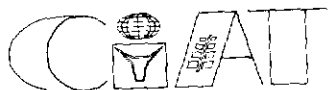


CIAT (Colombia)
000 112 C-2

Ser.
Rein.
Octubr

Revestimiento de canales de riego con una mezcla de suelo-cemento

Alfonso Díaz-D.
Ramiro Narváez D.



Centro Internacional de Agricultura Tropical

El CIAT es una institución sin ánimo de lucro, dedicada al desarrollo agrícola y económico de las zonas tropicales bajas. Su sede principal se encuentra en un terreno de 522 hectáreas, cercano a Cali. Dicho terreno es propiedad del gobierno colombiano el cual, en su calidad de anfitrión, brinda apoyo a las actividades del CIAT. Este dispone igualmente de dos subestaciones propiedad de la Fundación para la Educación Superior (FES): Quilichao, con una extensión de 184 hectáreas, y Popayán, con 73 hectáreas, ambas en el Cauca. Junto con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el CIAT administra el Centro de Investigaciones Agropecuarias Carimagua, de 22,000 hectáreas, en los Llanos Orientales y colabora con el mismo ICA en varias de sus estaciones experimentales en Colombia. Santa Rosa, una nueva subestación de 30 ha cerca a Villavicencio, Colombia, ha sido proporcionada sin costo al CIAT por FEDEARROZ para su operación desde 1983. El CIAT colabora también con instituciones agrícolas nacionales en otros países de América Latina. Varios miembros del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) financian los programas del CIAT. Durante 1983 tales donantes son: los gobiernos de Australia, Bélgica, Canadá, España, Estados Unidos, Francia, Holanda, Italia, Japón, Noruega, el Reino Unido, la República Federal de Alemania, Suecia y Suiza; el Banco Internacional para Reconstrucción y Fomento (BIRF); el Banco Interamericano de Desarrollo (BID); la Comunidad Económica Europea (CEE); el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (FIDA); el Fondo de la OPEP para Desarrollo Internacional; la Fundación Rockefeller; y la Fundación Ford. Además varios proyectos especiales son financiados por algunas de tales entidades y por la Fundación Kellogg, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente la posición de ninguno de los gobiernos, instituciones, o fundaciones mencionados.

SI
613
.05
03

Serie ES-28
Reimpresión
Octubre, 1983

Revestimiento de canales de riego con una mezcla de suelo-cemento

Alfonso Díaz-D.
Ramiro Narváez D.



UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y
DOCUMENTACIÓN

NOV 2004

Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT
Apartado Aéreo 67-13, Cali, Colombia
Cables CINATROP

CONTENIDO

	<u>Página</u>
Introducción	5
Materiales	6
Suelo	6
Cemento	8
Tablas de otobo	8
Metodología	8
Localización de los canales	8
Trazado topográfico del eje del canal	10
Diseño de la sección del canal	11
Conformación del canal	12
Fundición del piso del canal	13
Fundición de las paredes del canal	15
Esmaltado	17
Fraguado del revestimiento	18
Construcción de las obras de distribución	19
Protección del canal	19
Costos	21
Aspectos técnicos	21
Materiales	21
Mano de obra	22
Recomendaciones	23

REVESTIMIENTO DE CANALES DE RIEGO CON UNA MEZCLA DE
SUELO-CEMENTO

Alfonso Díaz-D.*
Ramiro Narváez D.**

INTRODUCCION

La implementación de nueva tecnología en el campo agrícola, busca aumentar la producción y la productividad, mediante operaciones que sean económicamente factibles.

Una de las prácticas de cultivo de gran importancia es el riego, el cual suministra a las plantas el agua necesaria para su germinación, crecimiento, floración y fructificación. Sin embargo, el costo del suministro del agua de riego es relativamente alto, por lo cual es necesario hacer más eficiente el uso de cualquier cantidad de agua disponible. El revestimiento de los canales de conducción del agua de riego por gravedad en una finca, granja o estación experimental, es uno de los medios más efectivos para hacer más eficiente esta práctica de cultivo, debido a que presenta las siguientes ventajas:

1. Elimina las pérdidas por infiltración en los canales.
2. Agiliza el transporte del agua.
3. Disminuye el costo del mantenimiento del canal.
4. Facilita la medición del agua para riego.
5. Disminuye el transporte de semillas de malezas, sales, etc.
6. Facilita la construcción de obras de distribución.
7. Facilita el manejo del agua.
8. Elimina la erosión de los terrenos adyacentes.

* Ingeniero Agrícola, P.E., Coordinador de la Unidad de Operaciones de las Estaciones Experimentales, Centro Internacional de Agricultura Tropical.

