

ENSAYO DE REVESTIMIENTOS DE CANALES SOBRE TERRENOS YESOSOS

Por GABRIEL FACI IRIBARREN,
Ingeniero de Caminos.

Consideramos muy interesante el ensayo de que da cuenta con toda claridad y detalle el autor del presente artículo, Ingeniero del Canal Imperial de Aragón, en donde tanto se ha luchado con los hundimientos del terreno por la acción de las aguas. El ensayo que se describe, empleando en el revestimiento la tela de polietileno, permitirá observar el envejecimiento de esta tela al correr de los años, y proporcionará sin duda una economía apreciable en los gastos de conservación del Canal.

Antecedentes.

El valle medio del río Ebro, al atravesar la región aragonesa, pertenece a la época geológica del mioceno lacustre, siendo muy abundante en yesos.

Por ambas márgenes del río, con aguas derivadas de él o procedentes de sus afluentes, se extienden antiguos y modernos regadíos con sus sistemas de canales secundarios y acequias que, en muchos tramos, atraviesan terrenos selenitosos, creándose graves problemas de conservación de las obras ante los frecuentes fallos del terreno, con la consiguiente avería en la obra pública.

En este caso se encuentra el Canal Imperial de Aragón a partir del kilómetro 89 de su trazado, aguas abajo de la ciudad de Zaragoza, afortunadamente.

Desde la época fundacional de esta obra pública, a finales del siglo XVIII, se ha luchado con el yeso, enemigo mortal de los canales, conductores de agua, sin llegar a una solución definitiva, aun cuando en algunos tramos se ejecutaron obras de importancia, como entre los kilómetros 89 y 93, en que el Canal es un verdadero acueducto enterrado con muros de fábrica, asentado sobre bóvedas longitudinales cimentadas en pilares enterrados de hormigón de cal; la solera asienta en bóvedas transversales que cargan en las longitudinales.

La dotación de este Canal está desde hace unos años perfectamente asegurada en todo tiempo merced a las obras de regulación del río Ebro en su cabecera, explotándose desde entonces, en cultivo intensivo, los términos de La Cartuja y El Burgo de Ebro, regantes corderos del Canal Imperial de Aragón, que se extienden aguas abajo del kilómetro 89 del trazado del Canal. Los cortes de agua necesarios para la reparación de averías en el cauce son ahora de mayor trascendencia, por cuanto perturban cultivos de gran producción, que se ve amenazada en cuanto falta el agua.

Se han intensificado en estos últimos años los ensayos de revestimiento del cauce por diversos sistemas de coste variable, aplicándose sobre el canal de ladrillo, a que antes se hacía referencia, revestimientos de hormigón armado, con muy buen resultado,

y sobre el canal de tierra, revestimientos asfálticos con hormigón en frío y caliente, de cuya eficacia no podemos dar fe por haber transcurrido pocos años desde su construcción, aparte de haberlo hecho en muy pequeña escala.

La causa inicial de las averías se debe al aflojamiento del subsuelo del cauce por efecto de las lluvias y corrientes subterráneas, produciendo el agrietamiento de las paredes y solera del cauce del Canal, agravándose entonces el mal por la penetración hacia las capas inferiores del terreno del agua que conduce el canal, con lo que ensanchan las oquedades y conductos subterráneos, se agrandan las grietas del cauce y sobreviene la sima con el hundimiento de la solera, precipitándose entonces buena parte del caudal circulante por las galerías y conductos abiertos a través del inconsistente terreno del subsuelo.

Produciéndose así las cosas, se eliminarían las averías o se espaciarian en gran manera si el cauce estuviera provisto de un revestimiento impermeable que evitara la penetración por gravedad de las aguas conducidas por el Canal y de suficiente flexibilidad para que se adaptase sin romperse a los asentamientos del terreno originados por las causas iniciales de la sima (efectos externos por lluvia y corrientes subterráneas).

Los revestimientos rígidos que pueden perdurar gran número de años son aquellos, como los de hormigón armado, que admiten, sin llegar a la rotura, grandes socavaciones en el terreno de apoyo; en tales casos es importante que estén bien cimentados y fundamental que se construyan por tramos apoyados independientes.

