

El manejo de la vegetación ribereña y sus efectos hidráulicos

The management of riverine vegetation and its effect on water flow

Manuel Cayuela López. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Departamento de Recursos Hídricos. Marchfeldkanal Betriebsgesellschaft. manuel.cayuela@marchfeldkanal.at

Harald Weyermayr. Ingeniero Civil, MBA

Director Departamento de Recursos Hídricos. Marchfeldkanal Betriebsgesellschaft. harald.weyermayr@marchfeldkanal.at

Resumen: En este estudio se pretende comprobar el efecto sobre la capacidad hidráulica del cauce de distintos tipos de manejo de las formaciones riparias, teniendo siempre en consideración los parámetros ambientales contemplados en la Directiva Marco del Agua.

Se comprueba el aumento de la capacidad hidráulica mediante distintos tratamientos como aclareos, talas a matarrasa, siega del carrizal y poda de ramas de crecimiento horizontal. De este modo se establecen una serie de recomendaciones para el manejo de la vegetación ribereña y se obtienen una serie de valores de rugosidad para las diferentes formaciones en cauces de características equivalentes.

Palabras Clave: Manejo vegetación; Capacidad hidráulica; Cauces

Abstract: The aim of this project is to define the effects of different riverine vegetation management programmes on the hydraulic capacity of natural or restored channels, when made in accordance with the ecological parameters established in the Water Framework Directive.

Increased water flows have resulted from various treatments such as thinning, cutting, reedbed clearing and the pruning of branches with horizontal growth. The article provides a series of recommendations for the management of riverside vegetation and gives a series of roughness values for different formations in channels of equivalent characteristics.

Keywords: Vegetation control; Water flow; channels

1. Introducción

De cara al cumplimiento de la Directiva Marco del Agua se plantea la problemática de gestionar los cauces naturales o rehabilitados en tramos con un alto riesgo de inundación. En estos casos se hace inevitable el control de la vegetación ribereña y la búsqueda de un compromiso entre los parámetros ambientales y los hidráulicos.

Por encargo del departamento de obras hidráulicas de la Administración del estado de la Baja Austria (Austria) la empresa Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal llevó a cabo el estudio del efecto de los distintos tipos de manejo de la vegetación, así como la obtención de una serie de parámetros de rugosidad de la misma que pudieran ser aplicables a zonas equivalentes de la región. Pretende ser por lo tanto una herramienta a la ho-

ra de establecer planes de gestión de cauces rehabilitados o a rehabilitar allí donde la reducida disponibilidad de espacio (tramos urbanos por ejemplo) impide llevar a cabo una restauración fluvial en el sentido estricto de la palabra.

El Russbach es un cauce restaurado que recibe gran parte de su caudal del Marchfeldkanal, que comunica directamente con el río Danubio. A través de una serie de compuertas se puede regular el caudal del canal y, en definitiva, del Russbach. Este sistema se creó para el abastecimiento de los campos de regadío adyacentes, mediante bombeo directo desde el cauce, y para el abastecimiento de las tres plantas de recarga de acuíferos situadas en la región del Marchfeld. Aunque se trate de un sistema artificial, otro de los objetivos de la obra fue crear un corredor ecológico que vertebrara una zona afectada por una agricultura muy intensiva,

Tabla 1. Tramos y secciones asociadas del area de estudio

Tramo	Long. (km)	Secciones	Descripción
R1	2,72	W1, Q1, W2	meandriforme, orillas cubiertas por sauces (> 50%), ramas horizontales sobre la superficie
R2	1,35	Q2, W3	recto, orilla derecha con sauces y ramas horizontales, orilla izquierda con matorrales y vegetación herbácea
R3	1,04	Q3, W4	recto, carrizos y matorrales aislados
R4	1,69	Q4, Q5	recto, alternancia de carrizos y sauces con ramas horizontales sobre la superficie
R5	1,88	Q6, W7, Q7	meandriforme, gran variedad de vegetación con ramas horizontales sobre la superficie en la orilla derecha

recurriendo para ello a la ingeniería biológica a la hora de configurar los cauces.

2. Metodología

Para el presente estudio se definieron a lo largo del cauce distintos tramos representativos en función de su morfología y tipo de vegetación. Las mediciones tuvieron lugar para distintos caudales en secciones determinadas dentro de cada tramo. A partir de éstas se obtuvieron los distintos parámetros hidráulicos.