** Ingeniero Agrícola, Superintendente de Campo, CIAT-Santander, Centro Internacional de Agricultura Tropical.

En esta publicación se presentan una serie de criterios prácticos para el revestimiento de canales de riego a bajo costo, y se detallan los requerimientos de materiales y aspectos técnicos de su diseño.

MATERIALES

La mezcla suelo-cemento, en una proporción 8:1 (volumen) produce el tipo de revestimiento más *duadero y económico* (Figura 1).

Suelo

El suelo utilizado en la mezcla puede ser el extraído de la excavación del canal, pero su contenido de arena no debe ser inferior al 72 por ciento; en el



Figura 1. Con base en los estudios de costos se determinó que el revestimiento de los canales de riego es más económico cuando se utiliza una mezcla pobre de suelo-cemento que al utilizar mampostería o concreto simple.

Cuadro 1. Análisis físico-mecánico de un suelo de la sede del CIAT en Palmira, Valle del Cauca (Colombia), el cual se ajusta a los requerimientos de la mezcla suelo-cemento para el revestimiento de canales de riego.

Muestra	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
1	73,1	12,7	14,2	Franco-arenoso
2	73,2	12,6	14,2	Franco-arenoso

caso de que no cumpla esta condición, el material deberá buscarse en otros sitios de la finca, especialmente en áreas de subsuelos arenosos. En el Cuadro 1 se presenta el análisis físico-mecánico de un material encontrado en la sede del CIAT en Palmira, Colombia; en el Cuadro 2 se presentan las propiedades de resistencia de las mezclas con cemento efectuadas con este material (Figura 2).

Cuadro 2. Ensayo de compresión de las mezclas de cemento con el suelo de la sede del CIAT en Palmira, Valle del Cauca (Colombia)

Cilindro No.	Edad (días)	Resistencia		Relación suelo:cemento
		kg/cm ²	lbs/pulg ²	
1	7	46	654	4: 1
2	7	45	637	6: 1
3	7	25	354	8: 1
4	7	21	307	10: 1
5	14	62	867	4: 1
6	14	25	356	6: 1
7	14	20	283	8: 1
8	14	12	177	10: 1
9	28	91	1291	4: 1
10	28	81	1149	6: 1
11	28	45	637	8: 1
12	28	41	584	10: 1



Figura 2. En la sede del CIAT (Palmira) se encontró un suelo franco-arenoso (aproximadamente 73% de arena y 14% de arcilla) que sirve para el propósito de este sistema de revestimiento de canales.

Cemento

En la mezcla se utiliza cemento comercial, el cual se consigue en bultos de 50 kilos tipo gris.

Tablas de otopo

Las tablas de otopo deben tener una pulgada de espesor. Tienen la función de servir como medio de dilatación de la mezcla y como formaletas para la fundición.

METODOLOGIA

Localización de los canales

Como primer paso, es necesario hacer un levantamiento topográfico del terre-



Figura 3. La nivelación de un terreno sin rastrojos ni malezas, y aún previamente rastrillado, no sólo facilita la labor de los topógrafos, sino que se obtienen datos más precisos, lo cual es muy importante en terrenos planos (pendientes $<1\%$), como los que ilustra la fotografía de un terreno en la sede del CIAT en Palmira.

no con el fin de obtener el plano sobre el cual se localizarán los canales que constituyen la red de conducción del agua (Figura 3). Los canales se deben ubicar en los sitios más altos del terreno; en el caso de que un canal pase por una depresión o que la altura en algún sitio del terreno no sea la requerida, deberá hacerse un relleno, que permita la construcción del canal, de tal manera que el nivel de conducción del agua sea mayor al del terreno que se desea irrigar.

Trazado topográfico del eje del canal

Después de definir en el plano topográfico los sitios por donde pasará el canal, se procede, con la ayuda de un tránsito, a colocar estacas semipermanentes cada 20 metros de distancia sobre la línea eje del mismo. Se debe completar la *topografía del eje*, para lo cual se toman las alturas de cada uno de

