

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
XI CONGRESO CHILENO

ESTUDIO DE SEGUIMIENTO DE REVESTIMIENTOS ASFALTICOS
EN CANALES DE REGADIO.
(Segunda Parte)

Juan Alberto González Ortega (1)
Sergio Eduardo Araya Guerra (2)

R E S U M E N

El presente trabajo se desprende del seguimiento efectuado durante un año de servicio, a cuatro soluciones de revestimientos para canales de regadío. Estas, incorporan el uso de elementos asfálticos, combinados con otros tales como; bolones, mallas de alambre, geotextiles y otros.

Los resultados obtenidos, que además incorporan el análisis de la mantención periódica que se requiere, indican que es factible el diseño y construcción de estas soluciones obteniéndose una serie de ventajas, traducidas principalmente en ; alta y permanente impermeabilidad, relativo bajo costo de mantención y durabilidad esperada mínima de entre 15 a 20 años. No obstante, debido a aspectos de diseño y construcción, que modifican los propuestos en la bibliografía existente, se debería esperar una vida útil mayor.

(1) Ingeniero Civil, DIRECCION DE RIEGO, M.O.P., Académico jornada parcial de los DPTOS. DE ING. CIVIL, U. DE CHILE y U.CENTRAL.

(2) Memorista del Departamento de Ingeniería Civil, U.Chile

1.- INTRODUCCION

El presente trabajo forma parte de un estudio cuyo objetivo general es la determinación de las variables relevantes, que permitan la aplicación de revestimientos asfálticos en canales de riego en el mediano corto plazo. Según lo anterior, este trabajo complementa lo que ya se ha presentado y que se refiere a los aspectos del diseño y construcción de la experiencia desarrollada en el canal Palto-Maitenes, perteneciente al Sistema Maule Norte.

En consecuencia, el estudio que a continuación se presenta, sólo se refiere a los resultados del seguimiento que experimentaron durante un año las soluciones propuestas, las que fueron ampliamente descritas en el trabajo ya referido.

2. - ANTECEDENTES DE ESTUDIOS ANTERIORES QUE CONTRIBUYERON A LA DEFINICION DE LA FICHA DE SEGUIMIENTO.

Rijkswaterstaat, 1985 señala como principales causas de falla en revestimientos asfálticos, las siguientes; mal diseño de los materiales usados, mala calidad de construcción, inadecuada consideración de los aspectos previos (suelo de apoyo, vegetación, paso animales, solicitudes, etc), mantención inadecuadas, vandalismo, actividades recreacionales, etc.

Entre las solicitudes más frecuentes a que están sometidos los revestimientos asfálticos, que pudieran ser causa de fallas, (J.M. LACKEY, 1956; SHIGENATSU Y NAKAYA, 1977) se indican: subpresiones, oxidación del material, endurecimiento o aumento de la rigidez, flujo plástico en pendientes (por alta temperatura), asentamientos, fatigas por cambios en los niveles de agua (cargas repetidas), socavación al pie de los taludes de revestimientos.

Durante el seguimiento se requiere efectuar chequeos inspectivos regulares y sistemáticos, con el objeto de detectar a tiempo zonas dañadas y prevenir fallas posteriores. Dependiendo del tipo de daños, la inspección debe ser visual o ejecutada con instrumentos especiales. Se plantea, que la mejor prevención de daños en revestimientos de tipo asfálticos, son un óptimo diseño y una adecuada construcción (Rijkswaterstaat, 1985).

Además, el mismo autor indica que los caminos a seguir para efectuar un adecuado seguimiento, son dos. Uno netamente visual e inspectivo, cuyo objetivo es la detección y prevención de riesgos o causas de falla. El otro, utilizando instrumentos y equipos especiales, para determinar así, mediante ensayos de laboratorio, las probables variaciones que ocurran en el material, para luego, asociarlas a una determinada situación del terreno.

El primero de ellos se basa en un conocimiento de los materiales que se están utilizando, y está enfocado directamente al diseño y la construcción. Mientras que el segundo apunta a perfeccionar el material a utilizar.

Considerando, los antecedentes que entrega la literatura existente y los resultados obtenidos en el diseño y construcción de las soluciones, se determinó abordar el seguimiento, a través de la observación y registros periódicos del comportamiento en condiciones de servicio.