En el año 2004 se comienza haciendo un inventario de vegetación de los distintos tramos, para posteriormente llevar a cabo una serie de trabajos de limpieza.

A partir de los resultados de los cálculos hidráulicos y de la información referente al desarrollo de la vegetación se pretende obtener conclusiones sobre el efecto de los distintos tipos de manejo de la vegetación sobre la capacidad hidráulica del Russbach.

1.1. Estructuración de la zona de estudio

La zona del cauce estudiada tiene una longitud aproximada de 23,5 km y fue dividido en 5 tramos en base a criterios hidráulicos, morfológicos y de estructura de la vegetación (ver Tabla 1).

En cada tramo se pueden encontrar los siguientes tipos de secciones:

- Puentes (medición de caudal y cota de la lámina de agua)
- Secciones Q (medición de caudal y cota de la lámina de agua)
- Secciones W (medición de la cota de la lámina de agua)

1.2. Mediciones hidráulicas

Las mediciones de caudal y de la cota de la lámina de agua se realizaron para distintos caudales. El caudal del Russbach se fue aumentado de forma escalonada para intentar recoger los valores de 6 m³/s y 10 m³/s. Los ensayos se completaron con una medición de la cota de la lámina de agua para un caudal de 8 m³/s.

Para la obtención del caudal en los distintos perfiles se midió la velocidad del agua a lo largo de la sección a distintas profundidades mediante un sensor electro-magnético (FLO-MATE). De esta manera se obtiene también el perfil de velocidades y la geometría de la sección, así como los límites de la vegetación.

Antes del comienzo del proyecto se midieron caudales y cotas de la lámina de agua en los distintos puentes para caudales próximos a los 10 m³/s en los años 2002 y 2003. Estos valores resultarán muy útiles para determinar el efecto de la limpieza radical de las orillas en tramo (Leopoldsdorf) durante el invierno de 2003/2004.

1.3. Cálculos hidráulicos

Para cada perfil se calculo la rugosidad del fondo y la rugosidad de las superficies de contacto entre la masa vegetación de la orilla y el cauce libre de vegetación. Esta se expresa como rugosidad absoluta o mediante el coeficiente de Strickler.

Los cálculos se realizaron con ayuda de la ley de Darcy-Weisbach:

$$v_m = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{8g \cdot r_{hy} \cdot I}$$

Y la fórmula de Colebrook y White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left(\frac{k_s / r_{hy}}{14,84} \right)$$

La ley de Darcy-Weisbach cuenta con la ventaja de que la rugosidad absoluta es independiente del radio hidráulico y por tanto del calado.

El método de Einstein y Horton relaciona la sección mojada completa con cada uno de sus tramos:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{ges}}} = \sqrt{\sum \frac{l_{u,i}}{l_u} \cdot \lambda_i}$$

Mediante esta regla se puede calcular la rugosidad del fondo $k_{s,so}$ y la de las superficies de contacto $k_{s,T}$. Esta metodología no permite sin embargo diferenciar entre las dos superficies de contacto.

En la Fig.1 se observa el desarrollo de los cálculos. Se obtiene primero $k_{s,so}$ para un caudal de $6 \text{ m}^3/\text{s}$, ya que en esta situación se considera mínimo el efecto de la vegetación sobre el flujo, para más tarde calcular $k_{s,T}$ para la situación de $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

donde:

- v_m velocidad media
- $k_{s,ges}$ rugosidad absoluta de toda la sección
- $k_{s,so}$ rugosidad absoluta del fondo
- $k_{s,T}$ rugosidad absoluta de superficie de contacto
- h_T profundidad de la superficie de contacto
- λ coeficiente de rugosidad
- r_{hy} radio hidráulico
- l pendiente
- A área de la sección
- l_u perímetro mojado

