

# LA PANTALLA IMPERMEABLE DE LA PRESA DE AIGUAMOIX

Por JOSE SERRANO CAMARASA

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Director de CONSULPRESA

*En la presa del Aiguamoix se ha ensayado con éxito, por primera vez en España y acaso en el mundo, la aplicación, como membrana impermeable externa de un dique de escollera, de telas de nylon-neopreno revestidas de caucho asfaltos. Se describen en este artículo las vicisitudes de esta realización, que puede servir de punto de partida para una nueva técnica de impermeabilización, por presentar las siguientes ventajas sobre las pantallas bituminosas tradicionales: mayores homogeneidad, resistencia, impermeabilidad y durabilidad; además de una gran rapidez y facilidad de aplicación sin equipos mecánicos especiales, aun en condiciones meteorológicas adversas.*

El salto de Aiguamoix, del que es concesionaria la Sociedad Productora de Fuerzas Motrices, S. A., está situado en el Valle de Arán y aprovecha las aguas del río Garona y sus afluentes Iñola, Malo, Aiguamoix y Valarties, entre las cotas 1402 y 1135,15 m., s.n.m.

Las características principales de este aprovechamiento son las siguientes:

|                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| Salto bruto ... .. | 266,85 m.                |
| Caudal ... ..      | 14 m. <sup>3</sup> /seg. |
| Potencia ... ..    | 40.000 kVA.              |

El embalse del Aiguamoix se utiliza como colector general de las distintas aportaciones y regulador semanal de las mismas.

El salto de Aiguamoix y el de Arties (804 metros de desnivel y 85 000 kVA. de potencia); están dispuestos en paralelo con los generadores en central común.

La modulación de caudales en la cadena de los saltos que integran el sistema del Garona español (Arties-Aiguamoix, Viella, Benós, Bosost y Pont de Rey) se realiza mediante la fluctuación conjugada de los embalses de cabecera del salto de Arties (antiguos lagos de origen glaciar acondicionados como reguladores anuales) y del embalse de Aiguamoix; pues los sucesivos saltos de Viella, Benós y Bosost carecen de regulación hidráulica propia y el de Pont de Rey dispone de un embalse lateral de 124 000 m.<sup>3</sup> de capacidad útil, que sumados a los 49 000 m.<sup>3</sup> de capacidad útil del salto afluente del Torán, hace un total de 173 000 m.<sup>3</sup> con lo que se consigue una modulación complementaria que permite obtener la plena potencia del salto durante los períodos críticos de puntas.

También carecen de regulación los dos sal-

tos de Jueu y Barradós que utilizan los dos restantes ríos afluentes importantes, con cuyos saltos se completa el total aprovechamiento, llevado a cabo por la "Sociedad Productora de Fuerzas Motrices, S. A." de los recursos hidroeléctricos del río Garona en territorio español.

Todos los saltos enumerados se hallan actualmente en explotación, y el último puesto en servicio fue el de Aiguamoix, que lo hizo en 25 de enero de 1965.

Las características principales del embalse del Aiguamoix son las siguientes:

## Vaso.

El valle del río Aiguamoix es de erosión glaciar con característica forma en U; geológicamente existe en el vaso un gran batolito granítico en contacto con pizarras devónicas, cubiertas parcialmente — especialmente en la zona de presa — por una morrena frontal glacial.

La presa se ha construido apoyada parcialmente sobre la morrena, la cual descansa a su vez en los granodioritas del batolito que afloran en el estribo derecho, en el que se sitúa el aliviadero.

|                                                                    |                         |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Extensión superficial de la cuenca del río Aiguamoix ... ..        | 35,3 km. <sup>2</sup>   |
| Extensión superficial de la cuenca aprovechada por el salto ... .. | 100,9 km. <sup>2</sup>  |
| Capacidad total del embalse ... ..                                 | 562.000 m. <sup>3</sup> |
| Capacidad útil del embalse ... ..                                  | 515.000 m. <sup>3</sup> |

## Presa.

La presa es de escollera con taludes de aguas arriba y abajo con tangente de 1:1,35 y

coronación horizontal de 5 m. de anchura. La altura de presa sobre el cauce es de 21,60 m. y sobre cimiento del rastrillo de 25,90 m.

La capacidad de evacuación del aliviadero es de 240 m.<sup>3</sup>/seg.

El cubo de escollera es de 59 000 m.<sup>3</sup> y el material empleado ha sido el granito de una pedrizca natural existente en el vaso, el cual material debido a la erosión y meteorización superficial experimentada a lo largo del tiempo, no presentaba cantos vivos, sino más bien redondos, lo que unido a una adecuada compactación justifica los pequeños asientos comprobados (del orden de 3 mm.).

### *Pantalla.*

Lo más singular de esta obra es el sistema de impermeabilización adoptado en el cuerpo de presa, a base de una membrana elástica externa que cubre el paramento de aguas arriba del dique.

Al decidirse la ejecución del dique en dos etapas sucesivas — para poder comprobar el comportamiento de la morrena de la margen izquierda con la mitad de la sobrecarga hidrostática final — cabía esperar asentamientos importantes en la escollera durante la ejecución del recrecimiento de segunda fase, lo que podía poner en peligro la estanquidad de la parte de pantalla construida y en servicio con anterioridad, que en principio se había previsto ejecutar de hormigón armado. Por ello juzgamos conveniente sustituir la pantalla de hormigón armado por otra mucho más elástica que siguiera las deformaciones del dique sin averiarse.