2.1. Criterios de falla en radieres y revestimientos:

La tabla siguiente, señala causas y tipo de daños, que usualmente suelen ocurrir en revestimientos efectuados con concreto asfáltico:

TABLA Nº1

CAUSA DE DAÑOS	F L O T A M I E N T O	F L U J O	S U B P R E S I O N	A S E N T A M I E N T O	E R O S I O N	I N E S T A B I L I D A D	V E G E T A C I O N	A N I M A L E S	V A N D A L I S M O
TIPOS DE DAÑO									
AGRIETAMIENTO	X		X	X	X	X	X		
PARTES DE REVESTIMIENTO DESPRENDIDAS		X					X	X	X
EN LA SUPERFICIE		X					X	X	
DEFORMACIONES			X						
RUPTURAS EN ESQUINAS DEL REVESTIMIENTO					X				
DESPLAZAMIENTO DE PORCIONES DE REVESTIM.						X			
ABERTURAS EN UNIONES Y JUNTAS CON OTROS					X				X

En general, los autores afirman que todas las causas probables de fallas pueden ser prácticamente eliminadas, si se cuenta con un diseño y una calidad constructiva adecuada.

3.- DESCRIPCION DEL ESTUDIO DE SEGUIMIENTO

3.1 METODOLOGIA UTILIZADA EN EL SEGUIMIENTO

En términos generales la metodología utilizada se compone de los siguientes aspectos :

a) Visitas y registros mensuales del estado de las soluciones: Como parte de los registros se utilizaron series fotográficas e inspecciones visuales, por cada tipo de solución, con una inscripción de la fecha y datos relevantes, incluyéndose opiniones de los usuarios y organismos relacionados con el estudio, respecto de la apreciación que éstos observaban sobre el comportamiento general de las soluciones.

b) Análisis de la información: A partir de los datos obtenidos en a), se procedió al análisis permanente de dicha información.

c) Confección y aplicación de Ficha de Seguimiento: En base a los dos puntos anteriores y a la información técnica derivada de la bibliografía. Se confeccionó una completa ficha de seguimiento, para ser aplicada, a fines de cada período relevante del estudio. A grandes rasgos, la ficha consideró causas y efectos que pudieran afectar a las soluciones investigadas, tales como vegetación, embanques, basura, vandalismo, etc. También se considera el nivel y tipo de eventuales deterioros, incluyendo detalles como ubicación específica, origen probable y la forma concreta que adquiere tal deterioro y su relación con aspectos asociados exclusivamente al material asfáltico empleado. La ficha incorporó además, el impacto al medio ambiente.

d) Ensayos de Laboratorio: Cabe destacar, que al cabo de un año se efectuaron ensayos de laboratorio a testigos de geomembrana y radier, siendo principalmente éstos: Permeabilidad (Van Asbeck, 1964) y porcentaje de Vacío (DIN-Nº1996).

f) Períodos relevantes de estudio: El seguimiento se dividió según tres hitos diferentes del estudio; uno inicial, que abarcó desde la fecha de término de la construcción hasta el inicio del período de riego. Un segundo, comprendido entre el inicio y fin del período de riego.

4.- RESULTADOS DE LA FASE DE SEGUIMIENTO

A continuación, se describen los resultados sobre el comportamiento que experimentó cada solución de revestimiento, en relación a las variables más relevantes. Cabe hacer notar, que además de las obras construidas, se evaluó el resultado obtenido por aplicación de la sustancia química, empleada para el control de la vegetación.

4.1.- ESTADO ESTRUCTURAL DE LAS SOLUCIONES

Después de un cuidadoso análisis de la información obtenida a través del proceso de seguimiento se puede afirmar, que las condiciones en que actualmente se encuentran todas las soluciones (muros y radier), son similares a las iniciales, no observándose daños ni variación alguna respecto a las características estructurales de ellos.

Se hace conveniente resaltar que durante el período de seguimiento, se tuvo un año caracterizado por fuertes precipitaciones y bajas temperaturas, en estrecha relación con el fenómeno hidrometeorológico, denominado "Fenómeno del Niño". Además, los suelos de fundación, se clasifican como arcillas tipo CH (activas), con desarrollo de presiones de hinchamiento importantes. Según esto, es un hecho relevante no observar problemas en estas condiciones, ya que la combinación de solicitaciones que se presentaron durante el período de análisis, tendrían una recurrencia mínima estimada, de 5 años.

a) Geomembrana enterrada: La solución de geomembrana con cubierta de protección (ripio y tierra), producto del peso y paso del agua durante el período de seguimiento, experimentó una mayor consolidación, confirmando lo indicado en la bibliografía.

b) Albañilería Asfáltica, (Muros y Radier): Como se mencionó anteriormente, en general se mantuvieron las características originales de las soluciones. Sin embargo, en una singularidad del canal donde se requirió relleno y éste no fue compactado adecuadamente, se dio lugar a un asentamiento de 3 a 5 [cm], afectando una superficie de 2 [m²], sin que se produjeran compromisos estructurales significativos. Dicho asentamiento, sólo se manifestó en el talud del canal, sin afectar el radier.

