va produciendo de forma progresiva a medida que el plinto se va sumergiendo; esta progresión se realiza de forma más gradual y suave en la ladera izquierda que en la derecha. Para embalse lleno, todos los perfiles analizados deberían tener roto su contacto con la roca en las hipótesis hechas, como así ha sucedido. La aparición de las grietas de corte a 45° en el plinto, a cotas 222 y 210, se debe a que delimitan una zona donde el plinto es mucho más esbelto que en los tramos con-

tiguos, en los que quedó sujeto. Es precisamente en la zona en que el plinto se hormigonó en dos fases, con una junta vertical, donde se inició la rotura, con cargas de embalse aún bajas (\sim cota 230), y moviéndose independientemente el trozo próximo a la escollera; para esa carga de agua, los coeficientes de seguridad obtenidos para las zonas adyacentes son aceptables.

En este cálculo se ha supuesto que la colaboración de la escollera corresponde exclusivamente a su empuje activo ($K = 0,22$), y, en esta situación, acabamos de ver, el análisis realizado da explicación a las roturas y despegues observados, tanto en magnitud como en su situación. Este es el gran valor del análisis cuantitativo de un hecho acaecido (roturas), pues permite contrastar los resultados de un cálculo con los efectos observados y así juzgar sobre el mayor o menor acierto de las hipótesis adoptadas. Si se supone una mayor colaboración de la escollera (del orden del coeficiente al reposo), el cálculo explica también la rotura, pero menos extensa e iniciándose con mayores inmersiones (más tardío). Por fin, si se supone $K > 1$ (movilización parcial del empuje pasivo) la rotura no se explica.

Para analizar la rotura del *plinto en la zona de los desagües* no se ha querido hacer ninguna hipótesis sobre la colaboración de la escollera ante empujes horizontales; intencionadamente se ha considerado como incógnita; su valor se busca como resultado del cálculo. Esto, y una rotura más compleja, aconseja utilizar un método de elementos finitos. Se ha diseñado una malla de cálculo de 175 elementos, de los que 33 corresponden a la estructura que se analiza, 56 a su entorno de escollera y el resto al terreno de cimentación. El programa utilizado simula la construcción y, en dos escalones, el llenado.

Se ha supuesto un empotramiento perfecto de la cimentación y una escollera bastante rígida, con un módulo de elasticidad creciente con su confinamiento, adoptando 800 kg/cm^2 para 1 kg/cm^2 de presión. Los módulos de hormigón y la roca se han considerado de 250.000 kg/cm^2 y 10.000 kg/cm^2 , respectivamente. En los tres materiales se supone una variación de sus rigideces cuando la tensión se acerca a la rotura, no contemplando roturas bruscas.

De toda la serie de diagramas de esfuerzos, tensiones y desplazamientos que se han obtenido, solamente a título ilustrativo se han incluido en este artículo los correspondientes a los esfuerzos que aparecen en la sección de arranque del alzado del plinto (figuras 5 y 6).

Aparece una tracción aguas arriba de 17 kg/cm^2 y una tensión de corte de 8 kg/cm^2 . Parece lógico que