Las simples protecciones del cauce con hormigón en masa han fracasado por la casi nula resistencia a tracción de esta clase de fábrica.

Proyecto.

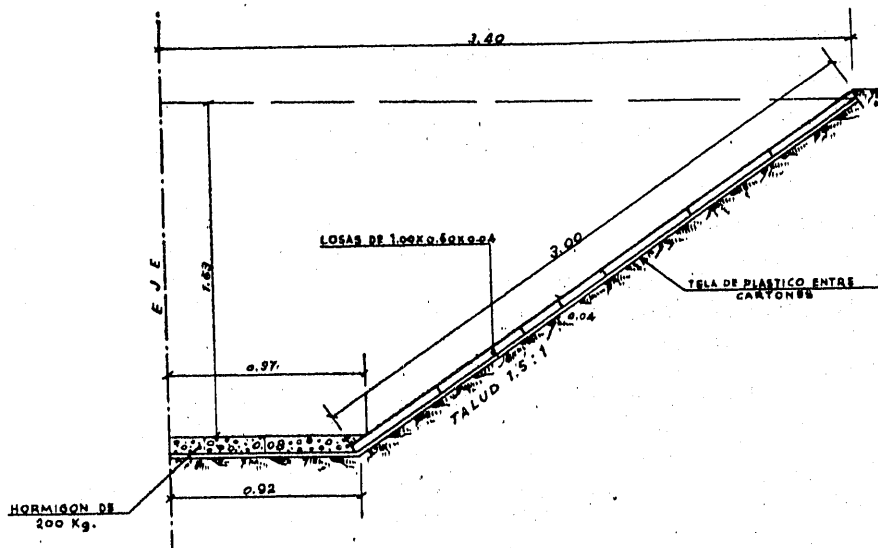
Volviendo a la doble cualidad de impermeabilidad y flexibilidad que debe exigirse a cualquier tipo de revestimiento no rígido, se ha pensado en el empleo de la tela de polietileno, material que reúne ambas condiciones en elevado grado y que ya se viene utili-

zando como impermeabilizante de terrazas en edificaciones urbanas. Este material, fabricado con espesor de una décima de milímetro, tiene un precio de 15 pesetas por metro cuadrado.

Presenta el inconveniente de su fragilidad, como consecuencia de su tenue espesor, por lo que debe estar protegido en su manipulación y puesta en obra de las herramientas de trabajo y del contacto con otros

TRAMO I. - SEMISECCION TIPO C

Escala, 1 : 25.

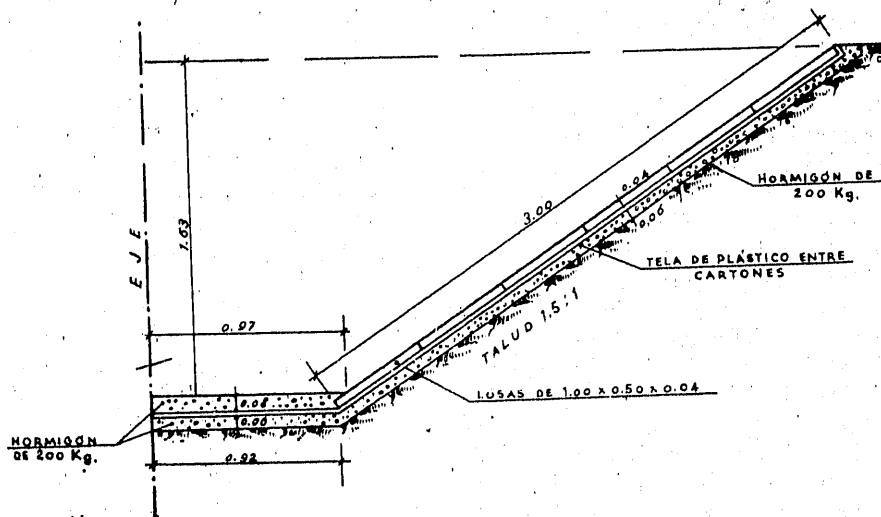


Mediciones por metro lineal.