Lo interesante, es notar la flexibilidad de la solución asfáltica, en conjunto a la cubierta de protección para resistir y adecuarse a eventuales asentamientos.

4.2.- VEGETACION

4.2.1 Generalidades:

Una de las mayores preocupaciones que inicialmente se tenía, era respecto al comportamiento de este tipo de revestimientos, frente a la ocurrencia de fallas producidas por vegetación agresiva, tanto externa como interna al canal. Esta preocupación condujo a la aplicación de una solución química (Asfal H42), que controlara su acción, impidiendo el crecimiento debajo del revestimiento.

Cabe señalar, que aún no es clara la efectividad que cumplió el Asfal-H42, dado que la aplicación de este producto fue sólo en superficies que fueron posteriormente cubiertas por las soluciones, donde no se observó perforación de ninguna de las geomembranas experimentadas. Sin embargo, no se aplicó en la periferia del canal.

Lo más probable y que coincide a lo señalado por la bibliografía de fecha más reciente (R.M. Koerner, 1990), es que la incorporación de geotextil como refuerzo, haya sido una de las causas fundamentales de que no se produjeran deterioros por acción de dicho agente.

Cabe señalar, que la vegetación, especialmente la que creció sobre las cubiertas o puntos de embanques, fue removida fácilmente.

4.2.2 Análisis de las Soluciones:

a) Albañilerías Asfálticas: Se observó, que una de las principales diferencias entre las distintas soluciones fue la inclinación del talud de muros. En aquellas con mayor verticalidad, se tuvo menores niveles de embanque. Como el canal era existente, no se pudo modificar la pendiente en el diseño, lo que se tradujo en una limitante sobre el manejo de la velocidad, facilitando el crecimiento de vegetación acuática y la germinación de semillas provenientes del exterior.

En la albañilería autosoportada tipo 2, la vegetación que creció en sus muros fue notoriamente menor.

b) Geomembrana enterrada: La geomembrana protegida (enterrada), presentaba una superficie más adecuada para la proliferación de vegetación, siendo el caso más crítico (en relación a las otras soluciones) de crecimiento de malezas y pastos.

c) Radier: A nivel del radier, no se apreciaron efectos que pudieran ser causados por este factor.

4.2.3 Conclusiones:

La especie vegetal, que mayor preocupación ocasionó, fue la zarzamora, que crecía en los taludes, incluso a partir de unos 10 a 15 [cm] bajo el borde superior del canal.

A medida que transcurría el tiempo, tales especies fueron creciendo en forma bastante rápida, pero en todo el período inicial (que incluye el período de riego), este crecimiento no afectó a los revestimientos. Ya iniciándose el receso de riego, sus ramas comenzaron a cubrir los bordes de muro, en todas las soluciones con excepción de la albañilería asfáltica tipo 2, produciendo dudas respecto al estado de la geomembrana interior.

Una vez culminado el período de riego y durante el mes de Agosto de 1993, cada una de las soluciones fue desmantelada, en aquellos puntos donde se presentaban dudas, respecto a su estado. Al efectuar una verificación de dicho estado, se encontró que en todos los casos, el crecimiento fue superficial. Se desmantelaron aproximadamente 60 [m²] de revestimientos.

4.3.- ASENTAMIENTOS Y CAMBIOS DE VOLUMEN EN EL SUELO DE APOYO

Como ya se mencionó, un punto singular del canal experimentó el hundimiento del talud de apoyo del muro de la solución de albañilería asfáltica tipo 2.

Este resultado, confirma una de las ventajas de este tipo de revestimientos, que es su flexibilidad, que los hace adecuados de usar en terrenos como el del canal Palto-Maitenes. A nivel del radier, no se apreciaron problemas.

Desde el punto de vista de los cambios de volúmenes propios de los suelos de esta naturaleza con ciclos (saturados-seco), se puede inferir que los muros protegidos con bolones, ofrecen una resistencia lo suficientemente adecuada. Conviene hacer notar, que lo anterior puede estar asociado al tratamiento con cal hidratada, efectuado previo a la construcción de estas soluciones.