De forma paralela se puede realizar el mismo cálculo con ayuda de la ley de Manning-Strickler:

$$v_m = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

En este caso la fórmula de Einstein y Horton presenta la siguiente estructura:

$$\frac{l_u}{k_{St,ges}^{3/2}} = \sum \frac{l_{u,i}}{k_{St,i}^{3/2}}$$

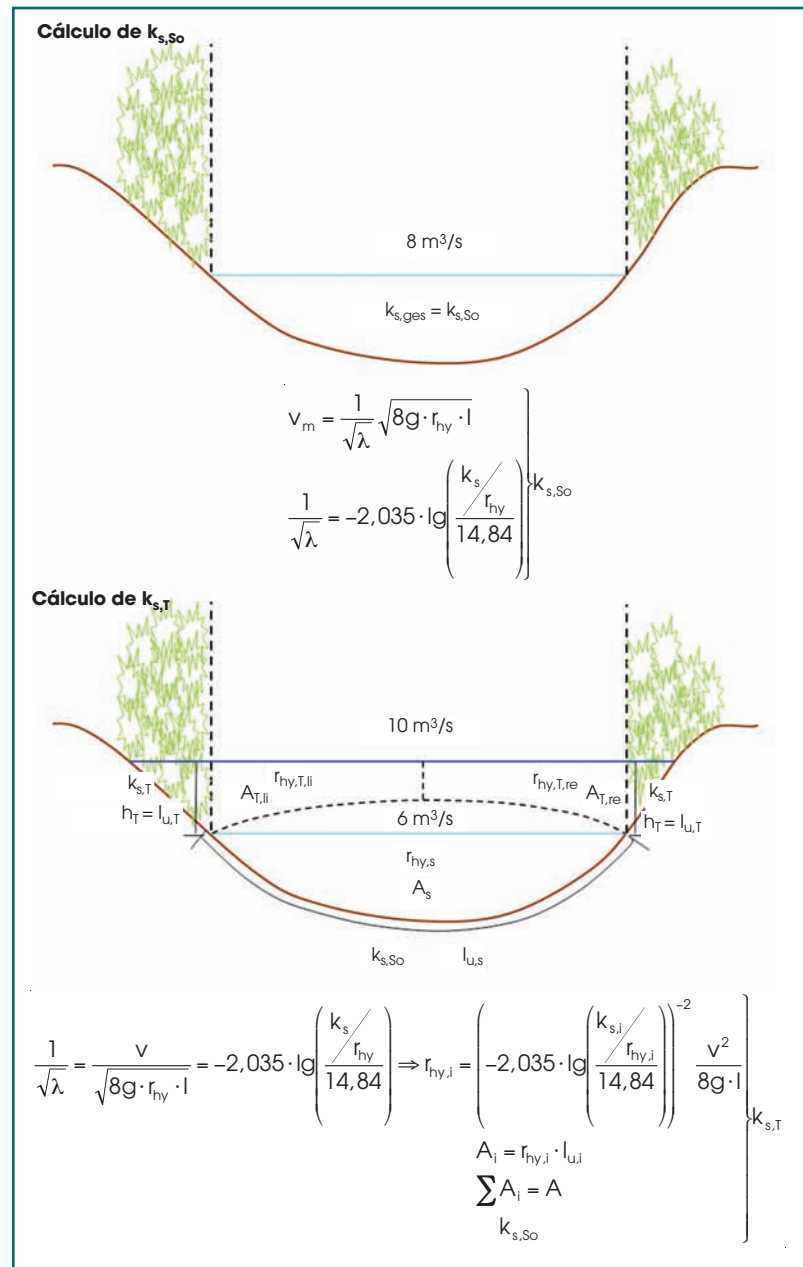


Fig. 1. Esquema del desarrollo del cálculo de las rugosidades absolutas.

Y del mismo modo se calcula el coeficiente de Strickler para el fondo $k_{St,s}$ para un caudal de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ y el de la superficie de contacto $k_{St,T}$ para $10 \text{ m}^3/\text{s}$, como se observa en la Fig. 2.

A la hora de analizar los resultados hay que tener en cuenta que cada sección se ve influida por las condiciones hidráulicas (forma de la sección, rugosidades,...) presentes aguasabajo hasta una determinada longitud. Los resultados obtenidos representan por lo tanto valores medios para un tramo de una determinada longitud.

