

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
XI CONGRESO CHILENO

ESTUDIO DE REVESTIMIENTOS ASFALTICOS
EN CANALES DE REGADIO
(Primera Parte)

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

R E S U M E N

El presente trabajo, es un estudio de diseño y construcción, de cuatro soluciones de revestimientos para canales de regadío, las cuales incorporan el uso de elementos asfálticos, combinados con otros tales como; bolones, mallas de alambre, geotextiles y otros. Los resultados obtenidos indican que es factible el diseño y construcción de estas soluciones obteniéndose una serie de ventajas, traducidas principalmente en una alta impermeabilidad, velocidades admisibles adecuadas, estabilidad estructural, buenos rendimientos de construcción, habilitación inmediata y relativo bajo costo.

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

1.- FUNDAMENTOS DE INVESTIGAR MATERIALES ALTERNATIVOS PARA REVESTIR CANALES DE REGADÍO

Debido al sostenido aumento de la demanda de agua, producto de la multiplicidad de usos que tiene este recurso en la actividad económica nacional, se puede observar que éste, se ha ido convirtiendo en un bien cada vez más escaso.

Según lo anterior, la actitud lógica esperada de parte de todos los agentes que concurren y asignan dicho recurso, sería propender a aumentar la eficiencia en el uso y manejo de él, garantizando la cantidad y calidad, que en definitiva permitirán una utilización óptima por las diversas actividades productivas que compiten por su utilización.

Por otra parte, el escenario actual en materia de obras de riego, se traduce en una gran cantidad de proyectos en estudio y ejecución, cuyo objetivo principal es incrementar la cantidad y seguridad de superficie actualmente regada en el País. Sin embargo, efectuar grandes obras de regulación y conducción, no garantiza que se cumpla dicho objetivo.

La experiencia ha demostrado al respecto, para que el recurso hídrico llegue efectivamente a los cultivos que lo demandan, se deberá efectuar una serie de obras de distribución intermedias y adecuación intrapredial, las cuales si bien pudieran estar consideradas en los proyectos generales, éstas comúnmente carecen de revestimientos, o la ejecución de éstos se posterga a través del tiempo. Esto provoca una disminución de la eficiencia total del sistema, entre la fuente de obtención y los sectores de riego.

En relación a lo anterior, cabe señalar que existe una gran infraestructura de riego que fue construida en períodos anteriores, que demanda reparaciones y mantenciones excesivamente caras, producto de lo expresado anteriormente.

Por otra parte, considerando que gran parte de los costos de adecuación, reparación y mantención de las infraestructuras de distribución, recae en los propios usuarios, aunque existen mecanismos promovidos por organismos gubernamentales, cuyo objetivo es asignar recursos financieros para subsidiar dicha actividad. Se hace necesario desarrollar esfuerzos, para adoptar soluciones técnicas de menores costos que las tradicionalmente usadas, para el mejoramiento de dichas obras. Según esto, se podrá mejorar y reparar una mayor cantidad de obras, con los mismos recursos.

El presente estudio, surge de la búsqueda de soluciones técnicas, de menor costo con respecto a las que tradicionalmente se utilizan en los revestimientos de obras hidráulicas, especialmente en canales de riego.

2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ANTECEDENTES ANTERIORES RESPECTO AL USO DE MATERIALES ASFALTICOS

2.1.- GENERALIDADES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En general, al cabo de un tiempo de explotación, los canales sin revestir sufren problemas derivados de una inadecuada mantención, que se traduce en desboques, embanques, desprendimientos de taludes, vegetación, ataques de roedores y otro tipo de organismos vivos (camarones), encostramientos debido a la calidad del agua y otros. Además, dependiendo del tipo de suelo en que estén emplazados, una parte importante de los canales naturales presentan significativas pérdidas por infiltración que en algunos casos sobrepasan el 50[%].

Entre las ventajas que se derivan de revestir un canal de riego están: mayor seguridad de riego, mayor velocidad de distribución, mínimas variaciones de la sección en el tiempo, menores costos de mantención, etc. En consecuencia, poder contar con una gama más amplia de alternativas técnicas-económicas, permitirá aumentar las oportunidades de evitar el derroche de un recurso que tiene un alto costo para el país.

La elección del tipo de revestimiento, dependerá de variables, técnicas y económicas, que son ampliamente conocidas y fueron indicadas por González (1991), Además dicho autor indicaba que en el marco actual, diseñar y ejecutar soluciones basadas en un sólo tipo de material, como p.ej. hormigón, era prácticamente un lujo.