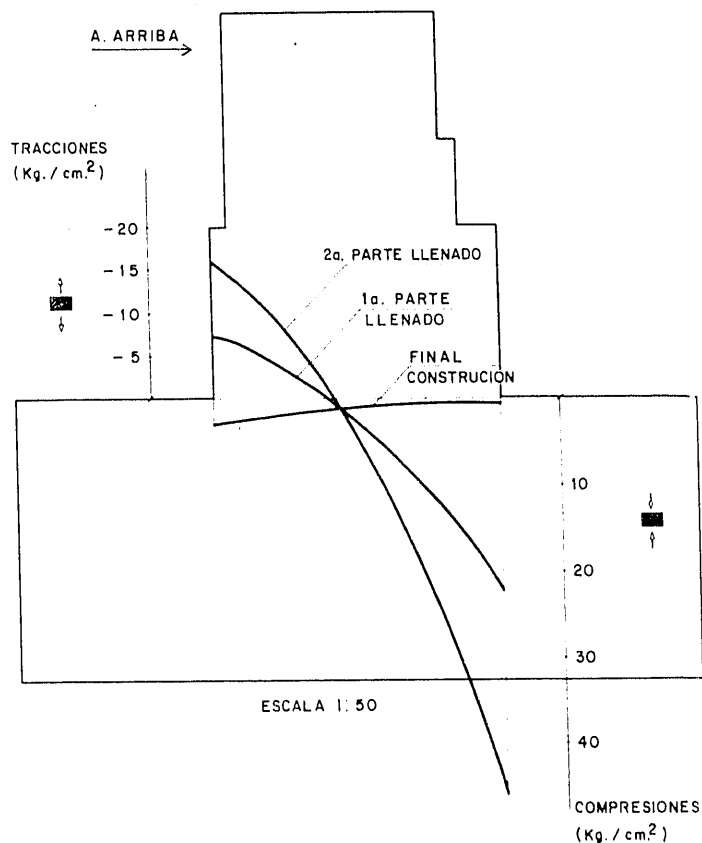


Figura 5.—Tensión vertical en la base del plinto en la zona de desagües del fondo (análisis de la rotura).

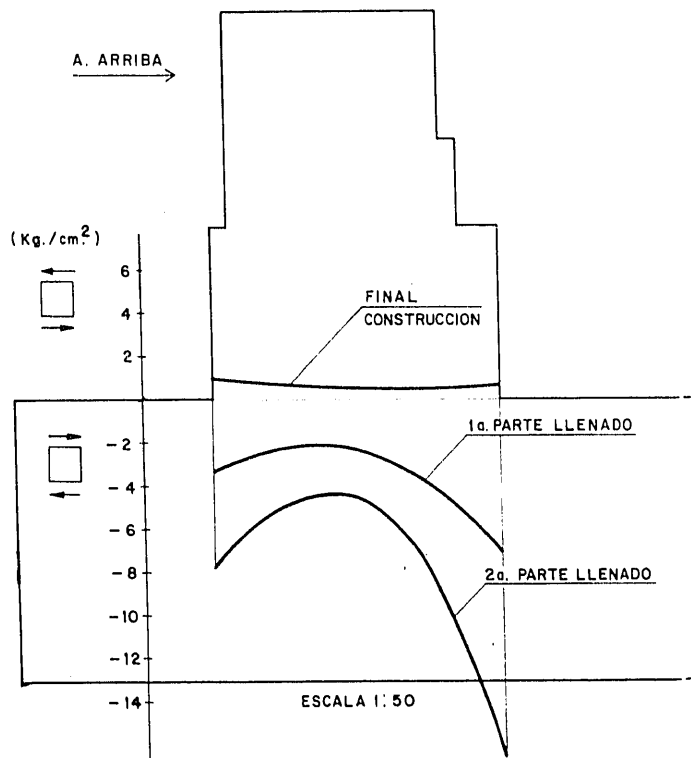


Figura 6.—Tensión cortante en la base del plinto en la zona de desagües de fondo (análisis de la rotura).

esta conjunción de esfuerzos no las soporte el hormigón, dando lugar a las roturas señaladas al principio de este trabajo. Presumiblemente haya comenzado abriéndose por tracción aguas arriba, y la sección útil, más reducida, haya sido cizallada totalmente por la tensión de corte. Una vez el plinto roto en bloques, éstos se han movido libremente al persistir la carga de agua.

Los datos relativos a los movimientos, por el llenado del embalse (con cierta reserva respecto a su precisión, ya que son muy sensibles a las rigideces adoptadas), nos indican que los asientos de la pantalla son del orden de 60 mm., y los de la cimentación del plinto, de 3 mm.; el plinto, si hubiese sido capaz de soportar los esfuerzos, se habría movido hacia aguas abajo entre 8 y 3 mm.; la escollera se mueve hacia aguas abajo un máximo de 20 mm.

En el equilibrio de fuerzas horizontales en el alzado del plinto, para la hipótesis de embalse lleno, se comprueba que la escollera del trasdós soporta el 20 % del empuje del agua, contribución mínima que, al igual que ocurría en las laderas, corresponde a una situación de empuje activo. Ello es debido a que el movimiento de la escollera hacia aguas abajo es de 20 mm., que el plinto no puede seguir sin romperse.

En la *zona central del cauce* el plinto está empotrado en zanja, sobresaliendo un alzado de poca altura. En estas condiciones, para la carga total de agua, y con una hipótesis pesimista de la subpresión que correspondiese a la existencia de una eficaz pantalla vertical centrada en la base del plinto soportando la carga total de agua, las tensiones en la base del alzado son: tracción de 0,8 kg/cm² aguas arriba; compresión de 14,8 kg/cm² aguas abajo, y corte de 3,7 kg/cm², que muestran una forma de trabajo aceptable, coincidente con la realidad observada (ningún signo de deterioro). El talud de agua abajo de la zanja de empotramiento recibe una compresión de 11,7 kg/cm², lo que indica que la roca era muy competente y/o que la subpresión se ha sobreestimado.