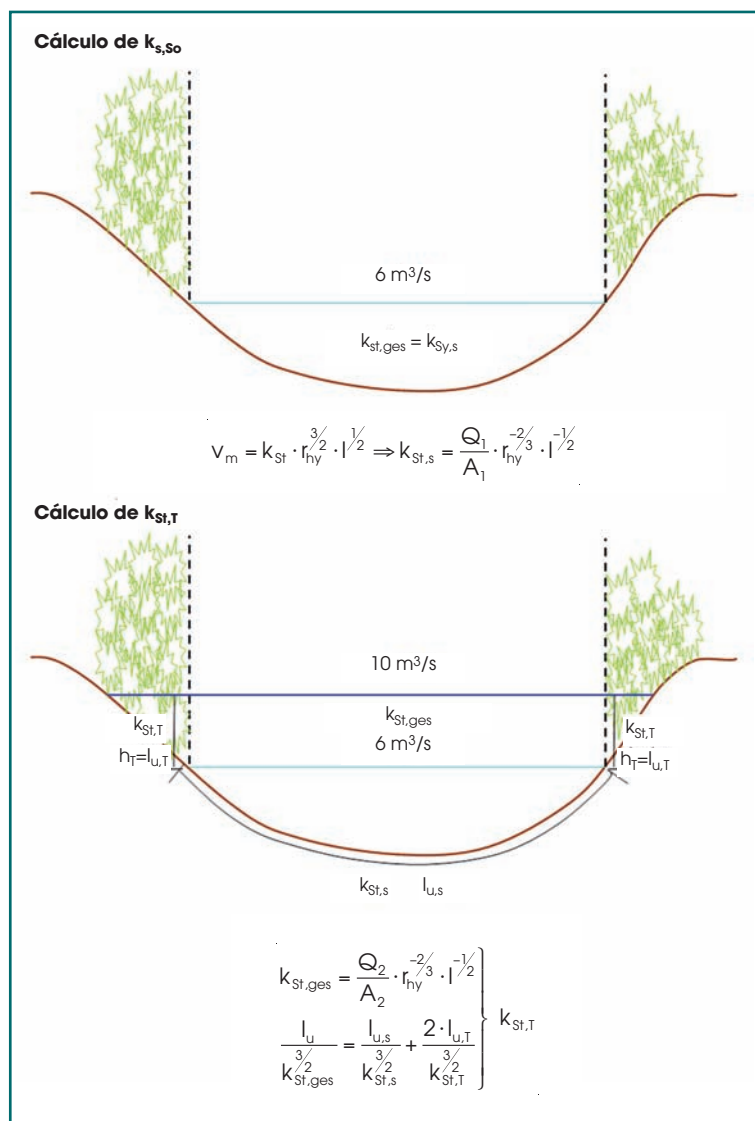


Fig. 2. Esquema del desarrollo del cálculo de los coeficientes de Strickler.

Tabla 2. Cronología de los tratamientos llevados a cabo en el periodo de estudio y en los distintos tramos

Fecha	tramo	manejo
2003/2004	R3 ambas orillas R2 izquierda	Tala de la vegetación arbórea, no acorde con el plan de manejo del proyecto
2004/2005	R1 R4	Acorde al plan de manejo del proyecto
2005/2006	R2 R5	Acorde al plan de manejo del proyecto

La superficies de contacto se situaron en todos los casos verticales y a la altura del borde de la base de la vegetación. De esta manera las ramas de crecimiento horizontal hacia el interior del cauce computan como una rugosidad adicional.

1.4. Control de la vegetación

En otoño de 2004 se llevó a cabo un muestreo de la vegetación del Russbach, diferenciando entre tipo, estructura, edad y la presencia o ausencia de ramas de crecimiento horizontal sobre el cauce. En el cauce se encuentran orillas cubiertas por sauces (*Salix sp.*), vegetación arbórea de otro tipo, vegetación arbustiva, praderas y carrizos. Los sauces a su vez pueden ser de porte arbustivo o arbóreo.

Para registrar los cambios de la vegetación, tanto debido al manejo de la misma como al posterior proceso de sucesión, se llevó a cabo un monitoreo de forma anual. En la Tabla 2 se resumen las operaciones llevadas a cabo en los distintos tramos.



Fig. 3. Sauces (*Salix sp.*) en el tramo R1 con ramas de crecimiento horizontal sobre la superficie del agua. A la derecha, fig. 4. Tramo R1 tras el tratamiento.