2.2.- ANTECEDENTES HISTORICOS RESPECTO DEL USO DE ASFALTO EN REVESTIMIENTO DE CANALES DE RIEGO.

Existen diferentes testimonios históricos que indican que el uso de asfalto en revestimiento de canales era practicado en la antigüedad. Se indica que las primeras aplicaciones se remontan al año 600 A.C., en Asiria, donde se revistió un canal de 80 Km. de longitud. Por otra parte, descubrimientos arqueológicos relativamente recientes, efectuados en la Mesopotamia, han descubierto estructuras construidas con materiales asfálticos, alrededor del año 1.300 A.C., en el río Tigris (Instituto del Asfalto, 1961).

A pesar de lo expuesto anteriormente, sólo a partir de los años 30 se inicia el uso de asfaltos en canales de EE.UU. y Europa. Pero los desarrollos más importantes de esta tecnología, se logran en 1946 (EE.UU.), cuando el Bureau of Reclamation recibe facultades para una investigación más rigurosa y en 1953 (Europa), después del desastre ocurrido en Holanda.

Actualmente varios países además de los mencionados (Japón, Bélgica, Alemania, la ex-U.R.S.S., etc.), han aplicado resultados de esas investigaciones, a una gama más amplia de obras hidráulicas, aprovechando su alta impermeabilidad.

Como se mencionara anteriormente, la experiencia nacional respecto a la investigación de soluciones asfálticas para el revestimiento de canales de riego, se reduce sólo a la desarrollada por González (1991), que inicialmente fue motivada por la necesidad de encontrar soluciones de revestimiento de menor costo, para canales pertenecientes a Comunidades Agrícolas de escasos recursos, en la IV Región.

Como una consecuencia de lo anterior, el autor recomendaba en su trabajo, planificar y efectuar una experiencia de mayor envergadura, que incorporara un seguimiento del comportamiento durante un período adecuado de explotación.

3.- ESTUDIO REALIZADO EN CANAL PALTO-MAITENES PERTENECIENTE AL SISTEMA MAULE NORTE, VII REGION

3.1.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO

De acuerdo con lo anterior, se dio origen a un proyecto de investigación en un canal existente, cuyo objetivo era proporcionar la información relevante en el diseño, construcción y explotación, donde el revestimiento lo constituyeran elementos asfálticos en combinación con otros.

Se propuso entonces, experimentar un conjunto de soluciones técnicas, de relativo bajo costo, asociadas al uso de elementos asfálticos para revestir canales de regadío. Además, obtener la información necesaria para el virtual desarrollo de los productos asfálticos más adecuados a estos fines.

La experiencia, fue realizada en el canal Palto-Maitenes, derivado del sistema Maule-Norte y consistió en revestir unos 200 [ml] de canal. El estudio, contempló cuatro soluciones distintas de revestimientos para dicho canal.

3.2.- ANTECEDENTES DE ESTUDIOS SIMILARES

Acceder a la bibliografía existente sobre esta materia no es fácil, ya que ella es prácticamente inexistente en el País. Los reportes de mayor utilidad, son los publicados por el Bureau of Reclamation (1963), que recopila aspectos de proyectos construidos en las décadas del 40 y 50, con soluciones derivadas de las experiencias de construcción de caminos.

Quizás se podría indicar que el mayor desarrollo de esta tecnología, tanto en el diseño como en el desarrollo de materiales adecuados, proviene de las experiencias europeas (Rijkswaterstaat, 1985). Son éstas, las que durante el período 1960-1975, han perfeccionado la técnica y seleccionado los tipos de material asfáltico a emplear en cada caso particular (Bertacchi y Puccio, 1982).

No obstante, la información recopilada es insuficiente para una aplicación inmediata de dicha tecnología, careciendo de datos respecto de, caracterización climática de la zona, costos, rendimientos de construcción y mantención, métodos de reparación, y principalmente, respecto al comportamiento que durante el servicio tienen este tipo de revestimientos.

3.3.- DESCRIPCION DEL ESTUDIO

Básicamente el estudio se dividió en dos etapas , la primera; vinculada al diseño y construcción de revestimientos asfálticos, técnico-económicamente factibles de materializar en el canal Palto-Maitenes. La segunda, vinculada al estudio del comportamiento que tales soluciones experimentaban, durante un año hidrológico, considerando aspectos de mantención en este tipo de soluciones.

Durante la primera etapa , se estudió y desarrolló en laboratorios de Tapcim S.A. y en la planta de Asfaltos Chilenos en Con-Con, los productos asfálticos que correspondería utilizar.