Cartón ondulado: $2 \times 1,00 \times (1,84 + 3,20 \times 2)$	16,48 m. ²
Tela de polietileno: $1,00 \times (1,84 + 3,20 \times 2)$	8,24 m. ²
Hormigón de 200 Kg. en solera: $1,00 \times 1,90 \times 0,08$	0,152 m. ³
Losas: 2×6	12 unidades.

TRAMO II. - SEMISECCION TIPO A

Escala, 1 : 25.



Mediciones por metro lineal.

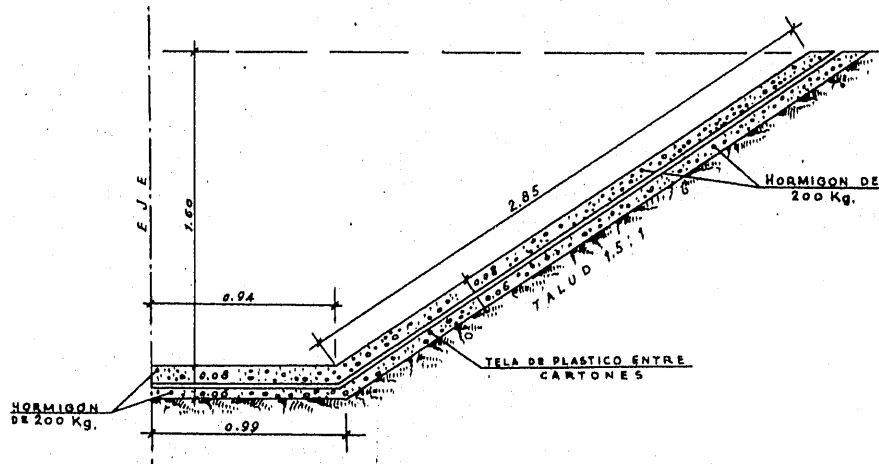
Cartón ondulado: $2 \times 1,00 \times (1,84 + 3,20 \times 2)$	16,48 m. ²
Tela de polietileno: $1,00 \times (1,84 + 3,20 \times 2)$	8,24 m. ²
Hormigón de 200 Kg. en soleras: { $1,00 \times 1,84 \times 0,06 = 0,110$	} 0,262 m. ³
{ $1,00 \times 1,90 \times 0,08 = 0,152$	
Hormigón de 200 Kg. en cajeros: $2 \times 3,10 \times 1,00 \times 0,06$	0,372 m. ³
Losas	12 unidades.

materiales que pudieran rasgar la tela. Señalamos esta función protectora al cartón ondulado, proyectando en todos los casos la colocación de la tela de plástico entre dos planchas de ese cartón, cuyo precio es de 3 pesetas, el metro cuadrado.

Aparte de las cualidades fundamentales de la tela impermeabilizante, se atribuyen al polietileno las de perdurabilidad en ellas y la de inatacabilidad a los ácidos. Por la corta experiencia habida con esta clase de plásticos, hay que contar con el tiempo para cons-

TRAMO III. - SEMISECCION TIPO B

Escala, 1:25.