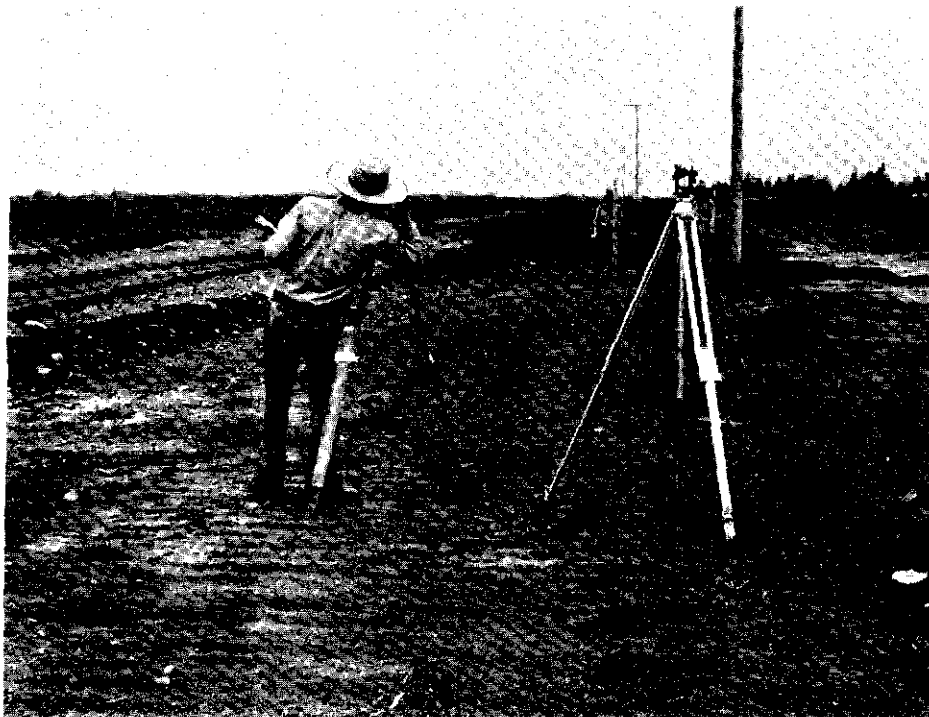


Figura 4. Una vez que los sitios más altos del terreno se ubiquen en el plano topográfico, se procede a localizarlos en el campo. El eje del canal se traza colocando estacas cada 20 metros.

estos puntos con un nivel (Figuras 4 y 5). Con base en las mediciones anteriores se dibuja el perfil del canal y se traza una razante, la cual representa el fondo del canal. De acuerdo con las especificaciones técnicas y de resistencia de la mezcla suelo-cemento, la razante no debe tener una pendiente mayor del 0,2%,* para evitar la erosión del canal. Además, la razante debe cumplir dos condiciones: (1) es una limitante en el diseño de la sección del canal y (2) sus cotas deben ser mayores que las del terreno al cual se le va a aplicar el riego.