Es así, como fueron producidos los materiales asfálticos: HidroAs-1 e HidroAs-2 (nombres de fantasía).

También en esta etapa, se recogieron características topográficas, de suelos y clima de la zona en estudio. Para tales condiciones, se diseñaron 4 soluciones diferentes, para efectuar comparaciones entre sí, con la perspectiva de optimizar posteriormente tales diseños.

Además en dicha etapa, se efectuó capacitación a un Jefe de Obras, con el objeto de evaluar el nivel de especialización requerido por la mano de obra común que participaría en la construcción de estas soluciones.

Del proceso de diseño, de los revestimientos de muros, resultan soluciones basadas principalmente en el uso de geomembranas asfálticas fabricadas in-situ, que combinan el diseño tradicional indicado en la bibliografía, con algunas modificaciones propias del estudio, las cuales no se encuentran en las referencias analizadas.

Por otra parte, se investigó en forma separada el radier del canal, para lo cual se utilizó concreto asfáltico con un porcentaje adicional de asfalto. La razón de lo anterior, es que se considera que independientemente del tipo de muro utilizado, el seguimiento de dicho radier permitiría su incorporación en diseños tradicionales de soluciones de revestimiento, tales como; hormigón o albañilería de piedra.

En síntesis, se estudiaron las siguientes soluciones :

- a) Geomembrana asfáltica con cubierta de protección
- b) Geomembrana con bolones y malla de protección
- c) Muros con bolones autosoportados tipo 1
- d) Muros con bolones autosoportados tipo 2

El presente trabajo, sólo se refiere a la primera etapa con sus conclusiones más importantes. La segunda etapa, se presenta para efecto de este congreso, en otro documento.

3.4.- CONDICIONES INICIALES DEL CANAL PALTO-MAITENES

3.4.1.- Características del Suelo: El tramo de experimentación, está emplazado en suelos compuestos por arcillas grasas e inorgánicas de gran plasticidad, cuya clasificación corresponde al tipo CH. Estas experimentan cambios críticos de volumen, desarrollando importantes presiones de expansión en estado de saturación, generando inestabilidad en los taludes del canal. En Anexo 1, Tabla AN-1 se señalan características principales.

3.4.2.- Subpresiones: Si bien, no existen problemas de subpresión por efecto de aumentos en el nivel de la napa, en períodos de altas precipitaciones, por efecto de la saturación del suelo, se producen eventualmente presiones indebidas, sobre los revestimientos colocados en este tramo.

3.4.3.- Vegetación: En la zona, se dan características especialmente favorables para el crecimiento abundante y acelerado de la vegetación, ya que existen condiciones de humedad y temperatura, junto a un suelo muy contaminado por semillas, que favorecen su proliferación. Además, la presencia de árboles y arbustos (zarzamoras), en los borde de los taludes y cuneta del canal es una característica generalizada de los canales de la zona.

3.4.4.- Pendientes: En base a la topografía efectuada, se determinó un pendiente longitudinal promedio en el tramo de pruebas de 0,0016. Mientras que los taludes naturales, se presentan entre 70° y 90° promedio.

3.4.5.- Pluviometría: De acuerdo a estudios anteriores en la zona CEDEC (1977), ésta se caracteriza por presentar precipitaciones del orden entre 1.000 a 1.500 [mm] por año, concentrada durante los meses de Abril a Septiembre. Esta tendencia natural, se agudiza en años hidrológicos especiales. Cabe señalar al respecto, que el estudio se realizó durante un año hidrológicamente afectado por el fenómeno denominado "corriente del Niño".

3.4.6.- Especies vivas y paso de Animales: En este canal, es frecuente encontrar animales (caballares y vacunos) en su interior, los que aprovechando caídas de material en los taludes, ingresan a beber agua. Además se tienen condiciones para la existencia de especies vivas (camarones de agua dulce)

3.4.7.- Funcionamiento hidráulico del canal: El canal Palto-Maitenes recibe aguas desde el canal Maitenes, de acuerdo a las acciones que posee. Recibe un caudal aproximado de 0.60 [m³/s], lo que da origen a alturas de agua no mayores a 70 [cm] en condiciones normales de operación, las que aumentan hasta casi 80 [cm] producto de las precipitaciones. Las velocidades promedio que se dan en el flujo, oscilan entre 0,6 a 0,8 [m/s]. La longitud total del canal

es de 5 [Km] y en su recorrido un importante porcentaje de él, está afectado por los problemas indicados en 2.1.