4.4.- PASO DE ANIMALES Y EXISTENCIA DE OTRAS ESPECIES

En el proceso normal de mantención, normalmente se utilizan caballos, donde pasan entre 15 a 20 animales por el interior del canal. Según esto, el elemento estructural más comprometido es el radier. En un documento adjunto de evaluación, efectuado por la Asociación de Canalistas del Maule-Norte, se señala que por el tramo de experimentación, pasó un número similar de animales, sin que se observaran huellas de ello.

En consecuencia, se puede afirmar que el comportamiento del radier durante el seguimiento, ha sido excelente. La comprobación de ello, se pudo efectuar al momento en que se culminaron las labores de mantención del tramo experimental, donde el radier fue lavado con escobillones para verificar su estado en relación al inicial.

4.5.- VANDALISMO Y ACTIVIDADES RECREACIONALES

Una posible debilidad de los revestimientos en base a bolones, es que pueden ser afectados por la acción vandálica, traducida en el robo de los bolones. Al respecto, en diseños posteriores se ha estudiado una forma de evitarlo con la incorporación de un mortero pobre, en los bordes superiores del revestimiento, sin que por ello aumenten significativamente los costos. Sin embargo, para el caso de este estudio, no se observó tal efecto.

Por otra parte, la estabilidad de estos revestimientos, no se vio afectada por el tráfico de personas, que es frecuente en este canal por la proximidad de los cultivos a su cuneta.

4.6.- PERMEABILIDAD

Durante el período de riego, se efectuaron mediciones de caudal con molinetes hidráulicos gurley tipo pigmeo (TY 0555-625), facilitados por la Dirección de Riego. Las mediciones se realizaron en cada solución experimental, además de una general en todo el tramo revestido. La metodología de medición se basó en las normas y especificaciones contenidas en la publicación: "Normas Hidrométricas" del Departamento de Hidrología de la Dirección de Aguas, del M.O.P. (1979).

Los resultados obtenidos, indican que no se producen filtraciones medibles en ninguna de las cuatro soluciones. Este resultado, además permitió corroborar el nivel con que se ejecutaran faenas complementarias de los revestimientos, como por ejemplo: sello de terminación con mastic asfáltico, en uniones muro-radier.

Como una verificación adicional se efectuó un ensayo de permeabilidad (Van Asbeck, 1964) en los laboratorio de Tecom S.A., con lo cual se pudo corroborar la mantención de las propiedades originales de impermeabilidad y resistencia, al someter la geomembrana en una campana de vacío, hasta una presión máx. de 3 [atm], durante 3 horas.

4.7.- CLIMA Y EXPOSICION A CONDICIONES AMBIENTALES

El resultado observado, luego de levantar las cubiertas de protección es satisfactorio, no apreciándose vestigios de envejecimiento del HidroAs-1 (oxidación, rigidización), en las geomembranas protegidas por éste, como tampoco en el radier. Cabe señalar, que el HidroAs-1 no fue modificado con elastómeros, aditivo que se utiliza para evitar problemas en altas y bajas temperaturas. El único elemento expuesto directamente al medio, es el radier.

Las conclusiones que pueden inferirse, son que un elemento asfáltico, donde han sido considerados los aspectos de clima en el diseño de la mezcla, no sufren deterioro por este factor, si la forma en que ha sido ejecutado, es la adecuada. Confirmando, lo establecido en la bibliografía, Rijkswaterstaat (1985).

Estos resultados, indican que es posible controlar durante el diseño y la construcción del revestimiento, las variables ambientales de exposición, independiente de la zona y el clima existente. Existiendo para ésto, una amplia gama de aditivos posibles de ser incorporados, para eliminar tales efectos. Cabe señalar por ejemplo, que la modificación del asfalto a través de elastómeros, resulta ser altamente efectiva en condiciones ambientales de temperaturas extremas.

4.8.- BASURAS Y SEDIMENTACION

Una de las características de este canal, es su alto nivel de sedimentación, lo cual quedó registrado en el set fotográfico obtenido en este estudio. Otra característica es el arrastre de basuras y ramas en el flujo.

Frente a estas características, la solución que mejor comportamiento experimentó, fue la albañilería autosoportada tipo 2, en la cual se redujo, tanto la acumulación de sedimento, como la retención de basuras. Sin embargo, la solución que consideraba malla tuvo problemas principalmente con la retención de basuras, lo cual es mejorable disminuyendo la abertura del bizcocho, ya que esta solución es adecuada cuando por condiciones de diseño, se requieren muros más verticales.

