

LA EXPERIENCIA ESPAÑOLA EN LA CONSTRUCCION DE CANALES PRODUCE UNA NUEVA TECNICA

Por MANUEL BARRAGAN SEBASTIAN
y JOSE LUIS SAENZ DE ORTURI
Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Se dedica el presente artículo a exponer las ventajas que, a juicio del autor, presenta la sección circular en los canales, anunciando al final futuras informaciones sobre la nueva técnica de construcción de canales, con los resultados de los ensayos realizados de resistencia e impermeabilidad.

I. Ya es posible utilizar económicamente las ventajas de las secciones circulares.

Es muy importante la fracción del capital nacional que se invierte en la construcción de cauces artificiales para la conducción de aguas destinadas al riego de zonas promocionadas hacia una agricultura intensiva y moderna, por una política de intención profundamente social.

Elevar el nivel de base, administrar la anárquica aportación y desviar el ahorro de caudal hacia una red piezométrica útil, es una indiscutible creación de riqueza, independientemente del partido que de ella sepamos obtener.

Pero la técnica puesta a disposición del proyectista y del constructor ha perdido sincronismo con las exigencias que debía satisfacer.

La fórmula general empleada para el dimensionado de espesores ya fijada la sección hidráulica, ha sido aquella que sirve para todo: "¿Qué menos que A y por qué más que A?".

El frente de avance va en la adopción del talud 1,5/1 y en aumentar la anchura de la solera para hacerla accesible a la excavación por máquinas de empuje y arrastre.

Por supuesto que basta alejarse unos cientos de metros a lo largo de la traza de un canal para invalidar los resultados de un análisis del suelo o dejar pasar el verano, o ponerlo en carga. El terreno no se somete a una etiqueta con facilidad. El ángulo de rozamiento interno, la cohesión, la expansión, la solubilidad, son instantáneas de una molécula sorprendida en su alegre e irresponsable movimiento browniano.

Sin embargo, la Naturaleza nos ha hecho un guiño prometedor, nos facilitó una pista para que no cediéramos, vencidos en el intento de someterla a nuestras intenciones.

Al construir un canal creamos un desnivel en el terreno con una forma determinada y cuya superficie quisiéramos que fuera lisa e impermeable. Nos vemos conducidos a separar el agua del terreno y a introducir una capa aislante artificial. Es lo que llamamos revestimiento.

Podemos elegir entre revestimientos flexibles o rígidos, delgados o autorresistentes.

Los flexibles aspiran a garantizar la impermeabilidad a costa de la forma de la sección; los rígidos y delgados corren un riesgo cierto de garantizar la forma de la sección a costa de la impermeabilidad, pues suelen agrietarse al ser incapaces de

sufrir las flexiones que les piden los empujes; los autorresistentes son indiferentes al terreno, pero voluminosos y caros.

Ahora bien, si el terreno no respeta la forma que hemos dado al desnivel entre solera y banqueta y busca un nuevo equilibrio, la Naturaleza nos demuestra que este equilibrio está cerca de una superficie cilíndrica de directriz circular.

Por otra parte, el cálculo destaca las secciones circulares como deseables hidráulicamente. El Centro de Estudios Hidrográficos sólo se detiene ante las dificultades de construcción para recomendarlas.

Las secciones circulares se han visto relegadas a las pequeñas dimensiones compatibles con la prefabricación o a las conducciones cerradas, a los tubos.

Sin embargo, la experiencia obtenida en la construcción de varias centenas de kilómetros de canales de diversos tipos, nos ha permitido poner en marcha un método constructivo y diseñar el equipo necesario para construir canales con secciones circulares, sin que se vea, por el momento, limitación de tamaño.

Hasta ahora sólo se han ejecutado revestimientos con hormigón de cemento, aunque también se piense en los hormigones negros que podrían tener ventajas en algunos casos. La calidad del hormigón, vibrado a presión y perfilado con un encofrado móvil, la finura de terminación, son claramente superiores a cuanto conocemos.

Con este motivo se han hecho unos estudios comparativos de las distintas secciones circulares obtenidas, variando el ángulo en el centro de los segmentos mojados con las secciones trapeziales óptimas desde el punto de vista hidráulico (talud igual a la semianchura de la lámina) y diversos taludes.

Sus resultados se exponen a continuación y en otras notas que sucesivamente aparecerán en la Revista.

II. Ventajas hidráulicas y geométricas de las secciones circulares.

Las tablas siguientes proporcionan los números que miden en forma de relaciones las ventajas que ofrecen las secciones circulares en los siguientes supuestos:

a) Igualdad de pendiente.

b) Igualdad de coeficiente de rozamiento del agua con el revestimiento. La finura de terminación del paramento conseguida con las nuevas máquinas permitiendo calcular con menores rozamientos.

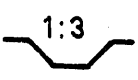
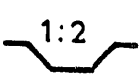
c) No se tiene en cuenta el resguardo a ningún efecto, ya que su influencia en las relaciones es muy pequeña y, además, no guarda proporcionalidad. Se comprueba que la mayor pendiente con que coronar las secciones circulares aumenta el poder de reflexión del oleaje.