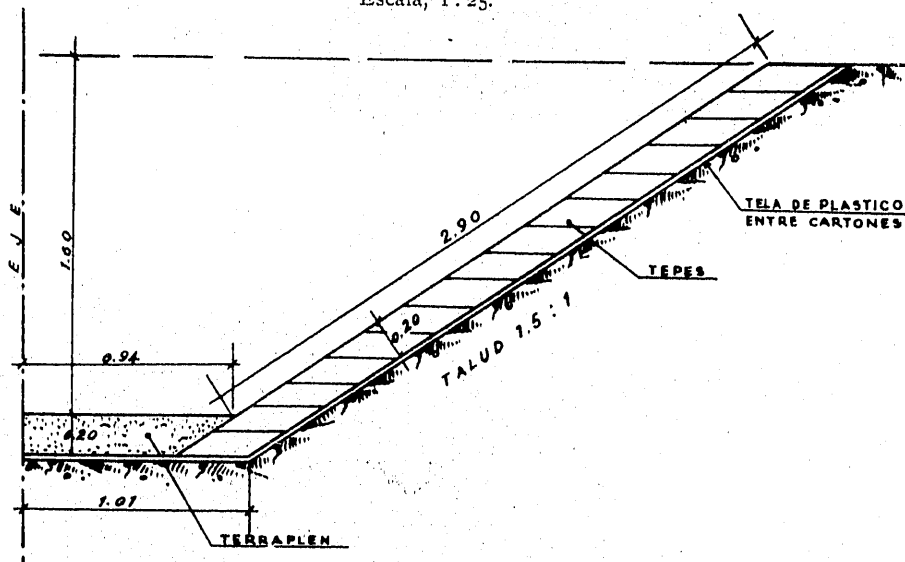


Mediciones por metro lineal.

Cartón ondulado: $2 \times 1,00 \times (1,90 + 3,10 \times 2)$	16,20 m. ²
Tela de polietileno: $1,00 \times (1,90 + 3,10 \times 2)$	8,10 m. ²
Hormigón de 200 Kg. en solera: $\left\{ \begin{array}{l} 1,00 \times 1,98 \times 0,06 = 0,119 \\ 1,00 \times 1,90 \times 0,08 = 0,152 \end{array} \right\}$	0,271 m. ³
Hormigón de 200 Kg. en cajeros (base) = $2 \times 3,10 \times 1,00 \times 0,06$	0,372 m. ³
Hormigón de 200 Kg. en cajeros (exterior) = $2 \times 2,92 \times 1,00 \times 0,08$	0,526 m. ³

TRAMO IV. - SEMISECCION TIPO D

Escala, 1:25.



Mediciones por metro lineal.

Cartón ondulado: $2 \times 1,00 (2,02 + 2 \times 3,30)$	17,24 m. ²
Tela de polietileno: $1,00 \times (2,02 + 2 \times 3,30)$	8,62 m. ²
Terraplén en solera: $1,00 \times 1,60 \times 0,20$	0,320 m. ³
Fábrica de tepes en cajeros: $2 \times 1,00 \times 3,20 \times 0,20$	1,280 m. ³

tatar la duración de la flexibilidad de la tela: en cuanto a la última condición, en breve plazo podremos comprobar si resulta inatacable a los ácidos segregados por las raíces de las hierbas que vegetan en la márgenes del Canal.

Tomando como elemento básico de la nueva protección del cauce la capa impermeabilizante descrita, hemos proyectado cuatro tipos de revestimientos que difieren según sea la naturaleza de las obras entre las que va colocada.

Tipo A: Base de hormigón en masa de 6 cm. de espesor; revestimiento exterior con igual fábrica, en solera de 8 cm. de grueso y losas prefabricadas de 4 centímetros de espesor en cajeros (taludes, 1,50:1), sin ningún aglomerante en juntas.

Tipo B: Base de hormigón en masa, como en el modelo *A*, y revestido de todo el perímetro exterior del cauce con una capa de hormigón de 8 cm.

Tipo C: Base de terreno natural, bien refinados

los taludes; revestimiento exterior como en el tipo *A*.

Tipo D: Base de terreno natural con taludes muy rugosos; revestimiento exterior con terraplén en solera de 0,20 m. de espesor y con fábrica de tepes de igual grueso en cajeros.

Conceptuando en principio preferible el tipo *A* por la mayor adaptabilidad de las losas a los asientos del terreno, se ha proyectado el *B* para comparar los costes unitarios.

El revestimiento tipo *C*, con la tela impermeabilizante aplicada sobre el terreno natural, tiene sobre los dos anteriores la ventaja en el precio al suprimirse el manto de hormigón de base; si con este modelo de revestimiento se consiguiera que la vegetación de las márgenes no perfore la tela de polietileno, sería la mejor solución al problema.

Con el tipo *D* se pondrá a prueba la tela de plástico, en lo que se refiere al ataque de la vegetación; los tepes de revestimiento de cajeros cortados de las



Foto núm. 1.—El cauce del Canal antes de hechos los revestimientos.