De momento consideramos la posibilidad de adoptar una pantalla normal de hormigón asfáltico como la utilizada en cualquiera de las 15 grandes presas de escollera similares construidas entre los años 1950 y 1963, de las que teníamos conocimiento. En ellas el espesor de la membrana asfáltica variaba entre 5 y 30 cm., se habían realizado con áridos de granulometría continua con tamaños comprendidos entre 30 milímetros y arenas finas o filler, siendo el aglomerante adoptado el betún en proporción del 8 al 12 por 100 del peso de los áridos.

En general, todas estas presas se habían comportado bien aun estando sometidas alguna de ellas a temperaturas tan extremas como son — 25° y + 60° C. La estanquidad era prác-

ticamente total y se mencionaba como virtud común de estas presas el autocerrado de las vías de agua producidas por asientos. Se hacía siempre hincapié en la necesidad de conseguir una compactación perfecta para obtener la impermeabilidad y duración deseada.

En cuanto a las protecciones superficiales exteriores adoptadas, eran muy diversas, desde las que carecían totalmente de ella o la limitaban a una pintura reflejante — para reducir la temperatura superficial bajo insolación — a las que poseían un blindaje de placas de hormigón armado.

Como se ve, la solución de membrana asfáltica resolvía mejor que la pantalla de hormigón armado nuestros problemas, pero todavía no nos satisfacía en el aspecto de ejecución práctica de la obra de la primera etapa, habida cuenta de que dado el fuerte talud de la presa y las exigencias de una perfecta compactación se requería el empleo de máquinas especiales de las que carecía España de momento, cuya importación o fabricación no se justificaba económicamente para realizar sólo los 700 m.<sup>2</sup> de la primera etapa de la pantalla.

En vista de ello, emprendimos una serie de ensayos que tenían por objeto encontrar láminas impermeables prefabricadas que recubiertas de asfalto oxidado (para que fuera más estable) permitieran su aplicación sin empleo de maquinaria especial y ofrecieran el mismo o mayor grado de eficacia que la pantalla de hormigón asfáltico.

En los primeros ensayos, realizados en estrecha colaboración con los ingenieros de "Construcción Pirenaica, S. A.", que habían de ejecutar la obra, se utilizó para las pruebas un cono de 80 cm. de altura e igual diámetro de base construido de chapa de 2 mm. de espesor, perforada regularmente con agujeros de 2 milímetros de diámetro, cuyo interior se tapizaba con las láminas objeto de estudio, que se aplicaban en caliente sobre la plancha. A 15 cm. de la base, que es impermeable y se une al cono mediante una junta circunferencial estanca, se ha cortado la superficie cónica por un plano horizontal, y las dos partes resultantes se mantienen en posición, cerradas durante la colocación de las telas y abiertas en el grado que se desea durante las pruebas, mediante tornillos pasantes. El cono se somete a la presión interna de agua requerida. Mediante la separación de las dos porciones del cono se simula una grieta conti-

nua, con asiento distinto en los bordes, dada la conicidad.

Se empezó por probar láminas de asfalto de distinta consistencia armadas con lana de vidrio. De momento se conseguía la impermeabilidad total, pero la emigración del asfalto por los agujeros de la plancha provocaba a corto plazo la perforación de la lámina.

Después se probaron láminas con velo continuo de polietileno de hasta 0,5 mm. de espesor y recubrimiento de 2 mm. de espesor de asfalto por ambas caras. Como en el caso anterior, de momento se conseguía la impermeabilidad total, incluso con presiones elevadas, pero por efecto de la fluencia lenta, pero constante, del asfalto y por deformación del polietileno, que se embutía en los agujeros y aparecía al otro lado de la chapa formando puntas, las láminas acababan por perforarse en estas puntas.

A continuación se probó una lámina de butapreno de 1 mm. recubierta de asfalto oxidado por ambas caras. El butapreno (nombre comercial impropio) es un caucho butílico que posee alta resistencia a la intemperie y a los ácidos, algo menor a la grasa. Se ha empleado en Estados Unidos en recubrimiento de canales y acequias aplicándole directamente sobre el terreno. Es tenaz, elástico e impermeable y presenta bastante resistencia al punzonamiento. Proponíamos emplearlo en nuestro caso con revestimiento de asfalto oxidado de 2 mm. de espesor, soldando el asfalto en caliente al soporte en bandas de 1 m. de ancho que se solapaban 15 cm. sobre la precedente. Este producto se comportó de manera mucho mejor, el butapreno cerró los agujeros de 2 mm. de diámetro de la plancha resistiendo sin embutirse, pero no soportó la prueba de carga sobre grieta continua; con presión de 13 m. de carga de agua se fue abriendo lentamente el corte del cono, cuando la grieta medía 1 cm. se apreciaron a lo largo de la circunferencia del corte entre tornillos a manera de hernias que fueron creciendo en volumen, primero lentamente y más tarde de forma acelerada, hasta que se produjo el estallido de una de ellas en un proceso que duró quince minutos.

Por último, probamos un velo formado por un tejido de nylon con revestimiento de neopreno por ambas caras de 0,3 mm. de espesor, el cual velo se revestía a su vez por ambas caras con espesores de 2 mm. de asfalto oxidado que

servía como soldante con el soporte y entre las distintas capas y solapes.

El Neopreno, nombre comercial del policloropreno, es un material elastómero impermeable, resistente a ácidos, grasas, a la acción del sol, intemperie y ozono. Se asocia de manera feliz al asfalto, al que se adhiere fuertemente sin que se alteren con el tiempo ninguna de sus propiedades mecánicas. A su vez el neopreno fundido en el asfalto hace a éste más estable y duradero, mejorando su susceptibilidad térmica; por ello se ha generalizado últimamente en EE. UU. la mezcla de látex de policloropreno en proporción del 3 a 5 por 100 con el betún en asfaltos de carreteras, con lo que se consigue alargar considerablemente la vida de las capas de rodadura.