Supuesto que los datos base para el proyecto de un canal son: el caudal definido por la superficie regable dominada y la dotación específica, y la pendiente determinada por las características topográficas, interesa igualar los caudales. Entonces resulta la tabla 2, que mide las economías alcanzables en la excavación de la caja.

La superficie de revestimiento viene medida en unidad de longitud por el perímetro mojado.

La tabla 3 proporciona las relaciones respectivas. Estos índices miden también la economía en volumen de revestimiento a igualdad de espesor.

TABLA 1. — *Relación entre caudales que circular para igual sección por canales de directriz circular y de sección trapecial más hidráulica. (Según Gauckler-Stickler.)*

					
	1.394	1.263	1.195	1.146	1.180
	1.278	1.158	1.088	1.051	1.082
	1.261	1.142	1.081	1.036	1.067
	1.228	1.112	1.053	1.009	1.040

La anchura del canal mide la superficie ocupada, que se ha de expropiar, y en muchos casos supone una pérdida de superficie regable. Por otra parte puede considerarse proporcional al volumen de explanación necesario para obtener el nivel de banqueta. Veamos la tabla 4.

En el caso de la sección rectangular la anchura ocupada se ha aumentado en los dos tercios de la altura para tener en cuenta el espesor de los muros autorresistentes en la base, prescindiendo del espesor en coronación.

TABLA 2. — *Relación entre sección para igual caudal.*

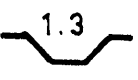
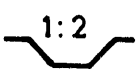
					
	1.28	1.19	1.14	1.11	1.13
	1.21	1.11	1.07	1.04	1.06
	1.19	1.11	1.06	1.02	1.05
	1.17	1.10	1.04	1.004	1.03

TABLA 3. — *Relación de perímetros a igualdad de caudal entre secciones trapeciales y de directriz circular.*

	1:3	1:2	1:1.5	1:1	
	1,647	1,370	1,239	1,197	1,200
	1,593	1,313	1,190	1,093	1,154
	1,549	1,286	1,160	1,060	1,125
	1,481	1,237	1,108	1,014	1,073

Para contribuir a aclarar las ideas y dar un indicio sobre el orden de magnitud de las economías que pueden conseguirse con el empleo de las secciones circulares, se considera el ejemplo siguiente:

Un canal de sección trapecial, talud 1/1, tiene una sección de 20 m.², una explotación media de 10 m.³/ml. y un espesor de revestimiento de hormigón de 0,15 metros.

Por ser la sección más hidráulica, el volumen de revestimiento será:

$$V_{\text{r}} = 2,7043 \sqrt{20} \times 0,15 = 1,815 \text{ m.}^3/\text{ml.}$$

TABLA 4. — *Relación entre anchuras a nivel de agua para igual sección.*

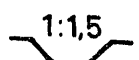
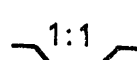
	1:3	1:2	1:1.5	1:1	
	2,171	1,781	1,585	1,305	1,181
	1,948	1,599	1,425	1,170	1,059
	1,753	1,435	1,277	1,042	0,952
	1,570	1,285	1,142	0,943	0,854

Si suponemos que la excavación en caja se abona a 50 ptas./m.³, la explanación a 30 ptas./m.³ y el hormigón en revestimiento a 800 ptas./m.³, el presupuesto del metro lineal del canal será:

$$1,815 \times 800 + 20 \times 50 + 10 \times 30 = 2.752 \text{ ptas.}$$

Entonces la excavación en caja será el 36,3 por 100, la explanación el 11 por 100 y el revestimiento el 52,7 por 100. Si admitimos que esta distribución en porcentajes es válida para todas las secciones comparadas, las economías que se obtendrían eligiendo secciones circulares figuran en la tabla siguiente:

TABLA 5. — *Economías aproximadas globales.*

				
	35,23%	25,10 %	18,75 %	14,85 %
	31,2 %	20,43%	14,15 %	7,5 %
	29,21%	18,55%	11,58 %	4,62%
	26,43%	15,88 %	7,86%	0,2 %

Adviértase que no se incluye en esta comparación la sección rectangular. Es acostumbrado proyectar secciones rectangulares en los dos casos siguientes:

a) La lámina de agua ha de discurrir elevada sobre el nivel del terreno. La experiencia, en forma de fracasos, con arrastres de material, rotura de revestimiento e inundaciones, ha aconsejado hasta ahora huir de los terraplenes como soportes de canal; han resultado estructuras débiles de rápida vejez. En consecuencia, se ha recurrido a dimensionar el canal a base de cajeros autorresistentes con una anchura mínima de 30 cm. en coronación, muy frecuentemente con 50 cm. y un espesor en base un tercio de la altura mayor llegando a volúmenes muy importantes de hormigón y a elevados costes por metro lineal de canal.

b) La naturaleza del terreno es mala y hace tener empujes muy importantes sobre los revestimientos. Se recurre a los cajeros autorresistentes, al empuje hidráulico de dentro a fuera y al del terreno de fuera adentro, elevando lo más posible la rasante de solera con relación al terreno. A veces se llega a mantener la sección trapecial proyectada macizando hasta la vertical el trasdós del revestimiento con hormigón de baja riqueza en cemento.