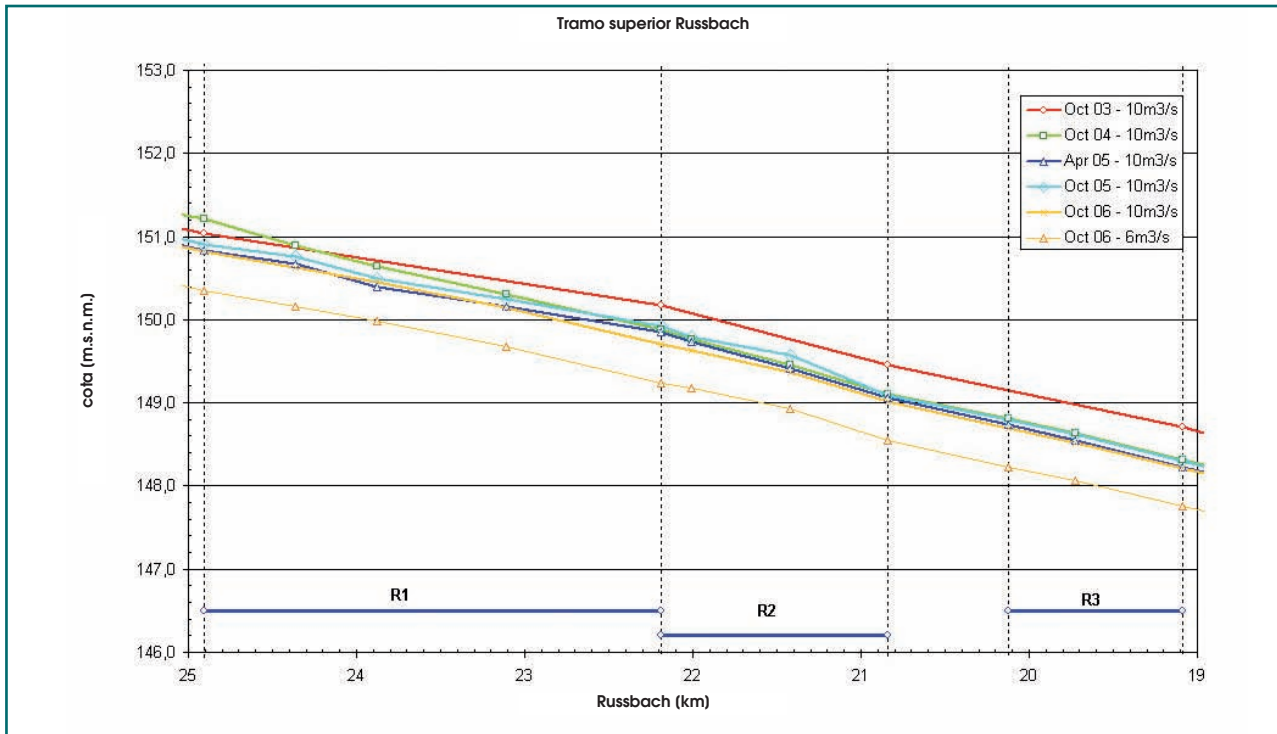


Fig. 5. Efectos de distintos manejos de la vegetación en la cota de la lámina de agua. Tramo superior (Ver cronología de los distintos manejos en los respectivos tramos en Tabla 2).

En el invierno del 2003-2004 se llevaron a cabo los primeros tratamientos. Estos no se llevaron a cabo de forma controlada y supusieron la tala de ambas orillas en el tramo R3 y de la orilla izquierda en R2.

A partir del invierno 2004-2005 se empezaron a llevar a cabo los tratamientos previstos en el proyecto, incluyendo aspectos ambientales además de los puramente hidráulicos. Entre los distintos manejos de la