Del análisis del comportamiento del plinto en la zona de cauce y de desagües de fondo pueden deducirse unas conclusiones para añadir a las que, de carácter general, se han obtenido en el análisis del plinto en laderas:

1. Si al proyectar una presa de escollera con pantalla, en el diseño de su plinto, quiere contarse con una colaboración de la escollera resistiendo empujes horizontales, éstos nunca serán superiores a los correspondientes al estado del empuje activo. Es decir, no

más del 20 % del empuje horizontal de la carga del agua deberá confiarse a la escollera que trasdosa el plinto. Sería recomendable, en proyectos importantes como el de El Siberio, despreñar esta colaboración en favor de una mayor seguridad.

2. Ha de tenerse presente que, para cargas de agua importantes como la de El Siberio, los pesos propios y los empujes de escollera son despreciables frente a las fuerzas hidráulicas. Importa la forma del plinto, pero no su tamaño.
3. En la zona de cauce, con el plinto bien empotrado en zanja, éste ha resistido perfectamente la carga total del embalse.
4. Se requiere la atención de que en las laderas, y más si son muy escarpadas, es difícil, en la práctica, conseguir un buen empotramiento del plinto. Deben, pues, proyectarse con formas adecuadas: plintos planos o plintos-muro, a modo de chapado de la ladera.
5. Los movimientos de la escollera en la zona próxima al plinto en el cauce (El Siberio) han tenido un orden de magnitud mayor que los del propio plinto. A pesar de ello, la pantalla asfáltica los ha soportado bien, aparentemente.

SOLUCION ADOPTADA PARA LA REPARACION

La rehabilitación del plinto, dado su estado de rotura, fue descartada desde el primer momento. Una estructura nueva debería realizarse con dos condiciones en su proyecto: la nueva construcción no debería afectar al resto de la obra cuyo comportamiento había sido correcto (cuerpo de presa y pantalla asfáltica) y la nueva estructura debería ser autoestable. No se contaba con la colaboración de la actual, que permanecía, pero por su estado no se le confiaba, con garantía, capacidad resistente.

En la *zona de cauce y desagüe* se establece un nuevo plinto en contacto con el actual, por aguas arriba. De sección rectangular, está calculado para que sea autoestable, lo que obliga a que tenga una gran base, ya que su altura, importante, viene impuesta para salvar el actual y así dar continuidad a la pantalla asfáltica. Aloja una galería visitable, enlazada con la de los desagües de fondo, y desde la que se realizará la pantalla de impermeabilización y la red de drenaje. Para mayor alivio de la subpresión se dejan unos huecos o vacíos de 1 m. de ancho,

distanciados cada 4 m., que afectan a la mitad de aguas abajo de la base del plinto.

En *laderas*, cuyas pendientes son muy fuertes, no se ha podido adoptar solución semejante a la del cauce, plinto adosado lateralmente, pues el volumen de excavación resulta inaceptable. Se construye un nuevo plinto apoyado sobre el antiguo. Aunque monolítico, puede diferenciarse en dos partes: la inferior, prismática, sobre el plinto actual y solidario con él y con su roca de cimentación por medio de bulones, servirá de apoyo a la pantalla asfáltica; la otra es un ala, subvertical en ladera izquierda y más tendida en la derecha, anclada también con bulones a la roca. Proporciona este ala un escudo para poder realizar la pantalla de impermeabilización con cierta presión, y un recorrido para las líneas de filtración mucho más largo del que disponía el primitivo plinto. Las perforaciones del drenaje conectan con la escollera por intermedio de unos nichos dejados en el cuerpo prismático de la base del plinto.

La ejecución de la obra, por una parte, y los resultados del análisis de la rotura, por otra, han obligado o aconsejado introducir en el proyecto ligeras modificaciones de detalle, que comentamos seguidamente.

