

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS EN OBRAS DE REGADÍO

Por JUAN BENET GOITIA
Ingeniero de Caminos Canales y Puertos

Propone el autor, en su interesante trabajo sobre el tema del epigrafe, la implantación de una serie de procedimientos y disposiciones, que describe claramente, y que considera mucho más favorable para este tipo de obras que los procedimientos que pudiésemos llamar clásicos.

Generalidades.

Para mí es indudable que la larga tradición que en nuestro país tienen las obras de regadío — tradición que se remonta a los tiempos de las dominaciones romana y musulmana — es la gran responsable de la rutina que, por lo general, caracteriza su planteamiento y ejecución.

Hay que reconocer que la técnica desarrollada en esta clase de obras no ha avanzado, hoy por hoy, al mismo paso que la de otras construcciones, y en ello han influido, creo yo, por una parte, determinados anacronismos a la hora de proyectarlas, y por otra, un buen número de prejuicios que atormentan al constructor en el momento de realizarlas.

Es cierto que una gran parte de las obras de regadío no caben dentro de unas definiciones y categorías de carácter general, debido a características especiales de cada caso; pero también lo es que la mayoría de ellas presentan una serie de analogías, cuyo examen conviene intentar, ponderando y destacando su interés estructural y económico; el primero, porque puede arrojar cierta luz sobre determinadas formas y soluciones que se vienen utilizando tradicionalmente y que, posiblemente, habrán de desecharse como consecuencia del progreso en la técnica de la construcción; el segundo, porque del estudio de tales analogías pueden derivarse métodos de trabajo que, extendidos a límites razonables, se muestren más eficaces y económicos que los usuales.

Los regadíos a que me estoy refiriendo suelen ser la fase final del proceso de transformación de una comarca, iniciado con un aprovecha-

miento hidrológico, de cuya naturaleza prescindimos en este estudio. Se supone, por consiguiente, que la dotación del agua es problema resuelto y que, por tanto, se trata simplemente de llevar ese agua para utilizarla en un terreno sediento.

Por regla general, esta clase de obras se sitúa en una zona cuya extensión mínima viene siendo de 10 000 Ha., constituida, la mayoría de las veces, por una terraza cuaternaria de características muy homogéneas y sin grandes accidentes topográficos y que, debido precisamente al retraso de la agricultura, no cuenta en su seno ni con grandes núcleos de población ni con una red vial adecuada a las condiciones del tráfico moderno, que permita el acceso a todos o casi todos sus rincones.

2. Elementos generales del proyecto de transformación en regadío.

Las circunstancias que acabamos de indicar parece que obligan a proyectar el regadío con amplitud mucho mayor de la que cabe esperar, ateniéndose al sentido estricto de esa palabra.

Por consiguiente, nuestra atención no debe limitarse a conseguir llevar el agua a una zona seca, sino que, dado el carácter de mejora pública que con tales obras se pretende, hemos de intentar transformar el conjunto de sus condiciones y posibilitar, en todos los aspectos, la explotación de los nuevos recursos.

Aun cuando en muchos casos es menester constituir también núcleos de población, servicios públicos, etc., vamos a referirnos únicamente

te a aquellos elementos que usualmente constituyen un proyecto de regadío y que, substancialmente, son:

- 1.º Una red de canales de aportación.
- 2.º Una red de acequias de distribución.
- 3.º Una red de desagües.
- 4.º Una red de caminos y vías de servicio.

Es muy frecuente el proyecto que consta de estos cuatro capítulos — y de algunos más —, sin que se pueda decir *a priori* cuál es el más importante o el más costoso, siendo así que todos ellos son imprescindibles para la puesta en servicio del regadío.

Aun cuando con casi absoluta generalidad estos cuatro capítulos vienen a agruparse en un único proyecto, son raros aquéllos que se estudian teniendo en cuenta la totalidad del mismo, sin soslayar las características comunes que presentan cada uno de los capítulos por separado. La diferencia es substancial y puede resultar a veces muy gravosa para el Estado, toda vez que el estudio de un proyecto como suma de otros cuatro independientes puede traer como consecuencia el olvido de las facilidades y comodidades que introduce en la construcción de un capítulo cualquiera la presencia de los otros tres. En efecto, cabe preguntarse: ¿cuántos de estos proyectos se estudian, a la vista de una operación combinada que abarque todos los movimientos de tierra de las partes de que consta?