Si bien en nuestro caso las láminas de neopreno no se funden con el asfalto, constituyen a manera de vaso hermético ideal para el betún intercalado, conservando indefinidamente sus propiedades, en especial las plásticas impermeabilizantes y adherentes.

El tejido de nylon le da a la tela alta resistencia a la tracción y al punzonamiento, el neopreno la impermeabiliza y defiende de la acción directa del calor de aplicación del asfalto. A su vez, el propio asfalto de revestimiento, que es un buen aislante térmico, la defiende del calor superficial que es necesario aplicarle para su soldadura por fusión al soporte, en la zona de solape y entre capas; pues hay que tener en cuenta que el nylon reduce al 90 por 100 su resistencia a la tracción si se le somete a temperaturas de 150° durante veinte minutos, y pierde rápidamente su resistencia a tracción si se le aplican mayores temperaturas o tiempos de permanencia bajo caldeo. Por su mayor resistencia térmica será más recomendable utilizar en adelante tejido de poliéster, que de momento es algo más caro.

Las telas de Nylon en condiciones normales de temperaturas y con su plena resistencia, tienen un alargamiento máximo del orden del 30 por 100. Colocadas con el revestimiento de asfalto en el cono de prueba soportaron durante tres días —manteniendo la estanquidad total sin correrse ni punzonarse— presiones de 30 metros de agua sobre grietas de 1 cm. de espesor; posteriormente por corrimiento de las láminas en las soldaduras perdió estanquidad el dispositivo de prueba. El asfalto de asiento que revestía las telas exteriormente, pasó de manera

prácticamente total a través de los agujeros de la chapa, anclando las telas al soporte mediante un verdadero sistema de raíces.

Vistas las propiedades de ambos tipos de láminas, las de butapreno, permitiendo grandes alargamientos del orden del 400 por 100 y la de neopreno soportando elevadas presiones, pero con relativos pequeños alargamientos (lo que en parte puede suplementarse con los corrimientos relativos entre telas, habida cuenta de los amplios solapes previstos) y teniendo en cuenta la urgencia del caso, pues el salto se hallaba prácticamente terminado y en condiciones de funcionamiento salvo en lo que se refería a la presa, propusimos a la Administración del Estado la ejecución, siquiera a título provisional, de la primera etapa de pantalla, colocando sobre el paramento de agua arriba del dique las siguientes capas paralelas:

1.<sup>a</sup> Una capa de escollera colocada a mano, de 1 m. de espesor, para mejorar la estabilidad de la piel y reducir los huecos, asientos locales y cavernas en la zona de pantalla de la escollera.

2.<sup>a</sup> Una capa de 20 cm. de espesor de hormigón permeable (sin finos), de fácil drenaje.

3.<sup>a</sup> Una capa de hormigón de 450 Kg. de cemento por metro cúbico, colocada con el cañón lanzacemento, de 5 cm. de espesor, armada con mallazo formado por alambres de 3 mm. separados en ambas direcciones 150 mm., para evitar la formación de grandes grietas singulares.

4.<sup>a</sup> Una pintura caucho asfáltica de imprimación aplicada sobre la anterior una vez fraguado y seco el hormigón para asegurar una buena adherencia con la capa siguiente.

5.<sup>a</sup> Una lámina de Butapreno de 1 mm. de espesor revestida en su cara inferior por una capa de asfalto de 7 mm. de espesor y en su cara superior por otra capa de 2 mm. de espesor. Esta lámina se coloca en bandas o témpanos con su dirección principal de arriba abajo, calentando su superficie de contacto para asegurar la soldadura y con solapes entre bandas de 15 cm.

Los 7 mm. de revestimiento de asfalto inferior constituyen una reserva que puede emigrar para taponar cualquier brecha local y producir a manera de raíces de fijación de la pantalla sobre el soporte.

El Butapreno, en las proximidades de cualquier grieta, puede deformarse localmente sin romperse y embotar los bordes cortantes del

hormigón de la grieta, de manera que procure un colchón de apoyo a la capa siguiente de Neopreno, alejando el peligro de deformaciones locales peligrosas que pudieran ocasionar la rotura de esta capa de Neopreno. Aun en caso extremo de rotura de la lámina del Butapreno sobre alguna grieta local, tras la formación de hernias — como éstas consisten en bolsas de asfalto — se produciría el inyectado inmediato de dicho asfalto con probable obturación de la brecha, antes de que se rompiera la capa de neopreno superior.

6.<sup>a</sup> Una segunda lámina como la 5.<sup>a</sup> pero de Neopreno-Nylon con revestimiento de asfalto de 4 mm. de espesor, por ambas caras, aplicada asimismo en caliente y con juntas alternadas respecto de la precedente.

7.<sup>a</sup> Una capa de pintura caucho asfáltica a la que se ha añadido arena graneada para mejorar la adherencia de la siguiente.

8.<sup>a</sup> Una capa que sirve de blindaje contra efectos de punzonamiento, fuego, disparos de armas ligeras, efectos de insolación directa y como abrigo de la intemperie, construida de manera similar a la tercera, de hormigón de 400 kilogramos de cemento colocado con cañón lanzacemento y alisado externamente con llana, armado con mallazo de 3 mm. formando malla de 150 mm. de lado.