4.- ANTECEDENTES DE DISEÑO

4.1.- MATERIALES UTILIZADOS EN CADA SOLUCION

4.1.1.- ASFALTOS:

a) HidroAs-1 : Este material es un asfalto oxidado catalítico, de características muy plásticas, con penetración y punto de ablandamiento comprendidos en el rango que recomiendan las fuentes bibliográficas (50/80 y 80°/95°C respectivamente). En Tabla AN-2, se presentan sus principales características.

Además dicho material posee características de ductilidad que le permiten resistir movimientos sin que se produzca agrietamiento. Gran relevancia tiene en ello, el proceso de oxidación y el tipo de catalizador usado, de manera de producir un material que aplicado a altas temperaturas (>180 °C), alcance resistencia y flexibilidad una vez frío. Este material fue desarrollado para la fabricación in situ, de geomembranas y membranas (con y sin refuerzo).

b) HidroAs-2 : Este material, básicamente es un cemento asfáltico de relativa viscosidad, clasificado técnicamente como del tipo AC-20 y con características adicionales de resistencia a la acción del flujo, clima y vegetación. Además posee grandes cualidades adhesivas, que le permiten cumplir adecuadamente su función ligante del agregado mineral.

Respecto a los efectos ambientales, cabe indicar que en los procesos de fabricación, se han controlados los niveles de hidrocarburos contenidos en ambos materiales, especialmente aquellos que dan origen a cadenas cíclicas (serie naftenos), conocidos como cicloparafinas y que normalmente se producen en asfaltos de este tipo.

En Chile, los contenidos de hidrocarburos involucrados, son muy bajos como para comprometer la salud de las personas. Cabe señalar que éstos son químicamente inertes, permitiendo la aplicación de ellos en canales de riego u otras obras hidráulicas, que los colocan en contacto directo con agua.

4.1.2.- GEOTEXTILES

Se escogió un geotextil que cumpliera algunas pruebas, efectuadas previamente en laboratorios de Tpecim S.A., referidas a resistencia a temperaturas >180 °C, y a capacidad de absorción de HidroAs-1. Este se componía de 100 [%] de material de polyester, de peso unitario 1,35 [gr/cm³] y espesor de 2 [mm], del tipo no-tejido, de modo que su resistencia a la tracción, en cualquier dirección, fuera adecuada (Ver Tabla AN-3 en Anexo 1).

4.1.3.- ARIDOS Y MATERIALES ESTRUCTURALES

Todos los materiales áridos utilizados, fueron suministrados desde empréstitos cercanos a la obra. En cuanto a tamaños, la arena se componía de partículas de máximo 1 [mm], la grava presentaba tamaños de entre 3/4" a 1 1/2", los bolones tenían tamaño máximo de 20 [cm] y los clastos de 40 [cm].

Además, en una de las soluciones ensayadas, se usó una malla de bizcocho 50/14, con galvanizado simple, que cumplió la función de ser soporte estructural del relleno de bolones en los muros. Además, se incorporó fierro estriado de 8 [mm], como fijación de la malla, con un diseño tipo "espinas de pescado", en longitudes de 60 y 30 [cm].

4.2.- DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CADA SOLUCION DE REVESTIMIENTO

4.2.1.- GEOMEMBRANAS ASFALTICAS USADAS

Este material, cumplió la función de ser la parte impermeable del revestimiento de muros, construyéndose en forma completamente manual, in-situ. Para ello, primero se colocó el geotextil directamente en el suelo de apoyo, para luego por medio de recipientes previamente dosificados, verter a una temperatura adecuada, HidroAs-1, el cual era esparcido mediante herramientas especialmente diseñadas para ello. En su diseño, se utilizó el método de "acierto y error" (Rijkswaterstaat, 1985), en base a controlar la viscosidad y estabilidad del HidroAs-1.

Para asegurar la impermeabilidad, que generalmente es causada por una pérdida de adhesión entre las capas de asfalto, se efectuaron pruebas para comprobar el nivel de absorción de HidroAs-1 en el geotextil, en condiciones de alta humedad ambiente (común en la zona). Esto implicó duplicar el número de capas que recomienda la bibliografía y permitió además, determinar las dosificaciones correspondientes de dicho asfalto, para obtener durante el proceso constructivo, los espesores de diseño considerados y que recomienda la bibliografía (Rijkswaterstaat, 1985; Van Asbeck, 1964).

4.2.2.- MEZCLAS ASFALTICAS USADAS

La tabla siguiente presenta las principales características de ellas.