Sin que se sepa muy bien por qué, no hay duda de que en el proceso constructivo de los diversos componentes del regadío se ha acostumbrado a seguir, en el orden cronológico, el orden anteriormente mencionado, empezando siempre por los canales de mayor envergadura, para terminar por los caminos de servicio; y sin embargo, es evidente que puede resultar mucho más económico y expeditivo resolver una obra — que al final de la misma debe quedar bien comunicada y poco menos que urbanizada — por una red de caminos que permita el fácil acceso de toda clase de vehículos a cualquier punto de ella.

A este respecto, insisto, cabe añadir que, en muchos casos, la red de caminos se proyecta con cierta insuficiencia y estrechez de miras y sin parar demasiada atención en las posibilidades que indirectamente origina la construcción de la red hidráulica.

3. Mecanización y prefabricación.

Hace años, cuando la mecanización de las obras no había alcanzado las actuales proporciones, este tipo de obras se ejecutaba en diversas fases, simultáneas o no, claramente diferenciadas. A saber: la fase de los movimientos de tierra, que desde hace tiempo se ha pedido ejecutar haciendo uso de máquinas, y la fase de las fábricas, hormigones y afirmados de caminos, que se ha ejecutado tradicionalmente mediante métodos semimanuales. Pero hoy en día la escasez y carestía de la mano de obra, la economía de los plazos de ejecución y la calidad de las obras exige para todas sus unidades una mecanización que presenta un sinnúmero de dificultades, debido a la naturaleza tan particular de las pequeñas vías hidráulicas. Su mucha extensión y poca volumetría, así como la gran variedad de pequeñas obras de fábrica que requiere su trazado, vienen a oponerse a todo intento de mecanización. El problema se ha resuelto en muchos casos haciendo uso de los prefabricados; es decir, se ha pasado de la ejecución manual a la más mecanizada — la prefabricación —, sin parar demasiada atención en las posibles soluciones intermedias. Sin embargo, las numerosas redes de acequias que en la actualidad se están construyendo en el país no se están llevando a cabo con un decidido programa de prefabricación, sin duda porque la calidad y la economía que este método trae consigo no se ha demostrado hasta la fecha con suficiente evidencia. Para mi modo de entender las cosas, se ha elegido la prefabricación porque, además de arrojar un coste más bajo que el de la construcción manual, es el único modo de mecanización total de un obra — por lo general, mal comunicada y difícilmente accesible — muy poco susceptible de una completa ordenación y organización técnicas. No se trata solamente de que para las piezas prefabricadas se adopten diseños más económicos, sino de que la ejecución de los prefabricados en un taller centralizado permite alcanzar una calidad difícil de conseguir con la fabricación *in situ*, que precisa, por tanto, de diseños más groseros y robustos.

Pero al llegar aquí cabe preguntarse: ¿Por qué en una zona que en su día ha de conocer un importante tráfico de productos agrícolas no se ha de disfrutar también durante la construcción del tráfico necesario para la misma? Senci-

amente, porque el problema no acostumbra a plantearse en tales términos.

Hasta la fecha no se ha demostrado que los elementos prefabricados de hormigón, por ejemplo, sean más económicos para la industria de la construcción en una capital que la construcción *in situ*, habida cuenta de la facilidad que proporcionan los servicios públicos. De idéntica forma cabe responder — desgraciadamente, con una interrogante — que hasta la fecha no se han demostrado las posibilidades que para la economía de la construcción ha de tener una obra cuya red de caminos se ha ejecutado previamente con amplitud y economía.

La solución intermedia.

La práctica profesional me ha llevado al convencimiento de que, en aquellos casos donde es posible, una cierta solución intermedia — digamos a igual distancia entre la prefabricación y los métodos semimanuales — puede resultar más ventajosa y económica que cualquiera de las otras dos soluciones. Si se supone — y luego volveremos sobre ello — que casi todos los puntos de la zona donde ha de implantarse el regadío se pueden hacer accesibles a los vehículos sobre neumáticos, es “siempre” posible equipar la obra con una instalación portátil o fija de fabricación de hormigones de calidad controlada, es decir, una estación para tratamiento y clasificación de áridos en el número de tamaños que se considere idóneo, y una central de fabricación de hormigones, con dosificación ponderal de todos sus agregados, que descarguen el producto en vehículos sobre neumáticos para que lo transporten hasta el punto de empleo en un lapso de tiempo menor que el período de prefraguado. A este efecto, ya que hoy en día el número de soluciones posibles de tal equipo es innumerable, se puede disponer de conjuntos transportables que se estacionen a lo largo de la obra, en uno o varios centros de gravedad, a fin de rendir el producto dentro de un limitado radio de acción.