Diseño de la sección del canal

En el diseño de la sección del canal se utilizan las fórmulas comunes,

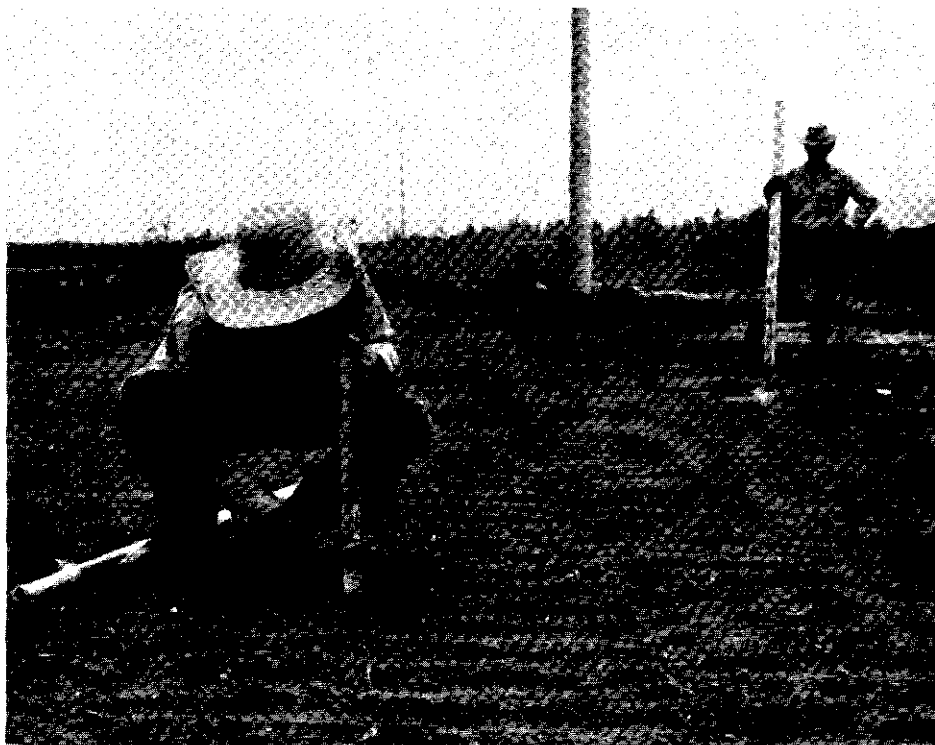


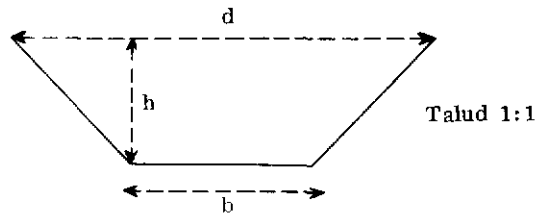
Figura 5. Es necesario nivelar los puntos del eje del canal previamente ubicados en el terreno, con el fin de dibujar el perfil del canal y trazar su razante, con una pendiente no mayor del 0,2% para evitar la erosión.

* Blair, F.E. Manual de riegos y avenamientos. Bogotá, 1965. 77p.

teniendo en cuenta dos factores limitantes: (1) la razante, la cual nos determina la altura del canal, con una pendiente que no debe exceder al 0,2% y (2) la cantidad de agua que se transportará (Cuadro 3). La forma de la sección puede ser de cualquier tipo (circular, rectangular o trapezoidal); sin embargo, en el CIAT se utiliza la forma trapezoidal debido a que es la de menor costo, presenta el mejor comportamiento hidráulico y facilita el revestimiento por no requerir formaletas (Figura 6).

Conformación del canal

Una vez definida la sección del canal y su razante, se calculan los cortes, los cuales se marcan en las estacas dejadas en el eje. Posteriormente se efectúa la excavación, para lo cual se debe tener en cuenta la boca, la plantilla y el espesor de la capa de revestimiento (Figura 7).



Los cálculos se hicieron con base en la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} S^{1/2} R^{2/3} \quad \text{y} \quad A = \frac{Q}{V}$$

donde

- A, área de la sección
- V, velocidad
- n, coeficiente de rugosidad (0,012 para superficies lisas)
- S, pendiente del canal
- R, radio hidráulico

Fundición del piso del canal

En primer término se debe revestir el piso del canal, con el fin de tener una base para el trabajo posterior, el cual consiste en el vaciado de

Cuadro 3. Secciones típicas de revestimiento para algunos caudales.

Caudal (Q)		Plantilla (b) m	Boca (d) m	Altura (h) m	Area (A) m ²
G. P. M.	litros/seg				
1000	63	0,50	1,10	0,30	0,24
1500	94,5	0,50	1,30	0,40	0,36
2000	126	0,60	1,40	0,40	0,40
2500	157,5	0,60	1,60	0,50	0,55
3000	189	0,60	1,70	0,55	0,63