TABLA N°1

CARACTERISTICAS	MEZCLA N°1	MEZCLA N°2	TIPO DE REVESTIMIENTO EN QUE SE USO	
			MEZCLA N°1	MEZCLA N°2
% DE CEMENTO ASFALTICO	8,0	5,6	* COMPUESTO ASFALTICO CON CUBIERTA Y MALLA DE PROTECCION.	* ALBAÑILERIA ASFALTICA AUTOSOPORTADA TIPO 1
% BAJO MALLA 200	11,0	9,0		
TAMAÑO MAXIMO ARIDO	3/8"	3/4"	* ALBAÑILERIA ASFALTICA AUTOSOPORTADA TIPO 2	
TEMPERATURA DE ENTREGA	152 °C	160 °C		
TIPO DE CEMENTO ASFAL.	80/100	60/80		

Cabe señalar, que no es recomendable el uso de este tipo de mezclas en taludes inclinados, ya que en tales condiciones, juega un papel muy importante la estabilidad de la mezcla. En tal sentido, se desarrolló el HidroAs-2.

4.2.3.- SOLUCIONES EXPERIMENTADAS

Se ensayaron cuatro soluciones de revestimiento, con las que se cubrió la sección natural del canal. Primero, se efectuó una cuidadosa preparación del terreno. Posteriormente, se aplicó un tratamiento químico de control de vegetación, en base a una solución acuosa de pentaclorofenol, denominada HIDRO-A42 y aplicado a una tasa de 2 [lt/m²].

Además, por las propiedades del suelo, se efectuó un tratamiento con cal hidratada a razón de 150 [gr/m²], a efecto de minimizar las presiones de expansión de la arcilla contenida en él.

a) GEOMEMBRANA ASFALTICA CON CUBIERTA DE PROTECCION

Se revistieron 301,5 [m²] de superficie, en una longitud de casi 70 [ml] de canal. La sección final revestida fue de 1,5 [m] de base, con muros de inclinación 2 : 1 (H:V) y los encuentros de muros y radier redondeados, (Strassburger,1971).

Previamente, sobre la superficie del terreno se colocó una capa de arena fina, de 5 [cm] de espesor, para suavizar el suelo y evitar deformaciones pronunciadas de él. (Anexo 1, fig.Nº 2)

Luego, se fabricó in situ una geomembrana de espesor 5 [mm], anclada a los bordes superiores, con clavos de 6" y con material de relleno compactado, para finalmente colocar sobre ella, una cubierta de material de excavación y una final de ripio limpio. El espesor total de la cubierta fue de 25 cm (Kraatz,1977).

La colocación fue manual, de manera de medir resultados en las peores condiciones de construcción posibles. En tal sentido, la aplicación de HidroAs-1 sobre el geotextil y la colocación de la cubierta, son faenas optimizables en sus rendimientos y seguridad constructiva al incorporar maquinaria en este proceso.

b) GEOMEMBRANA ASFALTICA CON BOLONES Y MALLA DE PROTECCION

Este revestimiento está compuesto por muros impermeabilizados en base a geomembranas de 4 [mm] de espesor. Esta solución comprendió una longitud de aprox. 60 [m] de canal, involucrando una superficie de 250 [m²] aprox.

En este caso, la cubierta de protección cumple la doble función, de proteger el asfalto de la exposición al medio ambiente y brindar una resistencia estructural frente a las sollicitaciones laterales, permitiendo diseñar mayores alturas y taludes más verticales en muros. Dicha cubierta, es un relleno de bolones sujetos por mallas de alambre galvanizado común. La malla y el geotextil, se deben

anclar previamente al radier, para posteriormente incorporar el bolón de protección, hasta cubrir por completo el muro impermeabilizado.

La secuencia constructiva fue; colocación de malla y geotextil sobre la superficie a revestir, construcción de radier, compactación de la mezcla mediante rodillos livianos, especialmente diseñados para no producir sobrecompactación, colocación de anclajes intermedios, aplicación de HidroAs-1 en el geotextil, relleno de los muros con bolones de tamaño máximo 20 [cm], y cierre de malla galvanizada en borde del talud. Las dimensiones y características del revestimiento se muestran en el Anexo 1, figura N° 1.

c) MURO DE BOLONES AUTOSOPORTADOS, TIPO 1

En este caso, el revestimiento fue instalado en una sección similar a la del caso a). Se revestieron 47 [ml] de canal, con una superficie de 200 [m²] aprox.