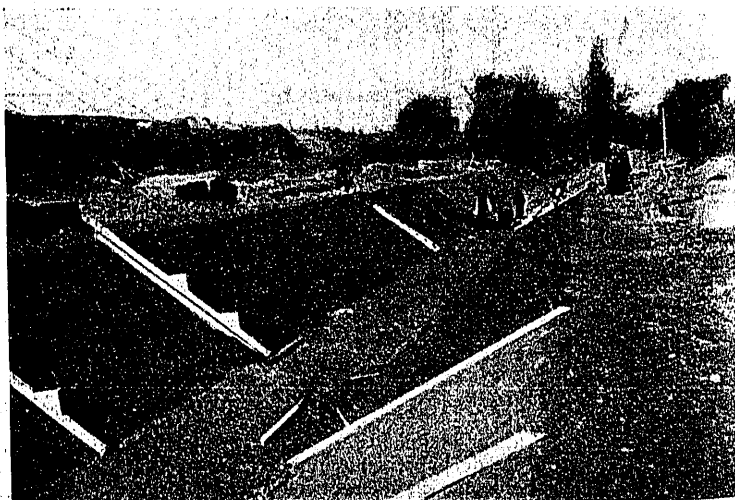


Foto núm. 2.—Acopio de losas y banquetas y revestimientos de base.

Foto núm. 3. — Tendido de la tela de polietileno.



Foto núm. 4. — Parchado de la tela de polietileno.

Foto núm. 5. — Colocación del cartón ondulado.

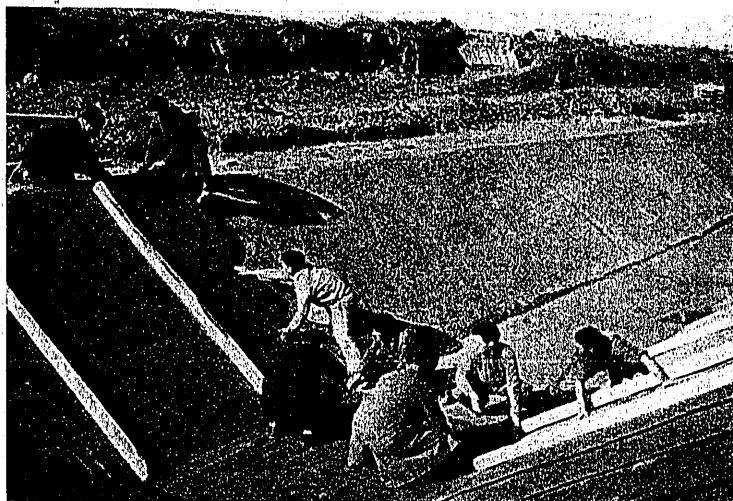




Foto núm. 6.—Ejecución de las obras de revestimiento exterior en el tipo C.



Foto núm. 7.—Terraplado de cajeros con fábrica de tepes (tipo D).

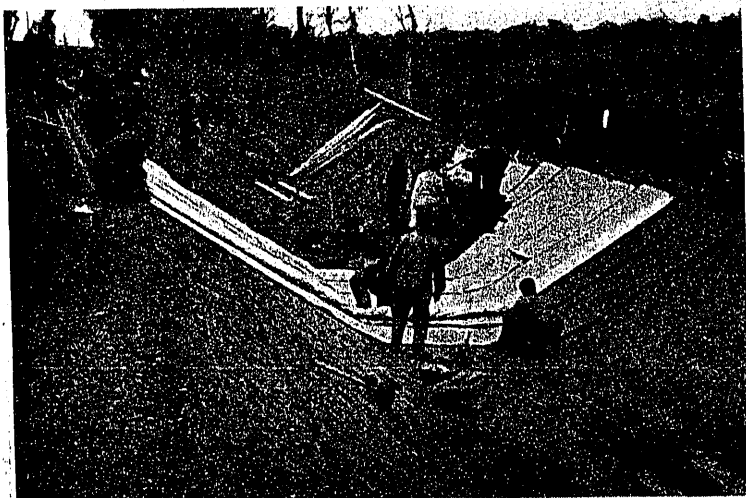


Foto núm. 8.—Ejecución de las obras en el tipo D.