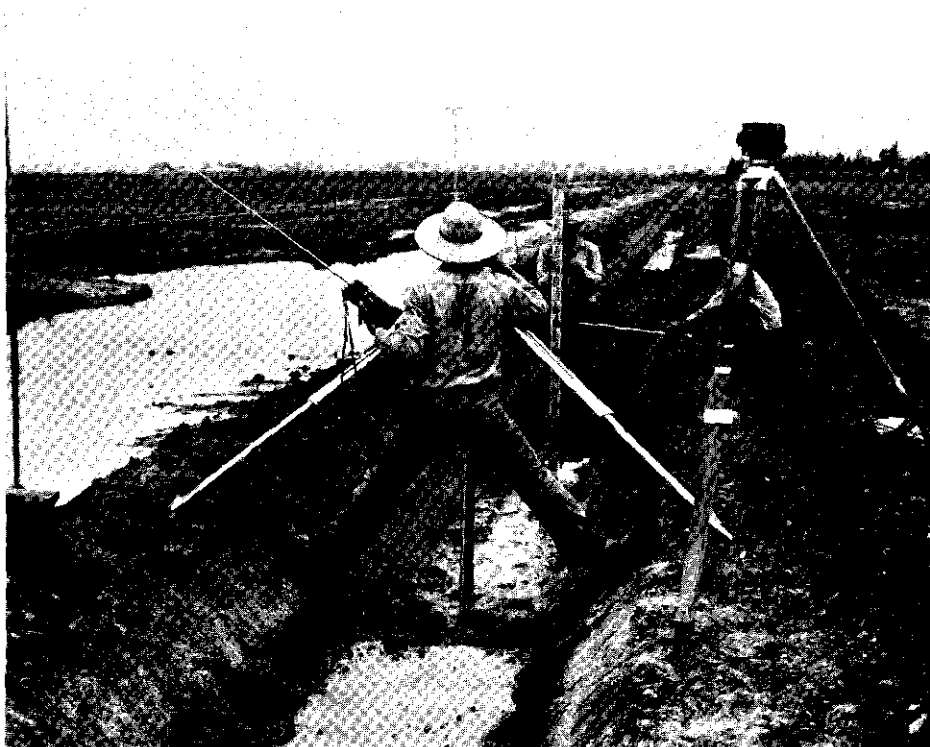


Figura 6. En el diseño de la sección del canal debe tenerse en cuenta la razante y la cantidad de agua que se transportará. En el CIAT se prefiere utilizar la sección trapezoidal, no sólo por representar menores costos, sino por tener mejor comportamiento hidráulico en comparación con las formas circulares o rectangulares.

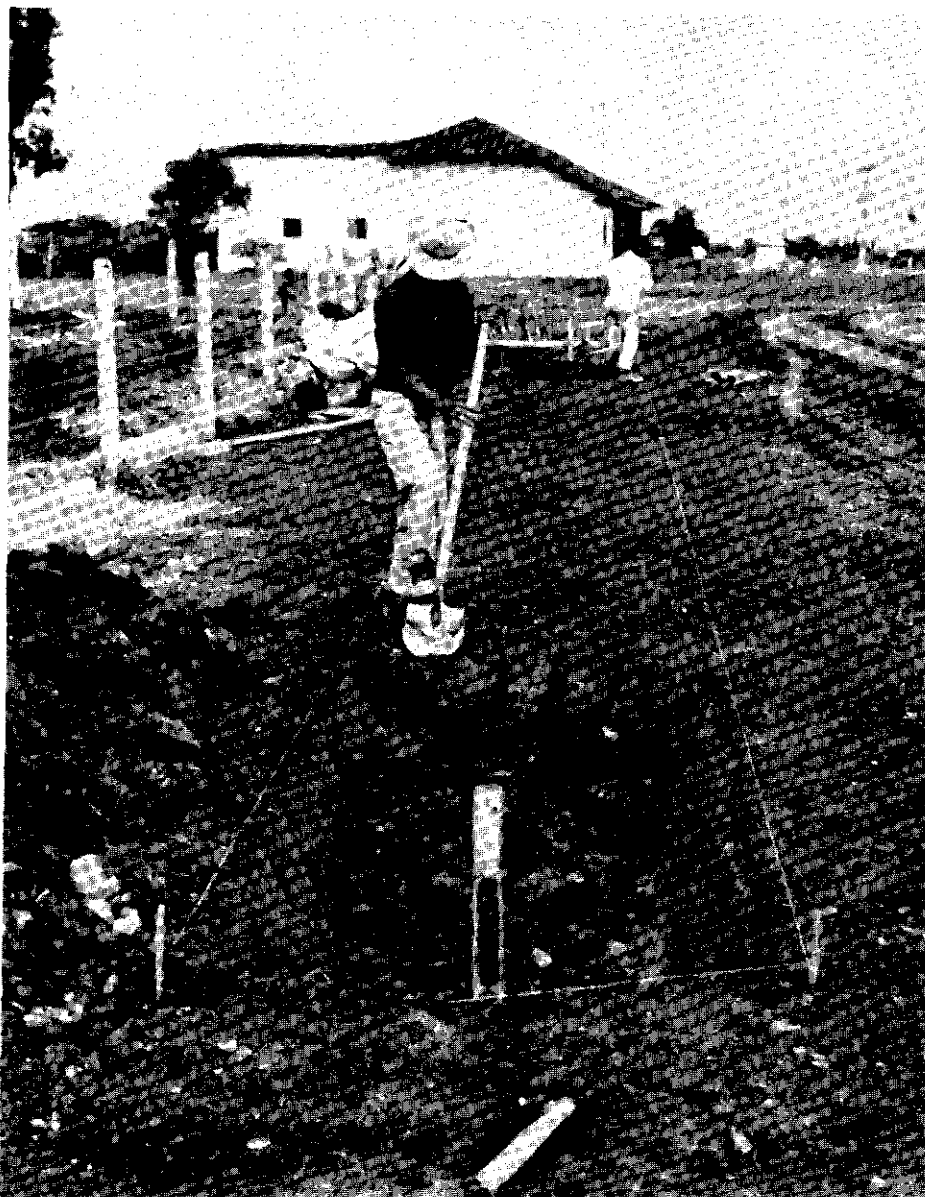


Figura 7. La excavación del canal generalmente se paga por metros cúbicos. En esta operación debe tenerse en consideración las dimensiones de la plantilla y boca del canal, y el espesor de la capa de revestimiento; en el CIAT se han obtenido buenos resultados con un espesor de siete centímetros.

las paredes. El piso se debe fundir en tramos de tres metros, separados por tablillas de otobo, las cuales deben tener un espesor igual al de la capa de revestimiento que se va a utilizar (Figura 8); en el CIAT se han obtenido buenos resultados con un espesor de siete centímetros. Las tablillas se pueden retirar con el tiempo y sustituir por cordones de alquitrán o con una mezcla arena-cemento de 3:1.