4.9.- COMPORTAMIENTO DEL REGIMEN HIDRAULICO

En relación a este tópico, los autores señalan que el revestimiento de un canal no sólo debiera efectuarse para reducir las filtraciones. Ya que el comportamiento hidráulico estable a través del tiempo es otro requerimiento necesario que a veces se descuida en el diseño. Cabe señalar, que si el canal no es revestido, éste a través del tiempo, experimenta cambios de las condiciones de escurrimiento, debido a que la mantención periódica, generalmente efectuada por personas que desconocen las leyes que gobiernan dicho escurrimiento, provoca alteraciones en la geometría del canal tanto transversal como longitudinalmente.

Por otra parte, en muchos casos, la misma vegetación condiciona que en la mantención se deba remover parte del talud e incluso del radier del canal, siendo imposible efectuar rellenos sin el empleo de maquinaria de compactación, observándose que la tendencia más usual en un canal natural, sea el desboque generalizado de la sección, cambios en la pendiente y otras singularidades, que en definitiva establecerán una nueva condición para el flujo.

De acuerdo a lo anterior, en condiciones distintas a las de diseño del escurrimiento, se podrán generar los siguientes efectos:

- a) Disminución de la velocidad media, implicando un aumento en la sedimentación, incremento de la temperatura del agua, aumentando los problemas de proliferación de flora acuática y otros.
- b) Singularidades hidráulicas, con efectos de socavación y/o erosión, entre otros.
- c) Apozamientos con detención de flujo y posterior rebase.
- d) Alteraciones en canales con régimen de turnos.

En relación a lo anterior, se puede señalar que durante el seguimiento de las soluciones no se observó ninguno de estos problemas y sólo variaron levemente algunas condiciones del flujo principalmente por embanques propios del canal natural. Dicha situación se normalizó totalmente una vez efectuada la mantención.

4.9.1 Rugosidad: Estas soluciones presentan una rugosidad compuesta, por dos elementos distintos (muros y radier). Los muros, con mayor rugosidad, estimada entre 0,018 y 0,025 y el radier con una rugosidad de 0,013 (Ven T. Chow, 1959). Para el canal, se estima una rugosidad media $n=0,022$ como máximo, en condiciones de canal en estado limpio, existiendo leves variaciones entre cada una de las soluciones.

Para el caso de la membrana enterrada su rugosidad media, corresponde a la de un canal natural $n=0,025$ aproximadamente.

4.9.2 Velocidades Admisibles:

a) **Velocidad mínima:** Respecto a este factor, se estima que son válidos los criterios generales de diseño de canales. De las mediciones, se puede señalar que las velocidades medias de escurrimientos, oscilaron durante todo el período de seguimiento, entre 0,55-0,70 [m/s]. Obviamente, en diseños con condiciones distintas a la situación experimental que involucró sólo 200 [ml] de una canal particular, facilitado para este estudio, se podrá manejar la pendiente y la geometría de las secciones con mayor libertad, con objeto de obtener velocidades más adecuadas.

b) Velocidad Máxima: Del análisis de los antecedentes bibliográficos y en base a experimentos no estandarizados realizados, se puede inferir que las soluciones de albañilería en su conjunto, aceptan velocidades de hasta 2[m/s], estimado conservadoramente.

c) Eje Hidráulico: El eje hidráulico se midió en diversas oportunidades, directamente a través de una regleta fina. Las alturas medias de agua, variaron durante el período de seguimiento, producto del manejo administrativo del recurso hídrico y las precipitaciones, no sobrepasando en ningún momento las alturas de muro de cada solución. Cabe señalar que al comparar en tramos rectos y adecuados, los valores medidos con los calculados a través de Manning, suponiendo una rugosidad de $n=0.022$, éstos difieren levemente.

5.- CONCLUSIONES DE LA ETAPA DE SEGUIMIENTO

De las cuatro soluciones ensayadas, la de mejor comportamiento global fue la autosoportada de tipo 2. Cabe destacar además, que esta solución permite su aplicación en taludes de mayor verticalidad a la que señala la bibliografía, en relación a revestimientos asfálticos, lo que se traduce en menores niveles de vegetación. La zanja lateral al pié de muro, resultó ser una adecuada solución de diseño para el caso del muro tipo 1, pudiéndose incorporar para el caso del muro tipo 2. Por otro lado, esta alternativa (tipo 2), fue la de menor costo de construcción y mantención.