Esta capa de blindaje fue objeto de viva controversia entre los técnicos que colaboramos en el proyecto. Nuestra idea inicial era la de cubrir la pantalla con un mosaico articulado de pieza de hormigón de alta calidad integrado por losetas o adoquines altamente resistentes a los hielos. Para reducir el peligro de pandeo del mosaico con elevadas temperaturas — posible a embalse vacío por lo escarpado del talud — pensamos utilizar piezas especiales en que los sistemas de juntas no fueran planos. En principio consideramos la posibilidad de emplear losetas cuadradas de dos dimensiones inconmensurables entre sí y en relación aproximada del orden de 1 a 4, para que colocadas intercaladas sistemáticamente, a manera de mosaico romano, los sistemas ortogonales de juntas fueran laberínticos. Una segunda posibilidad considerada fue la del empleo de adoquines especiales como el Trefft o similares, limitados por superficies alabeadas que se imbrican entre sí. La fijación del adoquín o losetas a la base entre sí se había previsto a base de colas de caucho-asfalto.

Sin embargo, la falta de experiencia en obras

hidráulicas de estos tipos de revestimientos y el no haber pensado previamente en un escalonamiento del talud que hiciera menos vulnerable al pandeo de su piel, nos decidió a aceptar la plancha continua de gunita armada, antes indicada, aun a riesgo de que los hielos la pudieran dañar exigiendo ulteriores reparaciones.

#### *Membranas impermeables de diversos tipos.*

Aun cuando en la fecha en que propusimos esta solución, a finales de 1964, se desconocía cualquier precedente importante de pantallas de presa a base de telas impermeables de policloropreno, los ingenieros de la Administración del Estado no sólo autorizaron su colocación a título experimental, sino que nos alentaron y se mostraron muy interesados en su experimentación por considerar, como nosotros, que convenientemente perfeccionadas pueden resolver de manera económica los problemas de impermeabilización y protección superficial en presas de materiales sueltos.

Estamos convencidos de que telas similares de neopreno con tejido de poliéster revestidas o formando *sandwich* con caucho-asfaltos a base de policloropreno y betún, pueden constituir en el futuro la capa de rodadura ideal para puentes metálicos de grandes luces en carreteras asfaltadas, pues al mismo tiempo que brindan continuidad aparente al pavimento en la obra, protegen de oxidación a las estructuras metálicas, amortiguan el impacto y son de gran ligereza, resistentes y fáciles de colocar y reparar.

De manera análoga en vehículos, edificios y obras en los que las superficies aparentes — por consideraciones estéticas o de irradiación luminosa y térmica — convenga que sean blancas o claras, la solución por el momento más adecuada es a base de recubrimientos de neopreno con revestimientos a su vez muy tenues ( $\approx 0,1$  mm.) de Hypalon (Polietileno clorosulfonado), con lo que se conseguirá una gran estabilidad en el color y una gran protección contra la intemperie, como han demostrado ya algunas experiencias realizadas con éxito en España y en el extranjero.

Para impermeabilizar y defender de la acción de ciertos líquidos agresivos obras de hormigón o acero cuyas superficies no estén sometidas a la irradiación solar directa, recomendamos

la aplicación superficial de resina epoxy en forma de pintura, que hemos empleado hasta ahora con éxito, entre otros casos, en la impermeabilización de un depósito de fuel-oil subterráneo de 6.500 m.<sup>3</sup> en la central térmica de Mata (\*), así como en el tapizado del paramento de agua arriba de la presa de Tabescán orientado al Norte en un congosto estrecho que impide toda insolación. (La insolación directa envejece rápidamente la resina.) En el caso de aplicación de esta resina es esencial que la superficie a aplicar esté decapada, limpia y exenta de cuerpos extraños de características térmico-mecánicas diferentes. Para el decapado hemos utilizado chorro de agua a muy alta presión. En las juntas y zonas en que eran de presumir movimientos hemos empleado resina epoxy con formulación elástica.

Propugnamos asimismo el empleo de resinas epoxy — preferiblemente de formulación elástica y débil espesor (de 0,2 a 1 mm.) para reducir el peligro de despegue a causa del distinto coeficiente de dilatación térmica y módulo elástico — en el revestimiento de conducciones hormigonadas que hayan de transportar líquidos agresivos, como aguas muy puras o a alta velocidad. Este último será el caso corriente en las futuras centrales revestibles de gran potencia, que estudiamos ahora, en las cuales solamente podremos aprovechar al límite las posibilidades económicas que ofrecen las amplias secciones impulsando el agua, en las condiciones críticas de degeneración a plena potencia, a grandes velocidades muy por encima de las que se consideran ahora prudentes en galerías hormigonadas o enlucidas con cemento. La superficie vítrea de la resina, por otra parte, nos hace concebir esperanzas de mejorar considerablemente las condiciones de rugosidad de estas conducciones respecto a las que presentan las galerías enlucidas con cemento.

En el caso de la presa del Aiguamoix nos reservamos el empleo de resinas de este tipo, si fueran precisas, para preservar de la acción de los hielos la capa de gunita de blindaje, procediendo a proteger a su vez la resina de la acción directa del sol mediante el embadurnado super-

(\*) En este caso, el costo de la impermeabilización llevada a cabo bajo nuestras directrices por Constructora Pirenaica, S. A., ha resultado ser, aproximadamente, el 25 por 100 de lo presupuestado por una firma especializada en impermeabilizaciones, con el agravante de que dicha firma propugnaba la adición de revocos y telas de muy dudoso comportamiento.

ficial de la resina — una vez iniciado su período de endurecimiento — con tenue lechada de cemento. Este mismo procedimiento hemos previsto en la impermeabilización de techos de hormigón en la caseta de toma del Aiguamoix.