Fundición de las paredes del canal

Las paredes del canal también se deben fundir en tramos de tres metros. Las tablillas de dilatación se colocan de acuerdo con la forma que se le desea dar a la sección del canal. En los canales del CIAT, las tablillas se colocan con un ángulo de inclinación (45° en este caso) igual al del talud



Figura 8. La fotografía ilustra la labor de fundición del piso del canal, la cual se hace en tramos de tres metros, separados por tablas de otobo con un espesor igual al de la capa de revestimiento.

de una sección de tipo trapezoidal. Posteriormente, la mezcla se vierte en las paredes y se pule de tal manera que el espesor de la capa de revestimiento sea igual a la utilizada en el piso del canal (Figura 9).



Figura 9. Al igual que el piso del canal, las paredes se funden en tramos de tres metros, separados por tablillas colocadas con el ángulo de inclinación escogido; en el CIAT el talud de la sección trapezoidal de los canales es de 1:1.

Esmaltado

Una vez revestidas las paredes, se procede a su esmaltado para tapar los poros y formar una superficie lisa e impermeable. El esmaltado consiste básicamente en la aplicación de cemento puro, al cual se le rocía agua y finalmente, se pule con un platacho de metal (Figura 10).



Figura 10. La fotografía muestra la labor de alisado e impermeabilización de la capa de revestimiento de las paredes del canal.

Fraguado del revestimiento

Al día siguiente del revestimiento, se debe llenar el canal con agua durante tres semanas. Esta operación permite el fraguado lento de la mezcla, lo cual le dará, al canal, una mayor durabilidad (Figura 11).



Figura 11. El endurecimiento de la mezcla de suelo-cemento se logra mediante el llenado del canal con agua durante tres semanas, lo cual asegura una mayor durabilidad de la obra.

Construcción de las obras de distribución

La distribución del agua requiere la construcción de una serie de obras, como son las cajas de distribución, sifones invertidos, pasos de caminos, transiciones, aforadores, etc., las cuales completan el sistema de riego. Estas obras se pueden construir con la misma mezcla empleada en el revestimiento del canal (Figura 12).

Protección del canal

El suelo que sobra de la excavación se utiliza para construir dos bermas en ambos lados del canal, con el fin de protegerlo contra los golpes ocasionados por maquinaria o personal (Figura 13). El revestimiento