Como se ha mencionado, ninguno de los revestimientos ensayados presentó deterioro después del ciclo de seguimiento. No obstante esto, es conveniente mantener una actividad permanente de seguimiento, de forma de contribuir con más antecedentes al desarrollo de esta tecnología.

Sin embargo, con los antecedentes que actualmente se disponen, se puede concluir que es factible construir revestimientos de la naturaleza de las soluciones propuestas por este estudio.

Por otra parte, en función de los resultados del seguimiento al radier, se puede concluir que el concreto asfáltico, es un material posible de utilizar además en conjunto con muros tradicionales, como hormigón o albañilería de piedra, presentando una serie de ventajas técnicas y de costo, con respecto al hormigón común, utilizado para este fin. También este material permite efectuar y aceptar reparaciones, lo cual es otra ventaja destacable frente al radier de hormigón.

Cabe señalar que el concreto asfáltico, el cual no fue aplicado en muros, cuenta con todos los antecedentes como para realizar éstos, en otra oportunidad.

Finalmente cabe expresar, que una importante conclusión en relación a esta experiencia, es la evaluación efectuada por los propios

usuarios de este canal. En tal sentido, se incorpora un documento entregado por la Asociación de Canalistas que administra el Sistema Maule Norte.

6.- OBJETIVOS DE LA ETAPA DE MANTENCION.

El objetivo de esta etapa, es determinar en terreno las variables más importantes asociadas a las labores de mantención, que requiere este tipo de soluciones., ya que el conocimiento de ellas, permitirá finalmente comparar y evaluar la factibilidad técnico-económica de incorporar dichas soluciones como una alternativa más. Es así que, aspectos como: rendimientos, costos y frecuencias estimadas, debían ser determinados durante el estudio.

Además, se planificó efectuar mantención a un tramo no revestido del mismo canal de prueba, con el objeto de efectuar comparaciones de los resultados entre la situación con y sin proyecto.

7.- ANTECEDENTES PREVIOS SOBRE MANTENCION DE CANALES

Las fuentes de información revisadas, respecto a la ejecución de este tipo de trabajos fueron; el manual de mantención del sistema Péncahue, (Mahave, MOP) y los antecedentes de carácter general, que se señalan en la bibliografía obtenida en el extranjero (Rijkswaterstaat, 1985). Además, se contó con la experiencia que posee la Asociación de Canalistas Maule Norte, la cual coordinó posteriormente los trabajos de mantención.

De los tipos de mantención, que usualmente se recomienda efectuar durante la operación de canales (Mahave, G. MOP), el presente trabajo se refiere sólo a la mantención rutinaria o normal, la que comúnmente se realiza una vez al año. Además se señala, que los rendimientos que se producen en faenas manuales en revestimientos, son de entre 2 a 8 [m^3/HD] para efectos de limpieza de sedimentos y de 4 a 60 [$m^2/hora$], con cuadrillas de 2 a 3 personas, para la limpieza con cuchillos, de la vegetación externa al canal.

Los principales aspectos a considerar en la mantención de canales naturales son: sedimentación, infestación por malas hierbas, infiltración de agua, erosión de los taludes, etc. El canal Palto-Maitenes, presenta problemas por todas estas razones.

En relación a la mantención de revestimientos asfálticos, los antecedentes indican que su costo es ligeramente superior al de revestimientos de muros de albañilería y hormigón. Sin embargo, también se señala, que este efecto se ve enormemente compensado por el ahorro de costo en reparaciones que implican estas soluciones, con respecto a otras tradicionales, a través del tiempo.

8.- DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS DE MANTENCION EFECTUADOS

Las actividades de mantención fueron las siguientes: roce y despeje de vegetación en una faja de 2,0 [m], en cunetas y bordes del canal. Para efectuar posteriormente, la limpieza del interior de cada solución, con objeto de extraer el sedimento y las plantas acuáticas. Para culminar con un lavado y escobillado de radier.

9.- RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ETAPA DE MANTENCION

a) Roce de Vegetación Externa:

El rendimiento alcanzado por una cuadrilla de 10 personas fue:

- en el tramo experimental : 270 [m²/HD]
- en el tramo sin revestir : 200 [m²/HD]

En este tipo de trabajo, la herramienta que se ocupó fue el cuchillón de corte y las personas que participaron en cada solución fueron las mismas en cada caso

b) Limpieza interior de sedimentos y vegetación:

La tabla siguiente, muestra los resultados obtenidos en la limpieza interior del canal.