En *laderas* se conserva la tipología de la solución proyectada, ajustándose a la excavación resultante. Siendo las fuerzas de subpresión las que más solicitan al plinto, se pone mayor énfasis para acentuar la impermeabilización y el drenaje. En el deseo de que el plinto antiguo no esté solicitado por compo-

nentes horizontales de la carga de agua hacia la escollera, se desplazan hacia arriba las pantallas de inyección y de drenaje. Por fin, para una mayor garantía de funcionamiento del drenaje, que no es visitable, se han adoptado una serie de dispositivos en los nichos; además, sus posibles caudales se recogen y conducen, para su control, a la galería del plinto en cauce. El drenaje, convenientemente pro-

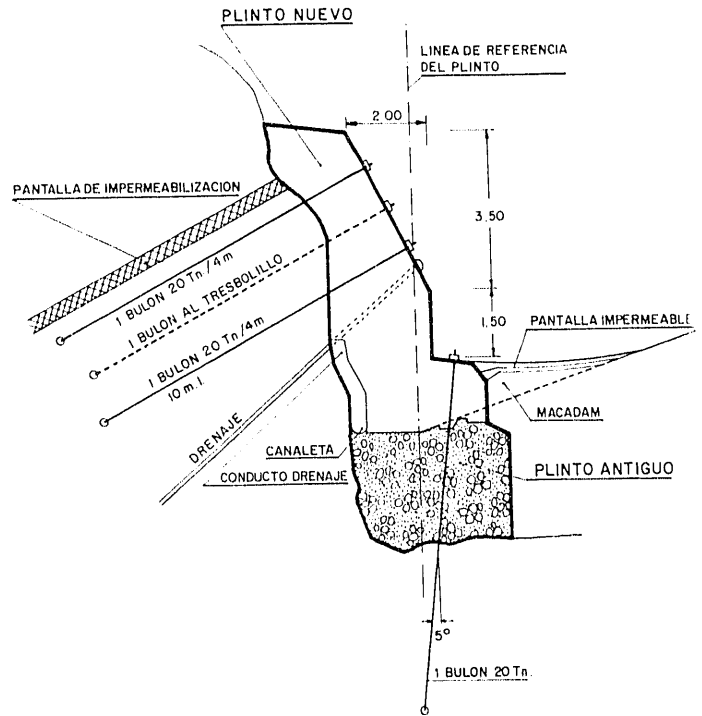
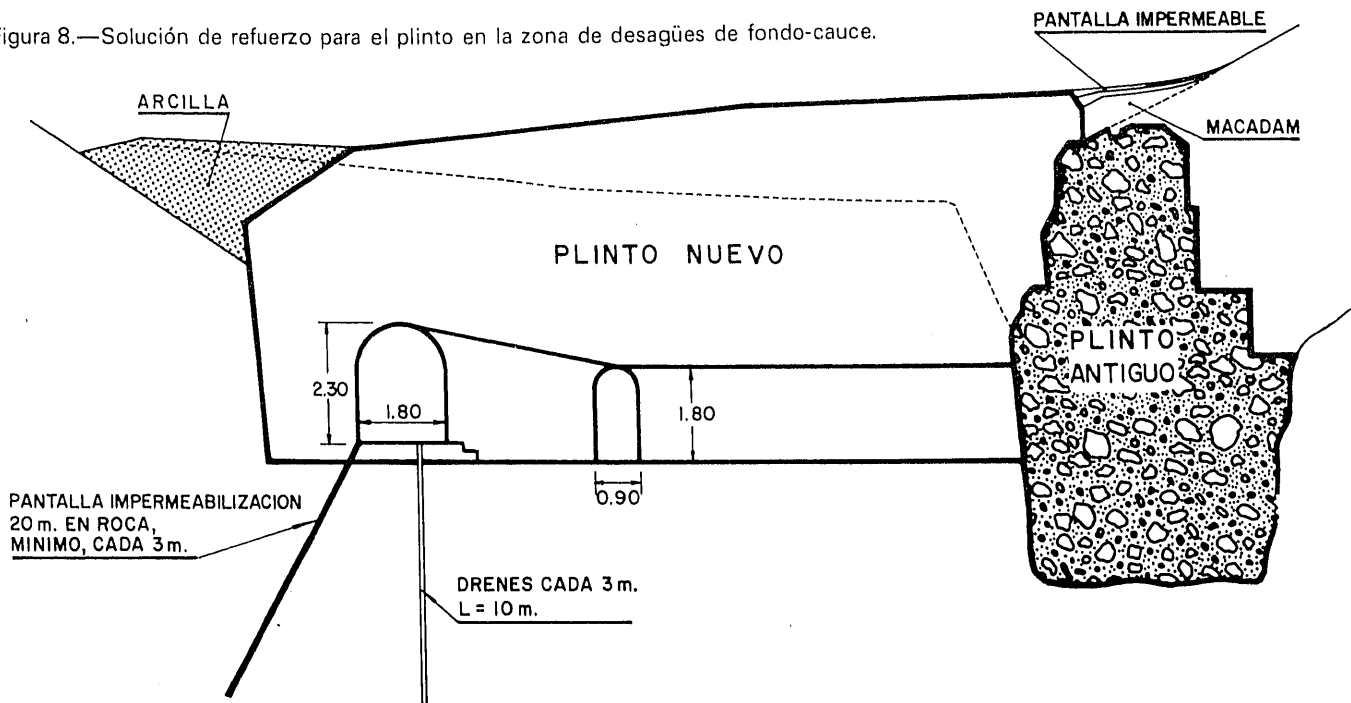