Foto núm. 9.— Vista de conjunto después de terminadas las obras tipos *A*, *B* y *C*.

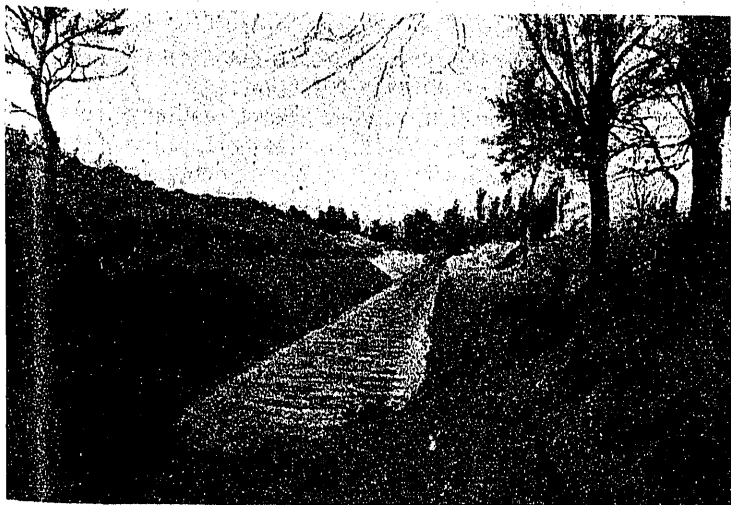
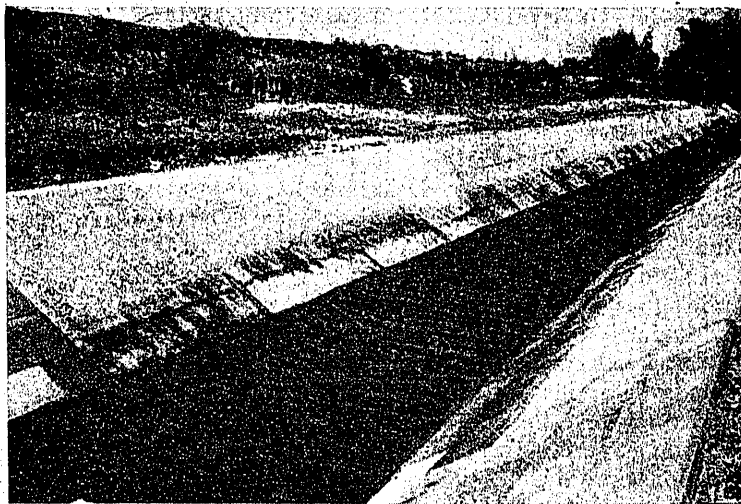


Foto núm. 10.— Vista de conjunto después de terminadas las obras (tipo *D*).

márgenes del Canal tienen abundante hierba y sus raíces tenderán a penetrar más profundamente en el cajero. En plazo de pocos meses se podrán sacar consecuencias a este respecto.

Ejecución.

Se han realizado los revestimientos descritos en un tramo de 200 m. de longitud en el kilómetro 94 del trazado del Canal, cuya conservación y reparación de simas ha costado más de cien mil pesetas durante el pasado año.

Prescindimos, por su escaso interés, de la descripción de las obras de explanación en el cauce de tierra que se observa en la foto núm. 1.

Las losas se fabricaron en los talleres del Canal, con hormigón en masa de 200 Kg. de cemento, vibrado, en el tamaño de $1,00 \times 0,50 \times 0,04$ m., y resultan al precio de 13,22 pesetas por losa. Se copiaron en ambas márgenes del tramo (foto núm. 2).

La tela de polietileno, de una décima de milímetro de espesor, ha sido preparada en fábrica en sábanas de $50,00 \times 8,50$ m., constituidas por tiras de 50×1 m., soldadas longitudinalmente. Las imperfecciones de fábrica se han corregido sobre el terreno, parcheando la tela con ayuda de una resistencia eléctrica acoplada a una batería; con este mismo equipo se efectuaron las soldaduras de sábanas en sentido transversal al cauce (fotos núms. 3 y 4).