La secuencia constructiva seguida fue: excavación de zanja lateral continua en encuentros muro-radier como anclaje, colocación de geotextil, aplicación de HidroAs-1 sobre el geotextil hasta un espesor de 5 [mm], relleno ordenado de la zanja con bolones de tamaño máximo 20 [cm], colocación de mezcla asfáltica, compactación de la mezcla con rodillo, formación de doble muro con bolones autoportados de tamaño máximo 20 [cm] induciendo la trabazón mecánica y finalmente, sellos de terminación en encuentros muro-radier, con mastic en base a HidroAs-1. En Anexo 1, fig. N° 3, se presenta su esquema.

d) MURO DE BOLONES AUTOSOPORTADOS, TIPO 2

Esta solución es similar a la anterior, difiriendo solamente en los siguientes aspectos; no considera zanjas de anclaje para los bolones en los encuentros muro-radier, la inclinación de los taludes es 8:7 (H:V) y el muro es simple, constituido por bolones tipo clastos, de tamaño máximo 40 [cm].

Con esta solución, se revistieron solamente 18 [ml] de canal, abarcándose una superficie de 87 [m²], con ancho basal de 1,40 [m]. Al igual que en el caso anterior, se usó sello de terminación en los encuentros muro-radier y el espesor de la geomembrana fue de 4 [mm]. En Anexo 1, fig. N° 4, se presenta el esquema correspondiente a esta solución.

Es necesario destacar que el radier de todas las soluciones experimentadas, excepto la descrita en el punto 4.2.3 (a), que no lo contempla, fue compactado hasta alcanzar un porcentaje de vacíos de un 4% (V.I.M.), lo que produce un coeficiente de permeabilidad de 10^{-8} [cm/s] (Shigematsu y Nakaya, 1977), garantizando además, mayor durabilidad y estabilidad de él.

5.0.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LA ETAPA DISEÑO Y CONSTRUCCION.

5.1.- RESULTADOS DE DISEÑO

a) En base a los resultados obtenidos en el diseño y construcción, se puede indicar que los materiales asfálticos utilizados, permitirían el diseño de un número mayor de soluciones que las presentadas en este trabajo.

b) Los requerimientos de diseño para este tipo de soluciones, no difieren significativamente de los que normalmente deben considerarse en revestimientos tradicionales, excepto por la mayor preocupación frente a la agresividad de la vegetación.

c) La incorporación del geotextil, reduce significativamente el riesgo de perforación de la membrana por la vegetación.

d) Para los radieres, debe especificarse previamente, el grado de compactación adecuado, y así evitar fallas posteriores.

e) Todas las soluciones ensayadas, presentan características de flexibilidad adecuadas a las condiciones del canal.

f) Para efecto de los cálculos hidráulicos, el valor de la rugosidad (Manning), es un valor compuesto entre la del radier asfáltico, cuyo valor medio estimado es $n = 0,013$ y la de muros, cuyo valor estará asociado al material de cubierta, con valores que han sido ampliamente difundidos en la literatura especializada (V.T.Chow, 1959).

g) Las velocidades máximas que resisten estos revestimientos, excepto la solución presentada en 4.2.3 (a), sólo están condicionadas a la calidad con que se ejecute la compactación del radier. Por tanto, es factible aceptar conservadoramente para efectos de diseño valores hasta los 2,0 [m/s].

5.2.- RESULTADOS CONSTRUCTIVOS

a) Del estudio, se desprende la factibilidad de aplicar estos revestimientos a inclinaciones de talud, superiores a los que indica la literatura. Faltaría corroborar este aspecto, observando el comportamiento durante la etapa de seguimiento.

b) La plasticidad del material HidroAs-1, permite el diseño de geomembranas con diferentes espesores de geotextil no tejidos, permitiendo virtualmente, el uso de cubiertas de protección más simples, como la gravilla o arena al boleó.

c) Si bien se capacitó a un jefe de obras, el 100% restante del personal de obra nunca antes había trabajado con asfalto y el 90% provenía de la zona. Esto indica, que la adecuada aplicación de los materiales asfálticos, sólo requiere de una supervisión especializada y de mano de obra sin experiencia.

d) Debido al hecho que la obra fue ejecutada manualmente, queda abierta la posibilidad de mejorar rendimientos y costos, mediante mecanización de algunas faenas. Por otro lado, por tratarse de una obra no tradicional, es posible esperar un aumento en la eficiencia de la actividad producto de la adquisición de experiencia a través del tiempo.

e) Los costos que arrojan estas soluciones son costos sin IVA, que además no incluyen gastos generales y que sólo pueden ser asociados a trabajos en esta zona. Por otra parte, en los valores presentados, se incluye el costo del movimiento de tierra que se efectuó para cambiar la inclinación del talud natural, al correspondiente a cada solución.