Si con respecto a la fabricación *in situ* llevada a cabo por los métodos manuales (hormigoneras portátiles, dosificaciones volumétricas, empleo de revoltones o zahorras), las ventajas de un método semejante saltan a la vista, las

que presentan respecto a la prefabricación son de índole muy diferente. A saber:

1.^a Siempre y cuando la calidad del hormigón sea la misma con ambos métodos, la solución intermedia elimina las roturas y desperdicios de las piezas prefabricadas, que tanto gravan una obra resuelta por tal sistema.

2.^a Los hormigones de calidad se distribuyen a “toda” clase de fábricas y no a un número limitado de secciones tipificadas, como es el caso de la prefabricación, cuya solución adolece, a la hora de la construcción, de un sinnúmero de obras tipificadas ejecutadas por métodos manuales y con hormigones de calidad no controlada.

3.^a El diseño de las fábricas puede llevarse a cabo al objeto de alcanzar la solución más robusta y económica, toda vez que el provec-tista puede contar con la garantía de la calidad de las fábricas.

4.^a Si la calidad de la fábrica es análoga con ambos métodos, en cambio el “cosido al terreno” de la fábrica puesta *in situ* es siempre mucho más perfecto que el de la pieza prefabricada.

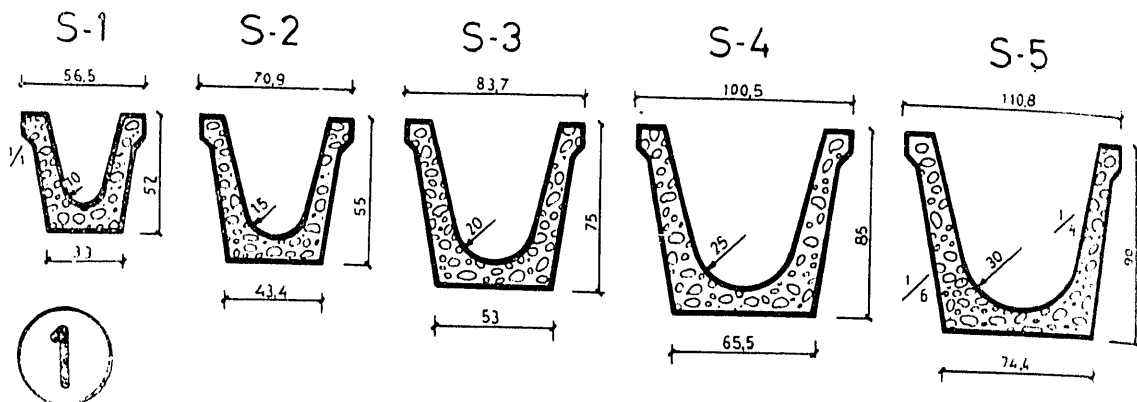
5.^a Por último, la instalación de una central de hormigonado y la constitución de una red vial apropiada, no eliminan la posibilidad de montar a la vera de aquélla un taller de prefabricados para hacer así aquellos elementos que se estime oportunos.

La posibilidad de organizar una obra de regadío por el sistema que he llamado solución intermedia, trae consigo el cumplimiento de unas condiciones imprescindibles: la primera, equipar la obra con una central para la fabricación de hormigones de calidad controlada y con capacidad de producción para todas las fábricas incluídas en su sector. La segunda, tener constituída una red de caminos que permita el fácil acceso a todos los puntos de la obra; complemento de esta condición es el equipo de distribución de hormigón que, partiendo de la anterior central, sea capaz de llegar a cualquier punto de la obra. Por lo demás, hasta complementar la organización con unas brigadas de campo dotadas de aquellos elementos (encofrados, vibradores, etc.) que garanticen la puesta en obra a tenor de la calidad alcanzada en el proceso previo.