Suponiendo unas condiciones medias, la economía que puede obtenerse em-

pleando secciones circulares en sustitución de las rectangulares es muy importante. Conviene en este caso tomar en consideración, que los terraplenes, ejecutados con los métodos y los medios hoy en día generalizados y perfectamente sometidos a control, están muy lejos de ser las débiles estructuras de las que se ha huido con razón más que suficiente, cuando se construían por el procedimiento de "tente miera tras cobro". Más adelante demostraremos que las economías que pueden producirse con toda garantía son sumamente importantes.

Supongamos un caso concreto: la figura 1.^a muestra una sección tipo rectangular frecuente. La figura 2.^a una sección circular que puede sustituirla.

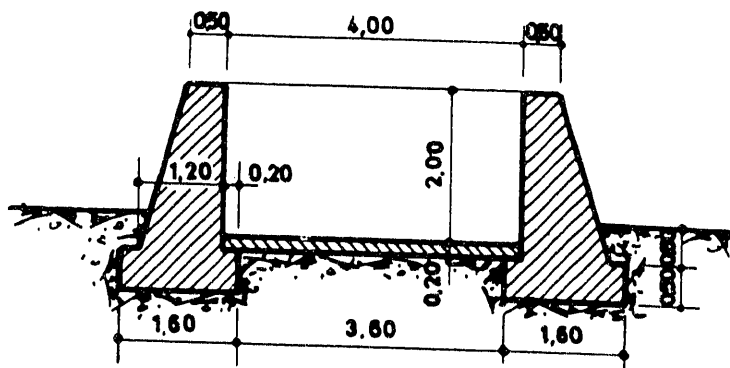


Figura 1.^a.

Sección hidráulica: $S = 2 \times 4 = 8 \text{ m}^2$.

Volumen de hormigón por metro lineal:

$$\text{Solera: } 4 \times 0,2 = 0,800 \text{ m}^3.$$

$$\text{Cajeros: } 2 \left(\frac{0,50 + 1,20}{2} \times 2,20 + 1,60 \times 0,50 \right) = 5,34;$$

$$S_h = 0,8 + 5,34 = 6,14 \text{ m}^3/\text{ml}.$$

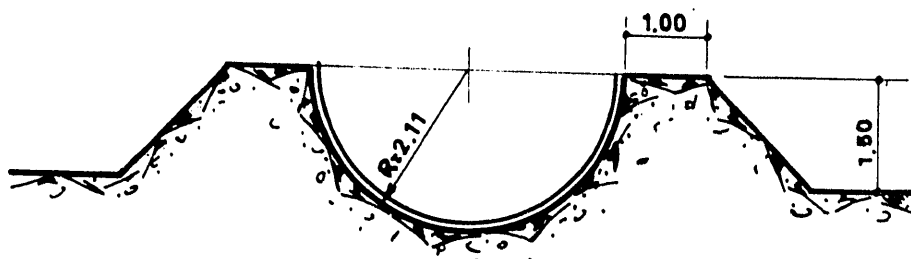


Figura 2.^a.

Excavación:

$$S_l = 0,50 (4 + 2 \times 1,20 + 2 \times 0,20) + 2 \times 1,60 \times 0,50 = 3,40 + 1,60 = 5 \text{ m}^3/\text{ml}.$$

Su presupuesto por metro lineal podría ser:

$$P = 5 \times 50 + 6,14 \times 800 = 250 + 4 912 = 5 162 \text{ ptas.}$$

La sección semicircular de caudal equivalente será (tabla 2):

$$S = \frac{8}{1,13} \sim 7 \text{ m.}^2 \quad R = \sqrt{\frac{7 \times 2}{\pi}} 2,11 \text{ m.}$$

Calculemos su presupuesto:

Terraplén, con banquetas de 1,00 m. y talud exterior 1/1.5.

Revestimiento de 0,15 m. de espesor:

$$V_t = \frac{(2,00 + 4,22 + 0,30) \times 2,5}{2} \times 1,5 = 12,70 \text{ m.}^3/\text{ml.}$$

Excavación de caja 7 m.²/ml.

Revestimiento:

$$V_h = \pi \times 2,11 \times 0,15 = 0,994 \text{ m.}^3/\text{ml.}$$

El terraplén con material selecto, tomado de préstamos, puede tener un precio de 160 ptas./m.³ medido sobre perfil final.

$$P = 12,70 \times 160 + 7 \times 50 + 0,994 \times 800 = 3\,177 \text{ ptas./ml.}$$

La economía, a igualdad de precio en el hormigón, resultaría:

$$\frac{5\,162 - 3\,177}{5\,162} = \frac{1\,985}{5\,162} = 38,5 \%$$

Como se ve, puede abonarse una ejecución cuidadosa y garantizada del terraplén, incluso a base de materiales selectos.

En sucesivas notas suministraremos datos demostrativos de las ventajas que la resistencia de firme proporciona a las secciones circulares y, finalmente, resultados de ensayos de resistencia e impermeabilidad de las unidades de obra producidas con la nueva técnica de construcción de canales.