El cartón ondulado que ha protegido a la tela de plástico en la colocación es del tipo de embalaje, con coste de 3 pesetas metro cuadrado; lo han servido en rollos de un metro de anchura.

Las dos capas de cartón que envuelven a la tela impermeabilizante se han colocado por tiras transversales, con solapes de 5 cm. dispuestos a favor del viento (foto núm. 5); el desenrollado del plástico se ha efectuado también a favor del viento, simultaneando en el tiempo las diferentes fases de la obra por haber coincidido con abundantes y persistentes

lluvias que entorpecían los trabajos, inutilizando el cartón y deslizándose la tela hacia el fondo del cauce (foto núm. 6).

La fábrica de tepes de revestimiento de cajeros en el tipo *D* se ha construido sin dificultad, a pesar del talud de proyecto (1,5 de base por 1 de altura) y de la mayor facilidad de deslizamiento que proporciona la tela de polietileno intercalada entre el terreno natural y aquella fábrica (fotos núms. 7 y 8).

Las dos últimas fotos núms. 9 y 10, tomadas desde aguas abajo, permiten observar los revestimientos terminados, circulando un pequeño caudal de agua.

En el extremo de aguas arriba se construyó una pantalla de arcilla, en la que se introdujo la tela de plástico del revestimiento en un metro de longitud y por todo su perímetro; se pretende con ello evitar las filtraciones procedentes del tramo anterior por debajo de los revestimientos.

Costes.

Terminadas las obras y analizadas las inversiones en cada tramo, se han obtenido los siguientes costes unitarios, prescindiendo de los trabajos previos de explanación:

Tipo <i>A</i> : 695,72 ptas./m. l.	86,97 ptas./m. ²
» <i>B</i> : 766,47 ptas./m. l.	95,81 »
» <i>C</i> : 496,59 ptas./m. l.	62,07 »
» <i>D</i> : 420,85 ptas./m. l.	52,60 »

Modificaciones aconsejables.

A la vista de la experiencia adquirida en el curso de ejecución de estos ensayos de revestimiento, consideramos aconsejable la construcción del tipo *D* con taludes más tendidos, por lo menos 2 m. de base por 1 de altura, dejando sumamente rugosa la superficie del

terreno, y si éste está exento de piedras, puede suprimirse la capa inferior de cartón ondulado.

También hemos podido apreciar que con el talud de 1,5 m. de base por 1,00 de altura, la colocación de losas en revestimiento exterior de cajeros ofrecía ligera dificultad, siendo más fácil de colocarlas con menos talud; sería cuestión de ensayar en otros tramos modificando la sección del cauce, estrechando el ancho de solera y con taludes más tendidos.

Visto el coste del hormigón en solera exterior de los tipos *A*, *B* y *C* (55,17 ptas./m. l.), y considerando que si se sustituyera esa solera de hormigón por losas prefabricadas, el gasto sería de $4 \times 18,30 = 73,20$ pesetas, con una diferencia de 18,03 ptas./m. l., cantidad insignificante en relación con el coste total por metro lineal, cabría el ensayar la construcción de soleras por este segundo procedimiento. Así se podría recuperar la casi totalidad de los materiales invertidos en las obras si en el futuro se producían asientos del terreno, con la posibilidad de rectificar la rasante y volver a restablecer el revestimiento en su situación primitiva y en posición correcta.

Al mismo tiempo, si se observara el envejecimiento de la tela de polietileno al correr de los años, con pérdida de flexibilidad y consiguiente facilidad de rotura por asiento del terreno, el gasto de renovación de la tela impermeabilizante y reconstrucción del revestimiento quedaría reducido a 40,00 ptas./m.².

Una vez conocida la vida de la tela de polietileno, se podría averiguar el gasto anual de conservación del cauce dividiendo el precio unitario anterior por el número de años; si fuese de diez años, el gasto anual por metro cuadrado resultaría de 4,00 pesetas, y por metro lineal, de 32,00 pesetas, precios perfectamente soportables e incomparablemente inferiores a los que se vienen produciendo en el tramo objeto de este ensayo.