5. Economía de la solución intermedia.

El examen de algunos proyectos, desarrollado de acuerdo con la antigua Instrucción de acequias, que preconiza el empleo de secciones rectangulares o trapeciales muy robustas, y la

Ingeniero de Caminos D. Rafael López, y que he comparado con las secciones normales de la Instrucción y con las prefabricadas más usuales. En las figuras 2.ª y 3.ª puede apreciarse el aspecto físico de la sección S-4, ejecutada por tramos alternados de 4,50 m. de longitud cada



ACEQUIA	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
SECCIÓN HORMIGÓN (m ²)	0,1207	0,1682	0,2075	0,2837	0,3126
CAUDAL (V=1 m./seg.) (m ³)	0,106	0,197	0,296	0,414	0,503

comparación, un tanto somera, de los costes de las obras ejecutadas con prefabricados, me ha llevado a la comprobación de que la solución intermedia puede representar una economía sensible si se adoptan ciertos diseños, no tan ligeros como los de los prefabricados ni tan robustos como los tradicionales. Sin querer adelantar unas conclusiones demasiado prematuras, me atrevo a afirmar que, hoy por hoy, de las tres soluciones apuntadas, la intermedia puede ser la más económica, haciendo uso, por ejemplo, de las cinco secciones diseñadas (fig. 1.ª) a ese objeto por el

uno. Llamando P a un número proporcional al precio del metro cúbico de la fábrica de hormigón ejecutado por cualquiera de los métodos y V a un número también proporcional al volumen de la misma, necesario para la ejecución del regadío, la economía ha de estar dictada por aquella solución que arroje el número $P \cdot V$ menor.

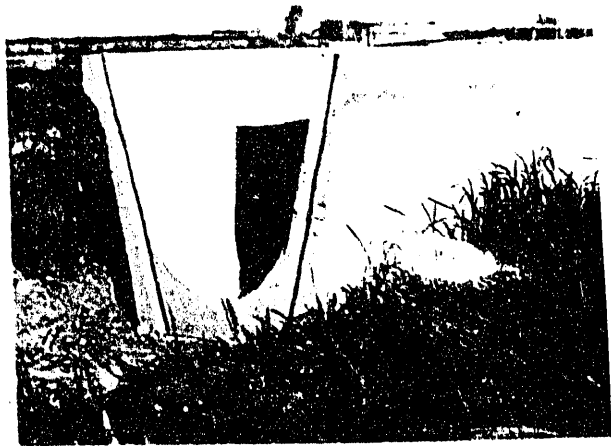
El examen de cuatro proyectos distintos que se han desarrollado por el Estado, a la vista de las dos soluciones actualmente en uso, ha arrojado como término medio las siguientes cifras

Solución	P	V	P × V	%
Manual	1,00	3,60	360	124
Prefabricados	3,20	1,00	3,20	110
Intermedia	2,10	1,40	2,94	100

2



3



4



5



En algunos casos, la economía de la solución intermedia respecto a los prefabricados, ha variado entre el 8 y el 14 por 100; respecto a la de los métodos manuales, ha variado entre 17 y 30 por 100.

6. Plan de trabajo y calendario propios de la solución.

De lo dicho anteriormente se deduce que la posibilidad de llevar a cabo la solución interme-

dia con ciertas garantías de éxito, depende, en gran medida, del plan de trabajo con que se aborda la ejecución de las diversas obras. No es de extrañar que el programa de trabajos, cuyas líneas generales sugiero más adelante, imponga un orden cronológico de ejecución en cierto modo opuesto al que se acostumbra y que antes mencioné. En líneas generales, el orden que a mí me parece más lógico es el siguiente:

- 1.º Movimiento de tierras combinado con las

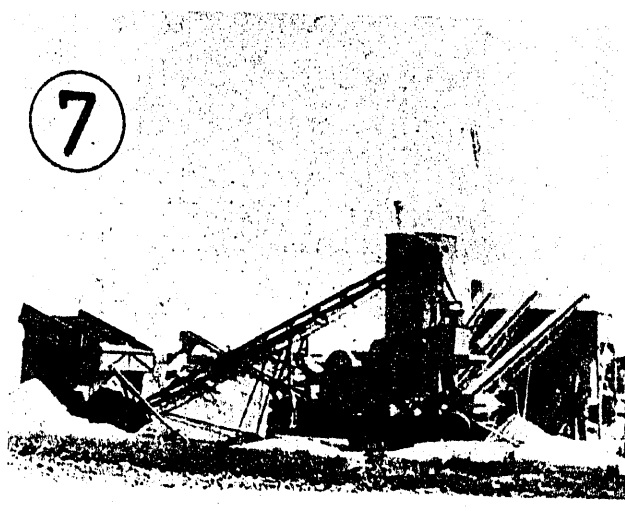
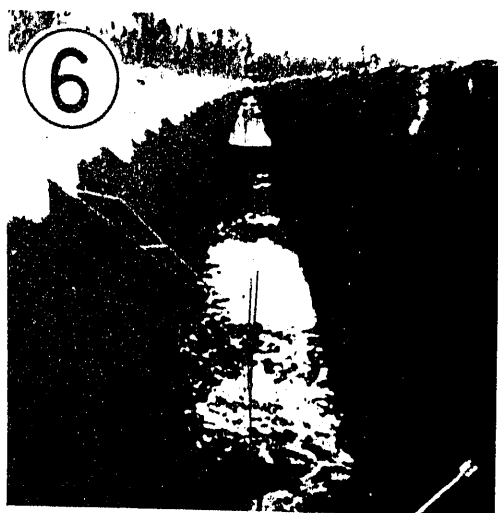
excavaciones de acequias y desagües y el terraplén y explanación de caminos.

2.º Afirmado de caminos y hormigonado de acequias.

3.º Excavación y hormigonado de grandes canales.

En ciertas obras, los desagües de las diversas vías hidráulicas se suelen trazar paralelos a las grandes acequias y separados unos 10 ó 12 m. los ejes de ambas obras. Aun cuando en muchos proyectos se definen las banquetas que se deben constituir con los productos de la excavación, no es costumbre aprovechar estos productos para constituir entre las acequias y los desagües una

que, en definitiva, no sirven para soportar ninguna clase de tráfico. La única operación que viene a incrementar el coste de la operación única y de la construcción de la plataforma para tráfico, es la consolidación de los productos de la excavación; pero ese mayor coste está plenamente justificado si se piensa en la utilidad de unas plataformas que corren a lo largo de las pequeñas vías hidráulicas y que mejoran de manera evidente la estética y el acabado final del conjunto de la obra. En las fotografías 5.ª y 6.ª se pueden observar ciertos desagües ejecutados de acuerdo con un proyecto en el que no se ha previsto ninguna clase de operación ni tra-



plataforma que, debidamente consolidada y tratada, puede, sin necesidad de afirmado, soportar un cierto tráfico; pero si así se quiere, también dicha plataforma puede complementarse con una capa de afirmado, a fin de constituir un camino de mejor calidad. Como quiera que sea, se puede, y a nuestro entender se debe, abordar la ejecución de una unidad de movimiento de tierras, constituida por acequias-plataforma consolidada-desagüe, tal como se observa, por ejemplo, en la fotografía de la figura 4.ª, tomada en unas obras actualmente en curso en el páramo leonés durante la fase de la extensión de los productos sobrantes. Teniendo la precaución de depositar los productos de las excavaciones de la acequia y el desagüe dentro de la franja que las separa, esta operación no es muy diferente ni mucho más costosa que la ejecución de unas banquetas

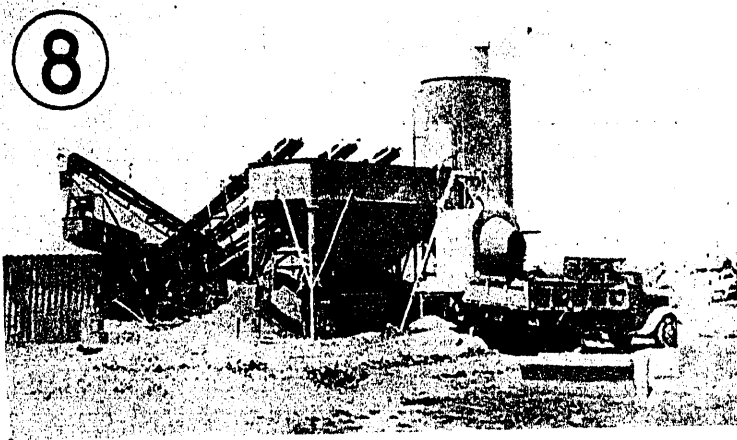
tamiento de los productos de la excavación, que se depositan de una manera desordenada y anárquica a ambos lados del cauce, no sólo poniendo en peligro la estabilidad y conservación del mismo por los posibles corrimientos, sino introduciendo una barrera para el acceso a ellos.