f) La planificación y el trabajo que involucra la construcción de estas soluciones, es sencillo. No requiere de maquinarias especiales y todos los materiales usados, son de fácil adquisición. Sin embargo, se recomienda que la dirección técnica de la obra, sea efectuada por un profesional altamente calificado en esta materia.

g) Las características de las alternativas estudiadas son:

TABLA Nº2

SOLUCION	SUP. (M ²)	TALUD (H:V)	P. UNIT. (\$/M ²)	CUADR. (M ² H-D)	REND. (M ² /HI)	REND. ASF. (M ² /C) GEOM.---RADIER	REND. (M ² /C.)
GEOMEMBRANA CON CUBIERTA PROTEC.	301,5	2 : 1	6.300	3	5,0	100	15,0
COMP. ASFALTICO CON MALLA Y BOLON	252,0	8 : 7	7.168	8	9,5	400	76,0
ALBAÑILERIA T1	200,0	2 : 1	5.756	8	3,6	293	29,0
ALBAÑILERIA T2	87,0	8 : 7	5.308	8	20,0	400	160,0

Cabe señalar que los rendimientos indicados en la Tabla Nº2, columna 9, corresponden al revestimiento total por cuadrilla.

5.3.- CONCLUSIONES

Las ventajas inmediatas que surgen de la etapa diseño y construcción son:

- Los revestimientos pueden entrar en servicio apenas concluye su ejecución, pueden ser construidos en invierno y con bajas temperaturas ambientes. Además se ahorra tiempo de construcción al no requerir de moldaje ni juntas. Se puede utilizar mano de obra de la zona que no requiere mayor especialización. La instalación de faenas es mínima y las soluciones tienen un costo menor al de soluciones tradicionales.

- Los rendimientos de la parte asfáltica, en este tipo de soluciones son altos, en relación a los tradicionales. Cabe destacar además, que la colocación de bolones de mayor tamaño, también presenta altos rendimientos (133 m²/3-HD), en relación a la colocación de aquellos de menor diámetro (27 m²/3-HD).

- Las características que se exigen a los revestimiento de canales de riego, pueden ser satisfechos adecuadamente, al utilizar en su construcción materiales de tipo asfálticos. Propiedades como; permeabilidad, resistencias mecánicas, condiciones de estabilidad, y durabilidad, son técnicamente posibles de lograr, en base al diseño y uso del material adecuado, ajustándose a las condiciones que prevalezcan en una determinada situación.

- Una vez que se conozcan los resultados del seguimiento y la mantención de este tipo de obras, podrán verificarse otras ventajas que surjan de su uso. Mientras que en lo económico, se puede concluir desde ahora, que aportan una alternativa de menor costo relativo, lo cual permite planificar la destinación de recursos y posibilitar la ejecución de obras que actualmente permanecen en calidad de proyecto.

- Desde el punto de vista del diseño hidráulico, se deben utilizar las metodologías tradicionales de cálculo, considerando los valores de rugosidad y velocidades máximas señalados en el estudio. Desde el punto de vista estructural, como las soluciones son compuestas entre varios elementos, se deberá efectuar un análisis empírico de las sollicitaciones y la estabilidad de los revestimientos frente a éstas, no justificándose a esta escala una modelación estructural.

- Los rendimientos obtenidos en faenas tales como; colocación de cubierta (tierra y ripio), colocación de mezcla asfáltica en radières y aplicación de HidroAs-1 sobre geotextil, son todos optimizables al considerar la mecanización de ellas, usando maquinaria pequeña, cuya tecnología ya ha sido desarrollada.

- Por razones de espacio, no se han incluido los resultados de diversos ensayos de laboratorio y terreno que se efectuaron durante esta etapa, los cuales no presentan mayores requerimientos a los exigidos en construcciones tradicionales. Pero, de sus resultados se puede inferir la posibilidad de alcanzar taludes más verticales que los ensayados ($\frac{1}{2}:1;H:V$).

- Por otra parte, para el caso de los muros de bolones, se consideró que su peso sumergido y la trabazón que se indujo en la colocación de ellos, sería suficiente para mantener la estabilidad estructural de los muros, dadas las características hidrodinámicas del canal, ésto deberá ser verificado durante la etapa de seguimiento. En este sentido, para aquellos muros con bolones de menor tamaño, se consideró la construcción de zanjales laterales, con bolones colocados de punta, adheridos a la geomembrana y rellenos con mastic asfáltico, de forma de prevenir fenómenos de socavación al pié del talud.