TABLA N°2

FECHA	TIPO DE SOLUCION	CUADRILLA A	LONGITUD	DURACION	RENDIMIENTO	COSTO	COSTO
		[Jornal]	[ml]	[Días]	[ml/HD]	[\$/ml]	[\$/m ²]
09-07	GEOMEMBR.c/CUBIERTA	10	70	0,4170	16,8 (5 m ² /HD)	150.-	33.-
09-07	MURO BOLON Y MALLA	10	60	0,3125	19,2 (2 m ² /HD)	133.-	33.-
13-07	ALBAÑ.AUTOSOP.TIP.1	05	47	0,2917	32,2 (5 m ² /HD)	170.-	38.-
13-07	ALBAÑ.AUTOSOP.TIP.2	10	18	0,0210	86,4	30.-	7.-

Estos resultados permiten apreciar que:

a) Aspectos Generales:

- Existe similitud en cuanto a costos, en relación a los que usualmente se presentan en canales de la zona.
- Los rendimientos alcanzados, son superiores a lo que indica la bibliografía (Mahave, MOP).
- El nivel de embancamiento y de vegetación acuática en el canal, presentó espesores de entre 5 a 10 [cm], excepto la solución de albañilería autosoportada tipo 2. Esto significó del orden de 30 [m³] de material removido en las otras tres soluciones. Los rendimientos asociados a dicha extracción se presentan entre paréntesis.

Cabría acotar, que los altos índices de sedimentación que se dan en el tramo de pruebas son una característica propia de este canal, produciéndose niveles de embanque, de espesores que llegan a los 50 [cm] en los tramos sin revestir.

b) Resultados entre cada alternativa:

En cuanto a los resultados de mantención, obtenidos en las soluciones de revestimiento asfáltico, de ellos se desprende:

- Los mayores costos y menores rendimientos se obtienen en la solución de geomembrana con protección de tierra y ripio.
- La albañilería autosoportada del tipo 2, presenta costos y rendimientos de mantención comparables a los de revestimientos más rígidos, siendo nuevamente la solución mejor evaluada de las cuatro en estudio.
- Finalmente, del trabajo de mantención efectuado, se desprende que con una frecuencia de mantención una vez por año, este tipo de revestimientos (todos), podrían operar sin problemas.

10.- CONCLUSIONES FINALES DE SEGUIMIENTO Y MANTENCION

a) Vida útil: El estado general que presentan las cuatro soluciones ensayadas, al cabo de un año, es similar al inicial. Por lo que se puede inferir, que desde el punto de vista de su durabilidad, el comportamiento mostrado a la fecha, puede evaluarse como muy bueno. Tal apreciación, se ve corroborada por la carta donde la Asociación de Canalistas presenta sus comentarios, la cual se adjunta.

De la bibliografía relativa al tema, se desprenden duraciones para soluciones del tipo membranas enterradas, de entre 15 a 27 años (CH.W. Jones, 1983). Por lo que se concluye que conservadoramente la vida útil mínima esperada será de 15 [años], siendo mayor para el caso del radier.

b) Mantención : Los resultados obtenidos en la mantención de las soluciones (Tabla N°2), muestran que con una frecuencia de una vez al año y con un consumo de recursos (costo, mano de obra, etc.) comparable a otros revestimientos tradicionales, es posible mantener en operación este tipo de soluciones. Cabe destacar que un elemento determinante en la evaluación económica de estas soluciones, será el menor costo que involucra su reparación, en comparación a los requerimientos que imponen los revestimientos tradicionales.

c) Resistencias : La estabilidad estructural mostrada durante el seguimiento por todas las soluciones experimentadas, habiendo sido sometidas a diferente tipo de solicitaciones, permite inferir que las resistencias del revestimiento como conjunto, son las adecuadas para ser incorporadas como una alternativa más, en el revestimiento de canales de riego.

d) **Rugosidad** : La rugosidad de la solución con cubierta de ripio y tierra, debe ser asociada a la que presenta un canal natural y que se sitúa alrededor del valor $n = 0,025$. En cambio, aquellas soluciones compuestas por radier asfáltico y muros de bolón, presentarían un valor máximo de $n = 0,022$, con la particularidad (observada durante el seguimiento), que en canales cuyas aguas contienen sedimento en suspensión, dicho valor tendería a ser menor a medida que el sedimento va rellenando los vacíos entre bolones y alisando así, paulatinamente su superficie.

e) **Permeabilidad** : La ventaja más evidente del uso de asfalto como revestimiento, es su característica impermeable. La que además, al considerar los aspectos ampliamente tratados en este estudio y la incorporación de refuerzos, presenta la cualidad de mantenerse en el tiempo.