#### *Fijación y fabricación de las telas.*

Voiviendo a la pantalla del Aiguamoix, diremos que las telas arrancan inferiormente de la coronación de un muro rastrillo, ajustado al per-

cación *in situ*. Inmediatamente antes de colocár las telas se aplicó sobre el soporte de hormigón una pintura de imprimación con base caucho-asfalto y disolvente aromático (Benzol), que se prendía fuego una vez extendida en el rectángulo que había de cubrir cada pieza de tela. El fuego se extinguía por aplicación lenta de abajo arriba de las propias telas; de esta manera se conseguía un caldeo previo del soporte y un calentamiento ligero de las telas, que provocaba la fusión del asfalto superficial del revestimiento sin riesgo de quemarlas.

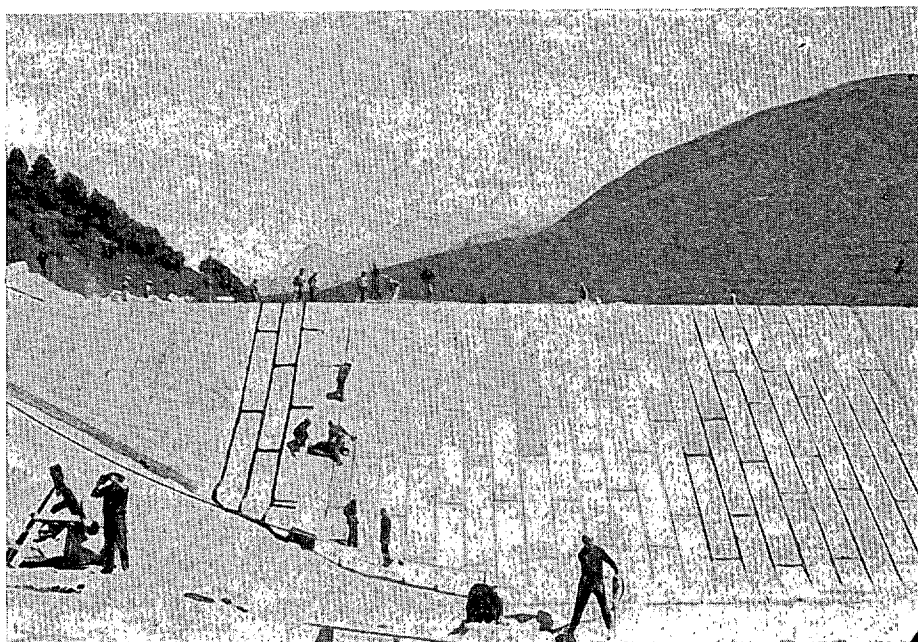


Foto 1. — Colocación de telas impermeables en primera etapa. En el centro, capa de butapreno colocada. Los obreros colocan la segunda capa de neopreno-nylon.

fil aparente del terreno, que hace las veces de zócalo y presenta en su interior una galería longitudinal visitable para la inyección de la cortina de estanquidad de la morrena de apoyo y el control de niveles freáticos y de fugas de agua, tanto de la pantalla externa como la del subsuelo. Superiormente las telas quedan ancladas en el macizo de hormigón del pretil de coronación.

La tela de Neopreno-Nylon fue fabricada por la casa Rosich y Puigdemoglas, S. A., de Barcelona, la butapreno fue suministrada por Texsa, cuya firma se encargó asimismo del revestimiento con asfalto de ambas telas y de su apli-

En principio se pensó utilizar para la colocación de las telas y el pintado de imprimación los mismos andamios móviles dotados de ruedas neumáticas que se emplearon para realizar el doble gunitaje, pero al final se decidió prescindir de todo andamio, manteniendo los obreros de pie con calzado de piso blando sobre el paramento con ayuda de cinturones de seguridad sujetos a dos cuerdas que sostenían a su vez sendos obreros que se movían por la coronación, lo que les daba a los colocadores extraordinaria movilidad y libertad de movimientos y se conseguía una gran rapidez de ejecución.

Las fotografías adjuntas dan clara idea de la forma de realizar estos trabajos de la pantalla.

Los ensayos previos del tejido de nylon de soporte y del policloropreno de revestimiento utilizados por la casa Rosich para la elaboración de la tela impermeable, fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Unicolor, S. A., de Barcelona, arrojando los siguientes resultados:

#### *Tejido de Nylon del alma.*

|                                    |                                               |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Peso por m. <sup>2</sup> ... ..    | 270/275 gramos                                |
| Número de hilos ... ..             | 13/cm.                                        |
| Número de pasadas ... ..           | 12/cm.                                        |
| Alargamiento de la trama ... ..    | 23 %                                          |
| Alargamiento de la urdimbre ... .. | 30 %                                          |
| Ruptura de trama ... ..            | 290/300 kg.<br>(Tira de 5 cm.<br>de anchura.) |
| Ruptura de urdimbre ... ..         | 330/340 kg.<br>(Tira de 5 cm.<br>de anchura.) |
| Espesor ... ..                     | 4,5 décimas<br>de mm.                         |

#### *Características del Neopreno empleado.*

Una vez vulcanizado durante diez minutos a 150° C. en plantas de 2 mm. de espesor (pruebas de rotura, alargamiento y módulo elástico) y en discos de 6 mm. de espesor (ensayos de dureza, elasticidad y abrasión), se obtuvieron los siguientes resultados:

|                                                   |       |                      |
|---------------------------------------------------|-------|----------------------|
| Resistencia a la rotura (Din. 53504 St. 1) ... .. | 140   | kg./cm. <sup>2</sup> |
| Alargamiento (ídem) ... ..                        | 338   | %                    |
| Módulo a 100 % alargamiento (ídem) ... ..         | 55,6  | kg./cm. <sup>2</sup> |
| Módulo a 300 % (ídem) ... ..                      | 126,2 | kg./cm. <sup>2</sup> |
| Dureza (Din. 53505) ... ..                        | 79    | ShA.                 |
| Resistencia a la abrasión (Din. 53516) ... ..     | 430   | mm. <sup>3</sup>     |
| Peso específico ... ..                            | 1,58  | g./cm. <sup>3</sup>  |
| Elasticidad (Bayer Schneider) ... ..              | 737   |                      |
| Recuperación elástica (ídem) ... ..               | 13,5  | %                    |