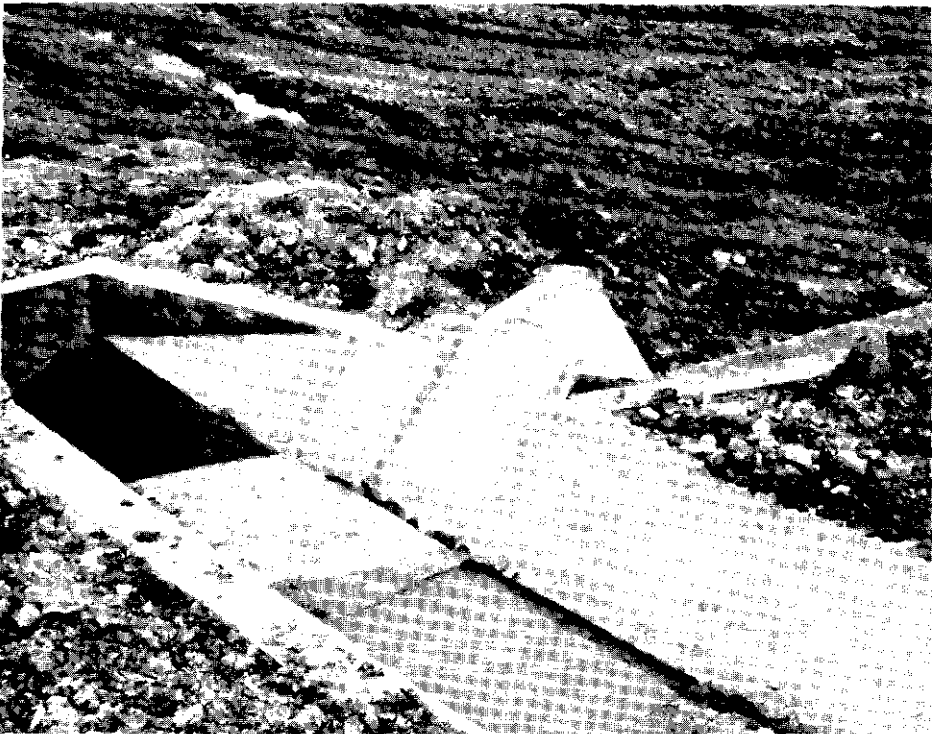


Figura 12. Las demás obras de distribución que completan el sistema de riego, también se pueden construir con la mezcla de suelo-cemento. Es muy importante tener en cuenta que el agua del canal siempre debe tomarse a través de las compuertas y nunca por encima de la sección.

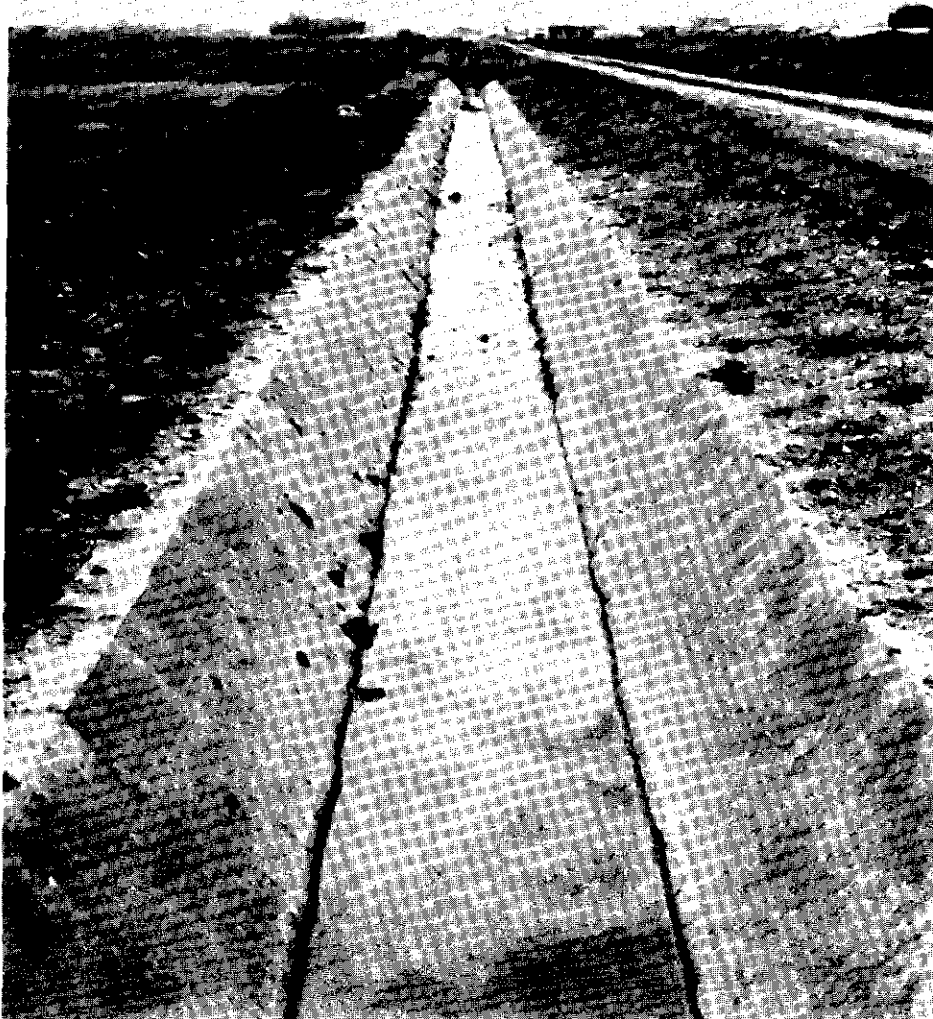


Figura 13. Un canal correctamente diseñado, trazado sobre un terreno bien compactado, revestido con una mezcla de suelo-cemento que cumpla las especificaciones y protegido con bermas contra los golpes ocasionados por maquinaria y personal, funcionará en perfectas condiciones durante varios años.

con una mezcla de suelo-cemento resiste las condiciones propias de la conducción del agua, pero es sensible a los golpes o maltratos.