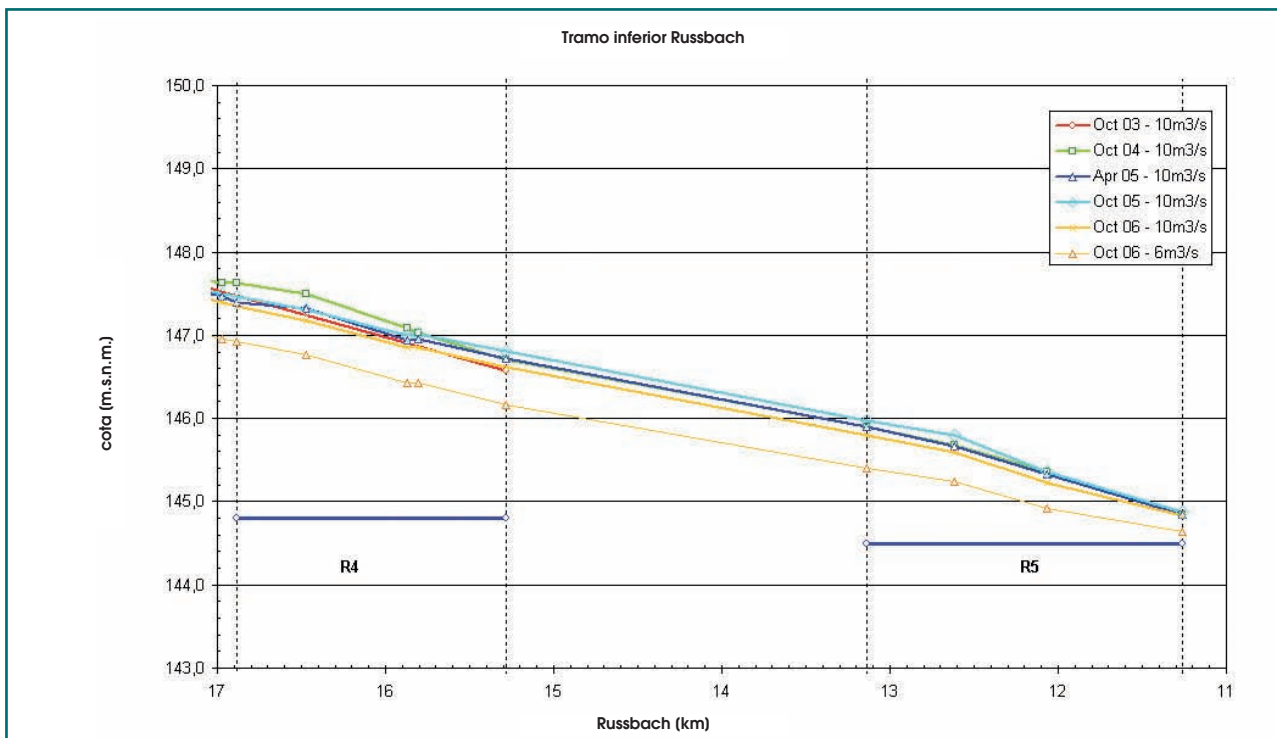


Fig. 6. Efectos de distintos manejos de la vegetación en la cota de la lámina de agua. Tramo inferior (Ver cronología de los distintos manejos en los respectivos tramos en Tabla 2).

Tabla 3. Coeficientes de Strickler antes y después del tratamiento (valores en $m^{1/3}/s$)

	$k_{St,So}$	$k_{St,T}$	$k_{St,ges}$
antes	26-31	8-20	17-25
después	30-38	13-32	25-36

vegetación se incluye el aclareo de las masas arbóreas, rejuvenecimiento de las saucedas, eliminación de ramas de crecimientos horizontal sobre el cauce (ver Fig. 3 y Fig. 4) y siega de praderas y carrizales.

3. Resultados

Las diferencias en la cota de la lámina de agua para un caudal de $10 m^3/s$ muestran los efectos del manejo de la vegetación. El incremento del calado con respecto a $6 m^3/s$ oscila entre 0,9 m (antes del tratamiento) y 0,5 m (tras el manejo) (Ver Fig. 5 y Fig. 6).

Los cambios observados en los coeficientes de Strickler y en la rugosidades absolutas aparecen resumidos en la Tabla 3 y Tabla 4 respectivamente.

Analizando la distribución de velocidades en distintas secciones (por ejemplo la Fig. 7) se puede observar el efecto hidráulico de los distintos tipos de vegetación. Así, las compactas masas de carrizo ac-

Tabla 4. Rugosidades absolutas antes y después del tratamiento (valores en m)

	$K_{s,So}$	$K_{s,T}$
antes	0,19-0,40	1,7-16,9
después	0,08-0,26	0,4-5,8

túan como una barrera impermeable de manera que la velocidad del agua se incrementa rápidamente al alejarnos de la superficie de contacto. Presentan por lo tanto rugosidades más reducidas que la vegetación arbórea, donde el intercambio transversal de impulsos en la superficie de contacto lleva a importantes efectos sobre el flujo.