Las características de la plancha de "butapreno" facilitadas por Texsa, S. A., fueron:

|                                                    |                            |
|----------------------------------------------------|----------------------------|
| Dureza Shore A <sub>2</sub> ... ..                 | 55 a 60                    |
| Resistencia a la rotura ... ..                     | 70 kg./cm. <sup>2</sup>    |
| Alargamiento de rotura ... ..                      | 400 %                      |
| Peso específico ... ..                             | ≈ 1,15 g./cm. <sup>3</sup> |
| Temperatura límite inferior de flexibilidad ... .. | — 54 °C.                   |
| Permeabilidad ... ..                               | 0,08 perms.                |

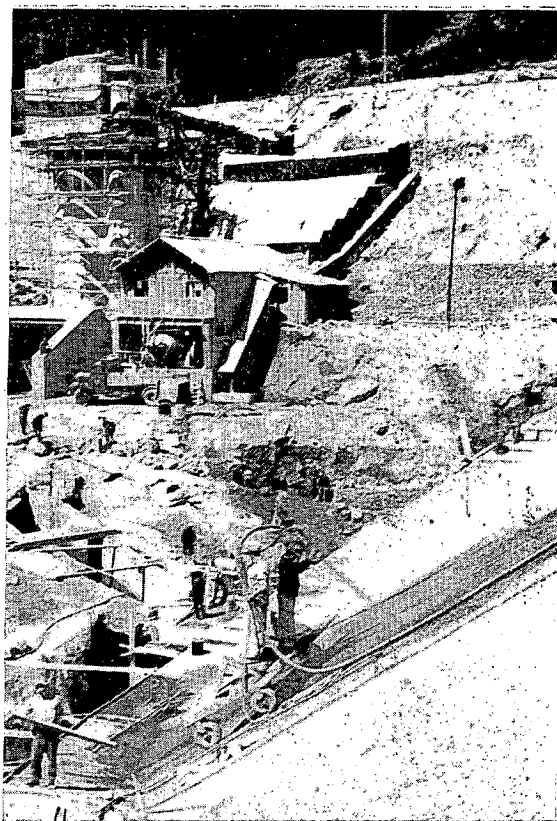


Foto 2. — Realización del gunitaje final de primera etapa. 1, coronación muro-rastrillo más retrasado de acabados; 2, gunitado paramento zona seca; 3, gunitado paramento zona fresca; 4, mallazo visto, y 5, telas cubiertas con pintura de sellado con adición de gravilla para hacer rugosa la superficie.

#### *Estudios y mejoras posteriores.*

Con la realización de la primera etapa de presa fue posible la puesta en servicio del salto y un estudio más detenido de la pantalla definitiva sin pérdidas apenas de producción. Este estudio fue encargado por P.F.M. a un grupo de ingenieros consultores, que trabajó en estrecha colaboración con nuestra Sociedad y con "Constructora Pirenaica", utilizando los servicios y asesoramientos de los laboratorios Central de Materiales de Construcción y del Transporte y Mecánica del Suelo de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Dicho estudio tenía por objeto comprobar la idoneidad y durabilidad de la pantalla ya realizada en primera etapa y la recomendación de los materiales a emplear en la segunda etapa, habida cuenta de sus distintas solicitaciones.