Figura 7.—Solución de refuerzo para el plinto en las laderas.

Figura 8.—Solución de refuerzo para el plinto en la zona de desagües de fondo-cauce.



regido, queda localizable para poder reperforarlo siempre que se desee y el embalse lo permita.

La distribución de armaduras y de bulones no es uniforme a lo largo del plinto; hay una mayor concentración de estos últimos en las zonas bajas que soportan mayor carga. Cálculos de estabilidad y resistencia se han individualizado para cada uno de los bloques que componen el plinto.

En la *zona de cauce y desagües* se ha conseguido reducir ligeramente la altura del nuevo plinto, lo cual obra favorablemente para su estabilidad, recibiendo la pantalla asfáltica a una cota algo más baja y no profundizando innecesariamente la excavación del cimientó. Por el mismo motivo que en las laderas se refuerza el drenaje, sustituyendo los nichos por galerías transversales enlazadas con la general de visita.

Las secciones tipo del plinto que se están construyendo aparecen en las figuras 7 y 8.

Los distintos tajos de obra siguen rigurosamente el proceso de construcción, con una secuencia de operaciones que se ha establecido:

1. Excavación en laderas.—Se ha empleado muy poco explosivo, mucho saneo a mano y algunos pernos de sujeción de zonas inestables.
2. Excavación en cuenco.—Se ha realizado por bataches para no descaizar la presa.
3. Tratamiento e inyección de las fisuras en el hormigón y de las grietas de despegue con la cimentación.
4. Hormigonado del plinto en cauce.
5. Hormigonado del plinto en laderas.—Se pica previamente la superficie del plinto antiguo y se pinta con resina epoxi. Se dejan unos huecos visitables que se hormigonan en una segunda fase. Los bloques se normigonan comenzando en el cauce y terminando en coronación. El hormigonado del bloque es continuo, no admitiéndose juntas constructivas.

6. Colocación de bulones en el plinto de laderas, con un orden establecido.
7. Inyecciones de consolidación.
8. Inyecciones de impermeabilización.
9. Perforación del drenaje.
10. Hormigonado de los huecos del plinto en laderas, llevándolo de arriba hacia abajo. Los huecos visitables han servido para el control de las tres operaciones anteriores.
11. Ejecución de la pantalla asfáltica en una banda de 5 m. para enlazarla al nuevo plinto. Revisión general de toda la pantalla.

Las obras de refuerzo del nuevo plinto de la presa de El Siberio se encuentran en fase de construcción, estando prevista su terminación para finales de este año.

RECONOCIMIENTO

El problema del plinto de la presa de El Siberio es complejo; ha requerido una dedicación intensa para analizar su rotura, proyectar la solución de refuerzo y su posterior adaptación a la geometría de la roca excavada, y está requiriendo, y lo seguirá hasta concluir los trabajos, un tipo de dedicación semejante para analizar cada detalle constructivo de esta obra, delicada y difícil, que ejecuta la empresa AUXINI.

Han aportado su colaboración a este esfuerzo el SGOP, el Laboratorio de Carreteras y Geotecnia y la empresa de proyectos INITEC durante la redacción del proyecto. Con la dirección de obra, don Aníbal Trujillo y don Enrique Gutiérrez, de la Jefatura de Servicios Hidráulicos de Las Palmas, colaboran en la vigilancia y control de obra, y el asesoramiento técnico la empresa OFITECO y los expertos don Luis Maroto Cervera y don Antonio Soriano Peña. Este último ingeniero ha realizado el análisis de la rotura en su planteamiento y desarrollo, análisis que es parte esencial de este artículo.