Con simultaneidad a la ejecución de la banda acequia-plataforma-desagüe, se deben ejecutar los movimientos de tierras de aquellos caminos que constituyen por sí mismos una unidad independiente de las vías hidráulicas. La ejecución de la infraestructura de tales caminos puede suponer, durante los meses cálidos, una gran facilidad para el transporte y los movimientos diversos en el seno de la obra, aun cuando no se haya ejecutado la base de macadam; ésta, como queda indicado en el orden anterior, puede llevarse a cabo al mismo tiempo que el hormigo-

nado de las acequias, si se adoptan para éstas ciertos diseños que no permiten la utilización de árido grueso. Esta simultaneidad está en gran medida impuesta por la necesidad de aprovechar racionalmente los áridos procedentes de graveras, que acostumbran a tener una volumetría muy cerrada y una mayor o menor proporción de árido grueso, que para su empleo en obra ha de ser reducido de tamaño mediante machaqueo. Si en la estación de machaqueo y clasificación, aneja a la central de hormigonado, éstos se clasifican en un número de tamaños determi-

7. Resultados prácticos.

Las consideraciones expuestas anteriormente se han llevado parcialmente a la práctica en ciertas obras construídas para la Confederación Hidrográfica del Duero y situadas en el páramo leonés. Desde un principio se tomaron en consideración las ventajas introducidas en la zona por las obras implícitas en los diversos proyectos y se abordó la construcción con el abandono de los métodos manuales y con la implantación de una central de hormigonado con clasificación de áridos en 3 tamaños y dosificación ponderal

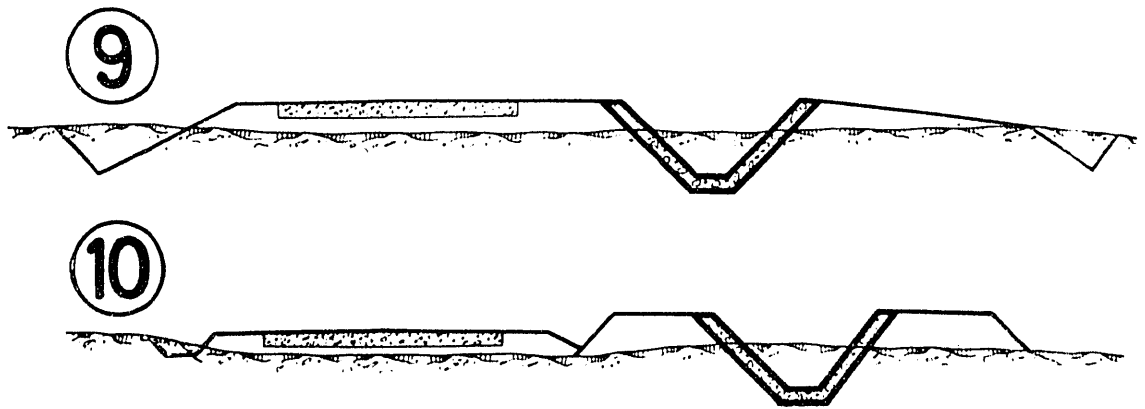


nado, suele ocurrir que el mayor de ellos viene a coincidir con el huso apropiado para el afirmado de los caminos, y en cambio, pueden no ser utilizables en el hormigonado de los elementos de poco espesor. De aquí que la utilización completa de los tamaños procedentes de la estación de clasificación exija, o bien el empleo de todos los tamaños en la fabricación del hormigón, o bien el empleo del mayor en los caminos y los restantes en el hormigón. En cualquier caso, tanto el afirmado de los caminos como el hormigonado de las acequias, acostumbran a ser las unidades más laboriosas de cuantas se incluyen en estos proyectos, y es una razón más para iniciar su ejecución desde los primeros momentos.

A continuación debe ejecutarse los movimientos de tierra propios de los grandes canales y el hormigonado del revestimiento de los mismos con el empleo de áridos de todos los tamaños.

(fotografías de las figs. 7.^a y 8.^a), que se situó en el centro de gravedad de una red de canales y acequias.