Por otra parte la distribución de velocidades también nos indica el efecto de los distintos tratamientos (Ver Fig. 8).

A modo orientativo se representa en la Tabla 5 el aumento de capacidad hidráulica tras los tratamientos aplicando los nuevos valores de rugosidad para los calados previos al manejo de la vegetación.

4. Conclusiones

Queda patente la importante reducción que supone para la capacidad hidráulica de un cauce la pre-

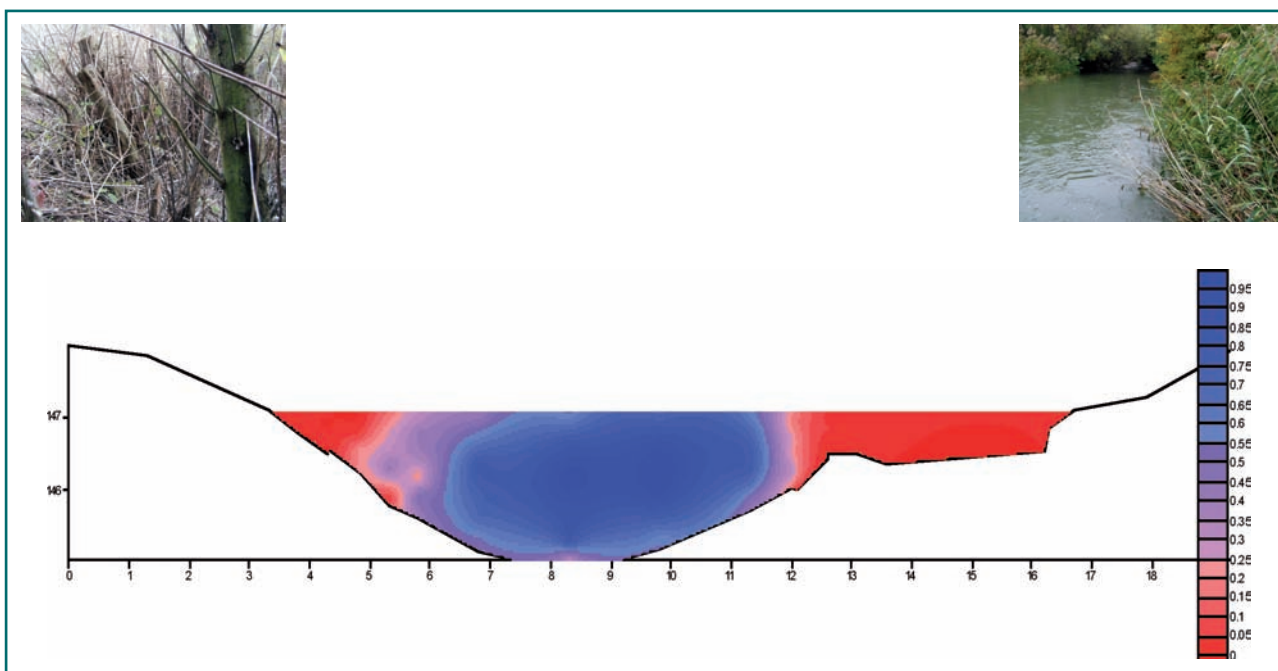


Fig. 7. Efecto de los distintos tipos de vegetación sobre la distribución de velocidades. A la izquierda sauces arbustivos (*Salix sp.*), a la derecha carrizo (*Phragmites australis*)