f) **Flexibilidad** : Otra de las ventajas de estas soluciones, es su gran flexibilidad lo que las hace adecuadas en diseños sobre suelos plásticos y/o expansivos.

g) **Impacto Ambiental** : De las observaciones y comentarios recibidos, el impacto al medio se observa como positivo e incluso al término de la faena de construcción se pudo efectuar una fácil limpieza de los materiales sobrantes lo cual es otro factor ventajoso de estas soluciones.

h) **Características adicionales** : Una ventaja adicional, de los materiales incorporados como parte del conjunto de cada solución propuesta en este estudio, es la estabilidad frente a casi todas las sustancias químicas existentes, como ácidos, álcalis, sales, etc., exceptuando aquellas producidas en la refinación del petróleo, difíciles de encontrar en canales de riego.

11.- BIBLIOGRAFIA

- [1] JAMES M. LACKEY, (JUNE 1956) Principles in Design of Asphalt Hydraulic Structures. BULLETIN OF UNIVERSITY OF UTAH, Vol.47, N°14, EE.UU.
- [2] THECNICAL ADVISORY COMMITTE ON WATERDEFENCES (1985). "The use of Asphalt in Hydraulic Engineering". COMMUNICATIONS RIJKSWATERSTAAT, N°37.
- [3] CHESTER W. JONES , M. ASCE.(1983). "Performance of Granular Soil Covers on Canal Linings". JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE ENGINEERING, Vol.109, N°1, MARZO 1983, EE.UU.
- [4] K.SHIGEMATSU AND Y. NAKAYA.(1977) "The Mechanical Properties of Asphaltic Concrete Facing for Earth and Rockfill Dams". KICT REPORT N°27, OCTUBRE 1977, JAPON.
- [5] MAHAVE G. Manual de operación y mantenimiento del Stma. de riego Penciahue.DPTO. EXPLOTACION D.RIEGO-MOP.
- [6] ROBERT M. KOERNER, Ph.D., PE (1990)."Designing with Geosynthetics", 2ª Edición, EE.UU.
- [7] BARON W. F. VAN ASBECK (1964). "Bitumen in Hydraulic Engineering". Vol.II, ELSEVIER PUBLISHING CO.
- [8] VEN T.CHOW (1959)."Open Channels Hydraulics", EE.UU.

ANEXO FOTOGRAFICO

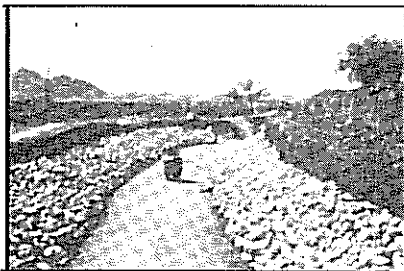


Foto 1: Estado del revestimiento autoportado después de su construcción. Septiembre 1992.

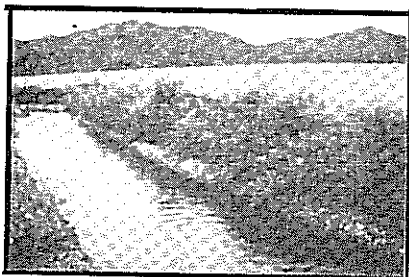


Foto 2: Revestimiento geomembrana enterrada durante la operación. Enero 1993.



Foto 7: Estado del canal en tramo de soluciones autoportada y con malta después de la mantención. Agosto 1993.

Foto3:
Revestimiento de
bolones autoportado durante la operación.
Enero 1993.

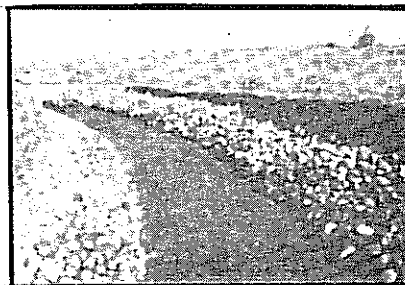
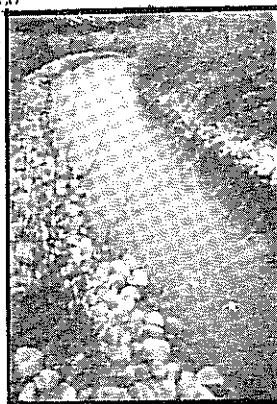


Foto 4, 5 y 6: Revestimiento de bolones autoportado después de la mantención. Agosto 1993.