COSTOS

El estudio de los costos se llevó a cabo en forma práctica en un canal del CIAT de 428 metros de longitud, revestido con una mezcla de suelo-cemento (8:1) con un espesor de siete centímetros y con una capacidad de conducción de agua de 120 litros/segundo. La sección del canal es de tipo trapezoidal, con taludes de 1:1, 60 centímetros de plantilla, 40 centímetros de altura y una pendiente de 0,15%. Con el fin de facilitar su aplicación en cualquier tipo de sección utilizada, los costos se estimaron por metro cuadrado de revestimiento. Los costos se clasificaron de la siguiente manera:

Aspectos técnicos

Se incluyen los pagos por concepto de trabajos topográficos, supervisión de ingeniería, diseño y supervisión técnica (Cuadro 4).

Cuadro 4. Costo del diseño y trazado del canal, bajo las condiciones del CIAT, en 1976.

Tipo de trabajo	Requerimientos (horas técnicas/ m ² de revestimiento)	Costos	
		\$Col.	US\$
Topografía	0,02	0,50	0.014
Diseño	0,01	0,40	0.011
Supervisión	<u>0,01</u>	<u>0,20</u>	<u>0.006</u>
Total	0,04	1,10	0.031

Materiales

Además de los costos de los materiales requeridos, se tuvieron en cuenta los costos del transporte y maquinaria empleada en su consecución (Cuadro 5).

Cuadro 5. Costo de los materiales bajo las condiciones del CIAT en 1976.

Material	Requerimientos/ m ² de revestimiento	Costos	
		\$Col.	US\$
Suelo (m ³)*	0,2	10,00	0,286
Cemento (kg)	20,0	22,00	0,629
Tablas de otobo (unidades)**	6	<u>2,00</u>	<u>0,057</u>
Total		34,00	0,971

* Se incluyen los costos por concepto de su consecución y transporte a 3 km de la obra.

** Dimensiones: 0,60 x 0,07 x 0,03 m.

Mano de obra

Se refieren a todos los jornales requeridos hasta dejar el canal en funcionamiento (Cuadro 6).

Cuadro 6. Costo de la mano de obra requerida para la construcción y el revestimiento del canal, bajo las condiciones del CIAT en 1976.

Tipo de trabajo	Requerimientos (jornales/m ² de revestimiento)*	Costos	
		\$Col.	US\$
Excavación**	0,03	3,75	0,107
Revestimiento***	0,12	18,00	0,504
Conformación de bermas	0,03	4,00	0,114
Otros****	0,01	<u>1,00</u>	<u>0,029</u>
Total		26,75	0,764

* Los jornales que se utilizan para los trabajos que se hacen por contrato. El valor del jornal corresponde a un promedio.

** La excavación se paga por metro cúbico de suelo.

*** El revestimiento se paga por metro cuadrado.

**** Se incluyen los costos del fraguado y apisonamiento de los tramos del canal a los cuales les falte firmeza.

Con base en los estimativos de los costos mencionados, se obtuvo un costo de \$61,85/m² de canal revestido (aproximadamente US\$ 1,77) bajo las condiciones del CIAT en 1976.

El costo del revestimiento de canales con una mezcla de suelo-cemento (\$61,85/m²) es más bajo en comparación con el costo del revestimiento con mampostería (\$94,72/m²) y con concreto simple (\$83,85/m²), representando el 65,3 y 72% del costo del revestimiento con los materiales mencionados.

RECOMENDACIONES

Algunas recomendaciones importantes que se deben tener en cuenta al poner en práctica este tipo de revestimiento son:

- En la mezcla de suelo-cemento no se deben usar suelos con un contenido de arcilla mayor del 30 por ciento, debido a que su estado coloidal no es compatible con el cemento. Las experiencias con suelos que no cumplen esta condición muestran que las mezclas sufren una mayor dilatación y, en consecuencia, se presenta un mayor agrietamiento de las paredes.
- Es necesario compactar adecuadamente el terreno por donde se va a trazar el canal, con el fin de evitar futuros hundimientos.
- Es muy importante evitar el flujo de basuras por el canal. Los sifones y cajas de distribución se deben inspeccionar continuamente para evacuar todos los residuos retenidos en dichas obras.
- Los canales se deben diseñar cuidadosamente para que su capacidad sea la adecuada, puesto que el desbordamiento del agua por encima del canal erosiona las bermas laterales; debe quedar un espacio libre entre la altura del agua y el borde del canal.
- En el caso de que se presente alguna rotura, debe taparse lo más pronto posible para que el agua no continúe erosionando ese punto y se pierda un tramo del revestimiento.

-El agua del canal siempre debe tomarse a través de las compuertas y no sobre la sección, con el fin de evitar la erosión de las paredes.

-Se debe utilizar una mezcla de revestimiento que garantice la durabilidad del canal. Actualmente existen en el CIAT canales con 3 años de revestimiento en perfectas condiciones de uso.