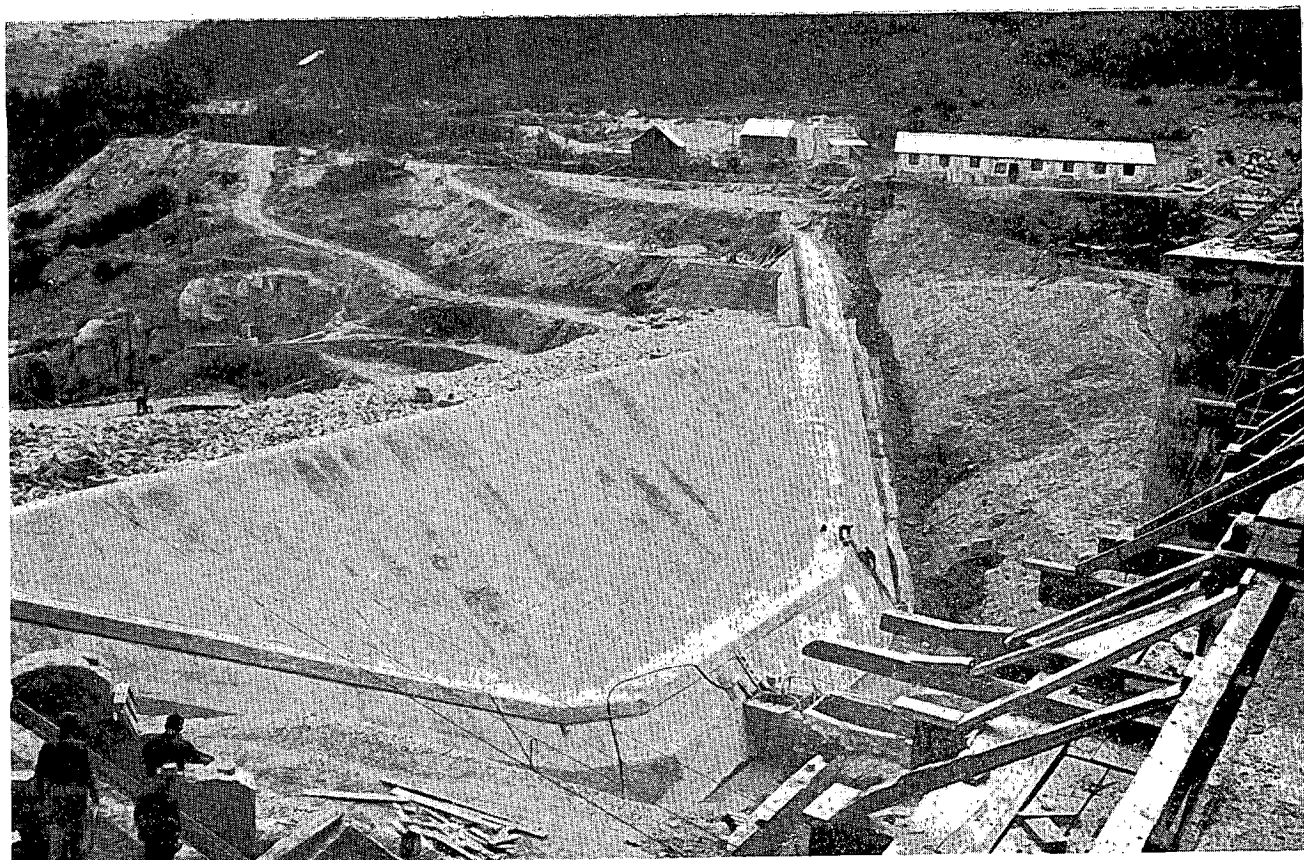


Foto 3: — Primera etapa del dique de escollera, con pantalla vista desde la pasarela de acceso a la torre de toma, en construcción.



Foto 4. — Colocación a mano de la escollera superficial en un metro de espesor en segunda etapa. Puede observarse que el embalse inunda ya, parcialmente, la parte de pantalla realizada en primera etapa. A la derecha se observa cómo remonta el muro rastrillo hasta insertarse con el canal aliviadero, construido sobre roca.

La parte de pantalla realizada en la primera etapa corresponde a niveles de embalses por debajo del mínimo normal de explotación definitivo, es decir, habrá de quedar permanentemente sumergida, por lo que no nos preocupaba demasiado los efectos de fluencia del asfalto para temperaturas por encima de la máxima del agua ( $\approx 15^{\circ}\text{C.}$ ), y en cambio, era esencial una fluencia mínima para garantizar la migración del asfalto en el taponamiento de cualquier posible brecha hasta con temperaturas de  $0^{\circ}\text{C.}$  (Afortunadamente los pequeños movimientos detectados hacen innecesaria tanta precaución.)

La parte de pantalla a realizar en segunda etapa habrá de soportar menores cargas de agua y se construye una vez terminado el vertido de escollera; por tanto, habiendo experimentado ya la escollera el asiento inicial por peso propio. Sin embargo, quedará parcialmente a la intemperie en cada descenso del embalse, por lo que conviene reducir el flujo e impedir la rotura del asfalto por efectos mecánicos a temperaturas extremas.

Los ensayos complementarios de las telas a petición de los ingenieros consultores se realizaron de la siguiente manera:

Se fabricaron varios cilindros huecos de 15 centímetros de diámetro y 30 cm. de altura, cerrados por sus bases mediante tapas rosca-das con boquillas de las que partían tuberías que comunicaban con el exterior. A estos cilindros se le practicaron unas aberturas rectangulares, según la generatriz de 100 mm. de longitud, centradas entre las bases y con anchuras de 5, 7,5 y 10 mm.

Los cilindros se pintaban previamente por su superficie externa con una imprimación de caucho-asfalto y después se envolvían con las capas de tela, calentadas previamente en mechero, formando a manera de cartuchos.

El conjunto se introducía en una célula triaxial para 6 pulgadas que se llenaba de agua a la temperatura y presión requerida en cada ensayo, las cuales oscilaron entre  $+4^{\circ}\text{C.}$  y  $+40^{\circ}\text{C.}$  y entre 3 y 5 atmósferas. La deformación experimentada por las telas sobre las ventanas y su estanquidad era comprobada por la cantidad de agua desalojada del interior del cilindro.

Como conclusión, los ingenieros consultores señalan: "La capa de Neopreno-Nylon cumple perfectamente su cometido, presentando condi-

ciones de gran resistencia y seguridad que no parece alterarse en los ensayos tras su envejecimiento sin protección alguna (disminución de resistencia media, 6 por 100) no habiendo llegado a romperse en ninguno de los ensayos de obturación de grietas."

"La capa de Butapreno ha demostrado igualmente sus buenas condiciones, pues si bien su resistencia es escasa (15 veces inferior a la de Neopreno-Nylon) y resulta sensible en cierto grado al envejecimiento (disminución de la resistencia media, 20 por 100) ha demostrado una gran capacidad de alargamiento antes de la rotura. Por tanto, entendemos que cumple su misión de colaborar en forma continua a la obturación de las grietas que puedan producirse."