Finalmente señalar, que todos los materiales asfálticos usados, se aplicaron en caliente, puesto que la experiencia con materiales puestos en frío, es mala en cuanto a la durabilidad.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) BARON W.F. VAN ASBECK (1964), HOLANDA. "Bitumen in hydraulic engineering" Vol.2.
- (2) BUREAU OF RECLAMATION, 1ª EDICION (1963), EE.UU. "Linings for irrigation canals".
- (3) CEDEC (1977), CHILE. ESTUDIO INTEGRAL DE RIEGO DE LA CUENCA DEL RIO MAULE.
- (4) D.B. KRAATZ (1977), "Revestimiento de canales de riego". COLECCION FAO N°1.
- (5) J.A. GONZALEZ (Noviembre 1991), CHILE. "Estudio de revestimientos asfálticos en pequeños canales de regadío".
- (6) KAZUO SHIGEMATSU y YOSHIKI NAKAYA (1977), JAPON. "The mechanical properties of Asphaltic concrete facing for earth and rockfill dams". KAJIMA INSTITUTE OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY.
- (7) P. BERTACCHI y M. PUCCIO (1982), "Bituminous concrete facings for earth and rockfill dams". CIGB-ICOLD, 1982 BULLETIN 32a, ITALIA.
- (8) RICARDO STRASBURGER (1971), ARGENTINA. "Revestimiento de canales con materiales asfálticos que llevan cubierta de protección". XVII REUNION COMISION PERMANENTE DEL ASFALTO
- (9) THE ASPHALT INSTITUTE, MS-12 (1961), EE.UU. "Asphalt in hydraulic structures".
- (10) THECNICAL ADVISORY COMMITTEE ON WATER DEFENCES (1985) "The use of asphalt in hydraulic engineering". COMMUNICATIONS RIJKSWATERSTAAT N° 37, 1985, HOLANDA.
- (11) VEN T. CHOW (1959), "Open Channel Hydraulics", Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY, N.YORK.

ANEXO 1

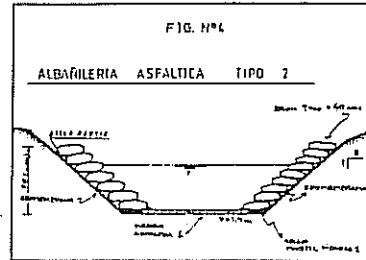
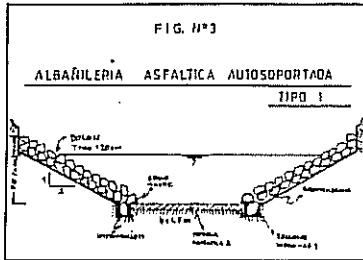
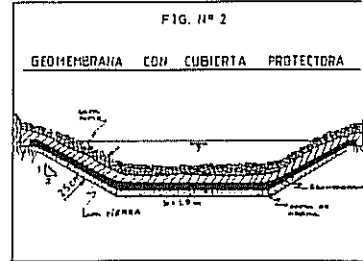
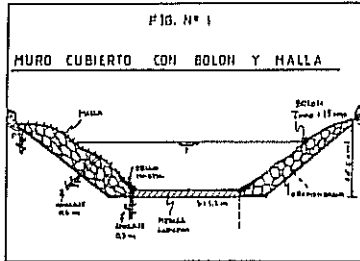


TABLA AN-1

CARACTERISTICAS DEL SUELO		
LIMITE LIQUIDO	52,4 %	
INDICE PLASTICIDAD	33,6 %	
GRANULOMETRIA		
3/8	991	100
4	476	84
10	200	72
40	0,42	53
200	0,074	41
CLASIFICACION: CH		

TABLA AN-2

CARACTERISTICAS HIDRO-AS 1	
Punto de ablandamiento (ASTM D-36)	70-90
Penetración 25°C, 100g, 55 (ASTM D5)	60-80
Pérdida por calentamiento (ASTM D-6)	0,04
Flash Point (INACE T211)	> 250 °C

TABLA AN-3

CARACTERISTICAS DEL GEOTEXTIL			
ENSAYO	UNIDADES	TIPO GEOTEX.	
PESO	gr/m ²	230	
ESPESOR (20 gr/cm ²)	mm	2,0	
RESISTENCIA A LA TRACCION (I) (Grab Strength L)	Kg/25 cm.	54	
ALARGAMIENTO TRACCION (I) (Grab Elongation L)	%	88	
ALARGAMIENTO TRACCION (A) (Grab Elongation A)	%	77	
RESISTENCIA AL RASGADO (I) (Trapezoid Tear L)	Ku	21	