La necesidad de hacer accesible la mayor parte de la obra a los vehículos que habían de transportar el hormigón, indujo al Servicio a introducir en el movimiento de tierra de los diversos elementos las modificaciones de que antes hablábamos y que vinieron a reducirse en la ejecución de unas unidades combinadas de aspecto más robusto y acabado que los convencionales. A la vista del resultado que la compactación y el tratamiento de las banquetas formadas con productos de excavación proporcionaban al aspecto exterior y la compacidad de la obra, se vino incluso a introducir ciertas mejoras en la ejecución de las banquetas de los canales, que en comparación con las de desagües y acequias habían quedado defectuosamente ejecutadas. En efecto, se trataba, por lo

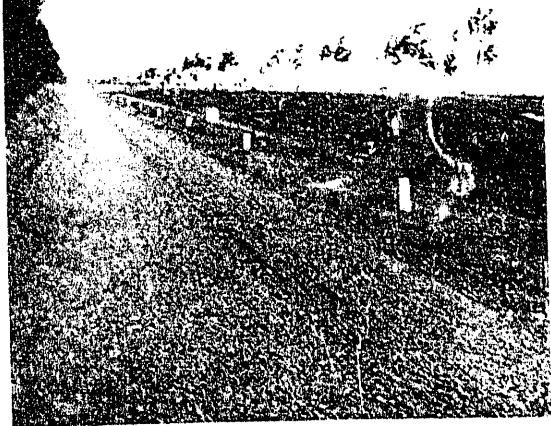


general, de canales de sección trapezoidal, cuya excavación arroja una volumetría que oscila entre 1 y 2,5 m.³ m.l., que se acompañan a todo lo largo de su traza de un camino de servicio paralelo a él de 5 m. de anchura de afirmado. En el Proyecto primitivo, camino y canal, a pesar de ser adyacentes, mantienen su propia personalidad, definida en cada trozo por todos los documentos pertinentes del Proyecto; cada uno de los cuales tiene su sección transversal propia, su perfil longitudinal, su movimiento de tierras y su presupuesto independiente. Se trataba de un canal, casi todo él empotrado en el terreno, que se apoya en dos banquetas laterales de 1,50 m. de anchura en los puntos bajos del mismo. El camino se constituía con una plataforma de tierras de 20 cm. de espesor mínimo, un ancho de afirmado de 5 m. y

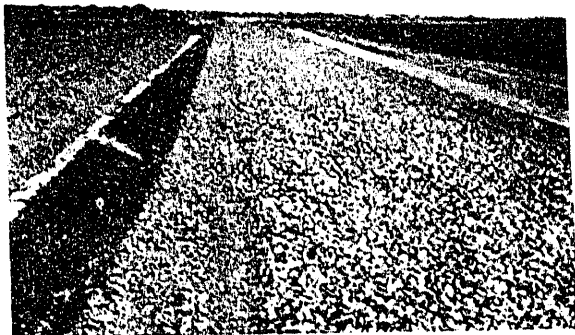
dos pasos laterales de 1 m. cada uno. Pero a la vista de las circunstancias anteriormente mencionadas, el Servicio decidió imponer una sección, en cierto modo única, que solidariza el canal y el camino sobre la base de hacer un solo movimiento de tierras. En la figura 9.^a se esquematiza la solución adoptada en contraposición con la solución antigua representada en la figura 10. En la primera, todos los elementos constituídos con tierra son fácilmente ejecutables y compactables y se logra constituir una unidad cuneta-camino-canal-banqueta que se separa manifiestamente del terreno y en el que las diversas unidades (terraplenes y excavaciones) se compenetran entre sí para formar una unidad de orden superior que la que el camino y el canal constituyen por separado. El resultado se puede observar en las fotogra-