"El betún asfáltico empleado en la primera etapa, normal oxidado y no fillerizado es excesivamente susceptible a las elevaciones de temperatura, teniendo excesiva fluencia bajo carga a temperaturas de  $20^{\circ}\text{C.}$  en adelante." Por ello, se propuso y aceptó por P.F.M. para la 2.<sup>a</sup> etapa la utilización de otro tipo de asfalto con punto de reblandecimiento más elevado ( $100^{\circ}\text{C.}$ ) y penetración de 100, así como la adición de látex de caucho natural en proporción del 3 por 100 del peso del betún (proporción resultante de caucho, 2,1 por 100 del peso del betún), con lo cual se consiguió — sin elevar el punto de fragilidad Fraas, que se mantiene a  $-14^{\circ}\text{C.}$  — elevar el punto de reblandecimiento de 85 a  $97,5^{\circ}\text{C.}$ , y la penetración de aguja *standard* de 100 gr., en 5" de tiempo y a  $25^{\circ}\text{C.}$  de temperatura, de 60 a 100 décimas de milímetro.

Asimismo, los ingenieros consultores propusieron eliminar en la parte de pantalla a realizar en la segunda etapa, la capa de butapreno, confiando totalmente la impermeabilización a una sola capa de Neopreno-Nylon, la cual por esta causa recomendaban soldar de la manera especial que más adelante se indica.

En lugar de ello, P.F.M. decidió el empleo de dos capas de Neopreno-Nylon de forma que las juntas entre los témpanos de cada capa coincidieran con los ejes de las piezas que constituyen la otra capa, con lo cual además de reducir los problemas de discontinuidad en los empalmes se aumenta la seguridad de la pantalla, puesto que la capa de Neopreno-Nylon es mucho más resistente que la de Butapreno empleada con éxito en la primera etapa.

La recomendación relativa a la soldadura de piezas consistía en el encolado entre sí de las

distintas bandas de Neopreno, de la capa única prevista, mediante pegamentos a base de Neopreno, para lo cual se precisa dejar sin revestimiento previo de asfalto las pestañas de la tela de Neopreno en las caras que se enfrentan en el solape, y después realizar el pegamento de ambos elementos asfalto y tela en dos tiempos con tratamientos a temperaturas distintas, lo que exigiría un montaje exacto de las bandas para evitar los huecos por debajo, después inaccesibles, la incurvación de las telas en la 2.<sup>a</sup> fase de pegado para introducir la cola en el solape, y por último, un acabado superficial delicado para cubrir de asfalto los bordes de telas no revestidos previamente.

Con ello, se pretende reducir la discontinuidad en la resistencia del alma de Neopreno de las distintas bandas de la capa única sugerida, a fin de evitar cualquier fallo de ella que sería funesto.

A nuestro entender, la importancia de esta discontinuidad —aunque haya sido sensible en los ensayos sobre probetas cilíndricas de 15 centímetros de diámetro, realizados por el Laboratorio del Transporte— es secundaria en la realidad, máxime empleando la doble capa de Neopreno-Nylon, pues la excesiva curvatura de los cartuchos de ensayo no es comparable a la ligera curvatura local que puede darse en cualquier deformación verosímil de la pantalla plana. En cambio, la aplicación de telas en las condiciones propuestas por los ingenieros consultores se complicaba, incurriéndose en riesgos de imperfecciones en los acabados y quemados de las telas.

\* \* \*

Suponemos que simultáneamente se ensayan en otros países soluciones similares, de las cuales no ha llegado a nuestro conocimiento sino someras y tardías alusiones, entre las cuales citaremos la realización de una presa hinchable de Nylon recubierto de Neopreno en Tai Po Tau para una toma de agua del nuevo abastecimiento de agua de Hong-Kong. Imagi-

namos que sustituye a una presa de compuertas y nos intriga el sistema de blindaje adoptado, si es que se ha previsto. Asimismo, tenemos noticia de una pantalla Nylon-Neopreno proyectada para una presa inglesa por la firma Balfour Beatty and C.<sup>o</sup>, cuyos detalles desconocemos.

En nuestro caso, habiendo resultado un completo éxito los ensayos de estabilidad e impermeabilidad de la presa y morrena, con alturas parciales de embalse, el Ministerio de Obras Públicas, por resolución de 8 de febrero de 1967, aprobó definitivamente los proyectos presentados y autorizó la elevación de la presa hasta su altura definitiva.

En resumen, el nuevo sistema de impermeabilización adoptado en la presa de Aiguamoix a base de telas de Neopreno-Nylon revestidas y ligadas entre sí por asfaltos con caucho, confiamos en que será altamente eficaz y duradero, y abrirá un nuevo camino para la realización de obras más importantes de esta índole. Por lo pronto, creemos que supera netamente el sistema de pantallas asfálticas tradicionales, añadiendo una resistencia a la tracción de la membrana de la que aquéllas carecen de manera prácticamente total y le da una garantía de uniformidad en la lámina y celeridad en su ejecución. Su concepción ha sido el fruto de la colaboración de técnicos de distintas especialidades, entre las que cabe destacar a los señores D. José M.<sup>a</sup> Molina, Director Técnico de la casa Rosich; D. Eugenio Zuloaga y D. Ramón Sanromán, Director y Jefe de Investigación, respectivamente, de TEXSA, S. A., y D. Juan Alba, Ingeniero de Caminos de "Constructora Pirenaica, S. A.", que ha llevado a cabo esta obra. A todos los cuales, así como a los Directores, Jefes e Ingenieros de la Comisaría de Aguas del Ebro, del Servicio de Vigilancia de Grandes Presas de la Dirección General de Obras Hidráulicas, de los distintos Laboratorios y Oficinas Técnicas consultados y de la propia empresa P.F.M., agradecemos la colaboración, confianza y apoyo que nos han brindado en la realización de esta obra que, en ciertos aspectos, puede considerarse como singular.