13



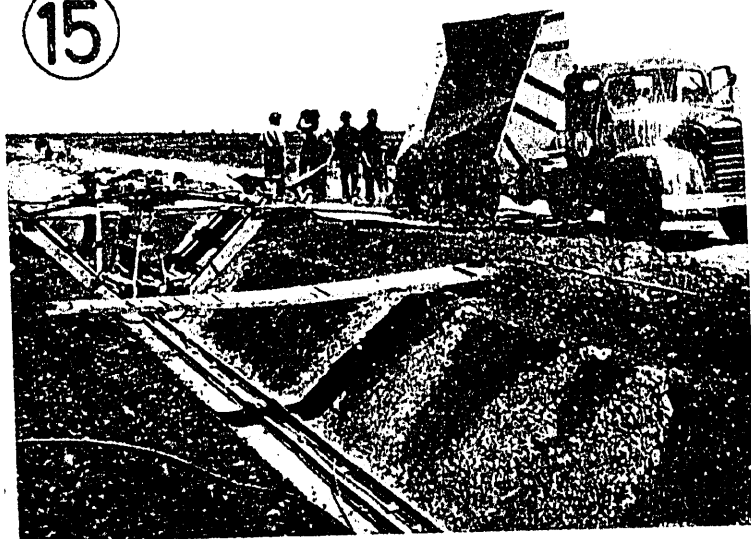
14



nas de las figuras 11 y 12. La primera representa un canal construido hace tres años y cuya estabilidad está en definitiva fiada a dos banquetas laterales que por su estrechez no pueden ser debidamente compactadas. En la fotografía 12 se puede observar la conformación total de una estructura en la que todos sus elementos pueden ser ejecutados y compactados con las grandes máquinas con que hoy se puede contar. El resultado de tal innovación radica tanto en la facilidad constructiva como

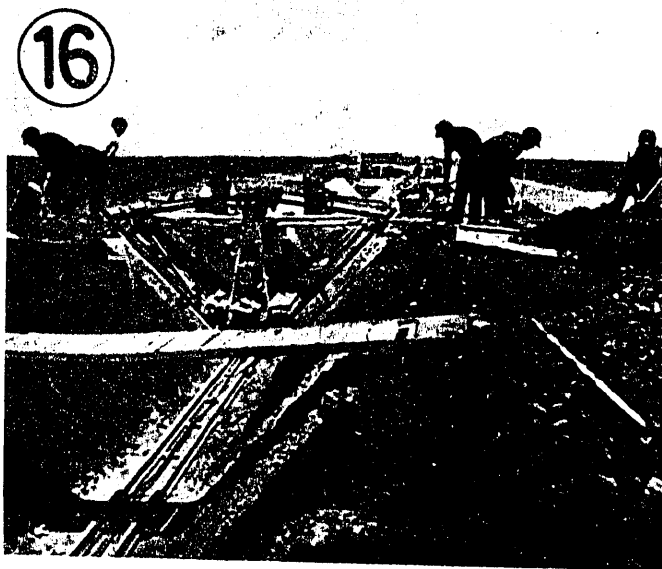
en la ulterior conservación. En las figuras 11 y 13 se pueden observar el estado de un canal y de un camino construido hace pocos años, de acuerdo con las secciones y sistemas convencionales. Las banquetas de los canales representan una constante amenaza a la limpieza de éstos, las cumetas se demuestran insuficientes, la vegetación y el terreno van poco a poco invadiendo una obra muy costosa, que para su mejor conservación debe destacarse decididamente del suelo para inmunizarla y defenderla de la inva-

15



sión de la naturaleza. En la fotografía 14 se muestra la ejecución de la figura 9.^a y la forma en que la obra del hombre se destaca decididamente del terreno natural. Si se piensa que aún cuando el movimiento de tierras de esa única unidad preconizada en la figura 9.^a puede alcanzar mayores proporciones que las del canal y el camino por sepa-

figura 16, la misma brigada equipada con dos vibradores portátiles y un encofrado metálico que se desliza sobre vía armada, procede a la colocación del hormigón; en la figura 17, una vez colocado el paño completo de revestimiento, se procede a la traslación del encofrado mediante un *crick* de tracción que arrastra aquél. Con elementos tan sencillos destacados



rado, pero puede en contraste ejecutarse, mediante un único equipo, por una sola operación combinada, debe reconocerse que no sólo la posible carestía puede estar plenamente justificada, sino que estamos muy lejos de hablar de mayores costos, cuando lo que se trata es de modernizar ciertos diseños anticuados a fin de adecuarlos a las posibilidades que hoy ofrecen los actuales equipos y sistemas de construcción. En las fotografías 15, 16 y 17 se sintetiza el proceso de construcción del revestimiento del canal de la figura 12 en tres fases distintas. En la figura 15, la brigada de campo, constituida por seis hombres, recibe el camión de hormigón procedente de la central; en la

en el campo, se ha alcanzado en ese trabajo un rendimiento diario que oscila entre 30 y 40 metros de canal totalmente revestido y terminado.

En las obras mencionadas que actualmente están en curso de ejecución, se están desarrollando ensayos de toda índole sobre todos y cada uno de los elementos de que constan estos regadíos, y que, a nuestro entender, pueden desembocar en la implantación de una serie de procedimientos no difíciles de conseguir, si se abandona cierto espíritu conservador que no favorece ciertamente a la construcción de este tipo de obras.