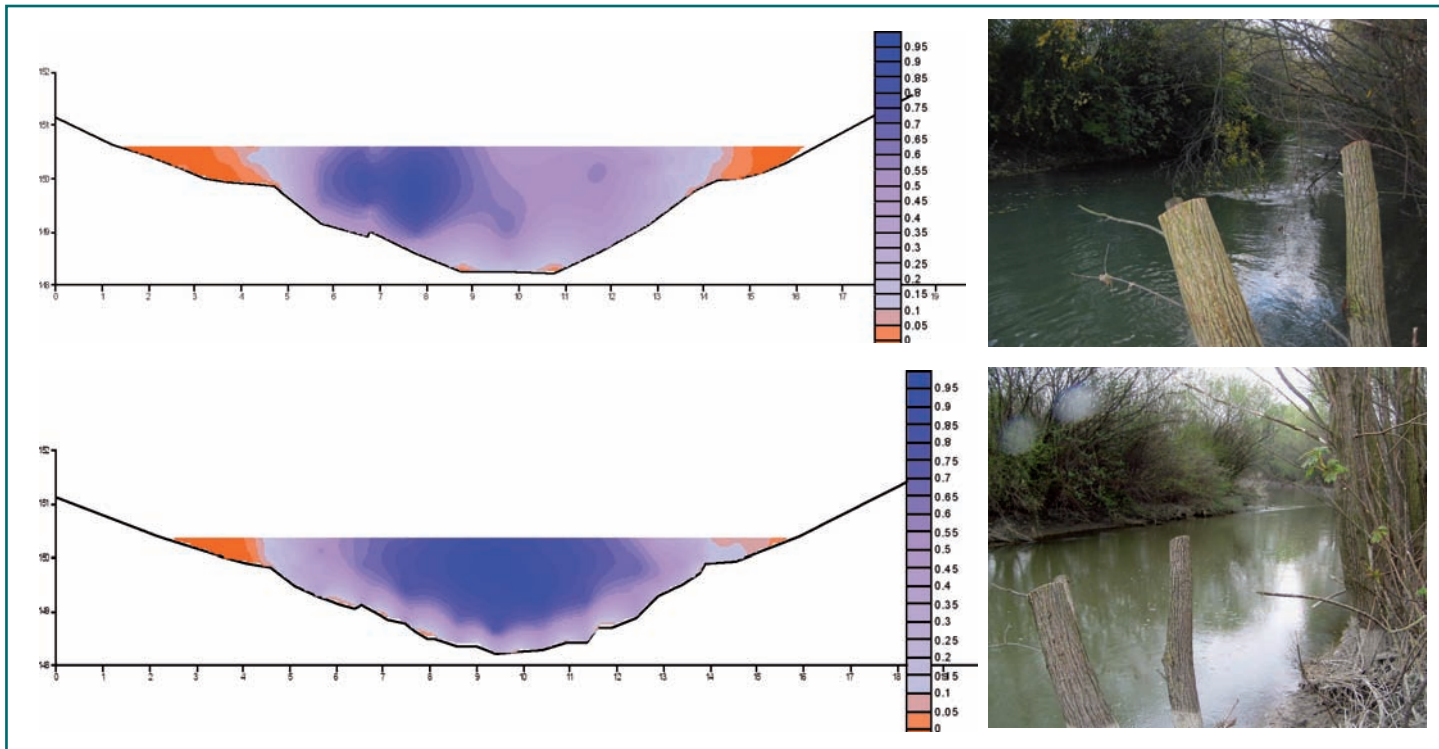


Fig. 8. Distribución de velocidades antes y después de la eliminación de ramas de crecimiento horizontal presentes en la orilla derecha.

sencia de ramas de crecimiento horizontal sobre la superficie. Este tipo de crecimiento característico de los sauces arbustivos (*Salix eleagnos*, *Salix purpurea*,...) resulta muy útil para resistir avenidas con gran poder erosivo. Sin embargo en cauces de llanura pierde su utilidad, por lo que en estos tramos resulta más conveniente repoblar las orillas con especies características de zonas más estabilizadas y que presentan un crecimiento vertical más importante, como es el caso de alisos (*Alnus glutinosa*),

fresnos (*Fraxinus sp.*), chopos y álamos (*Populus sp.*). En los casos en que resulte imprescindible recurrir al efecto protector de los sauces arbustivos la poda de estas ramas horizontales aporta importantes beneficios desde el punto de vista hidráulico. Por el contrario la tala de estas especies fomenta el crecimiento de porte arbustivo.

El aclareo de la vegetación ribereña no supone, en comparación, una gran mejora de la capacidad hidráulica.

Tabla 5. Aumento de la capacidad hidráulica en los distintos perfiles

Sección	fecha	$k_{St,antes}$	$k_{St,despues}$	Q	Q nuevo	dQ	%	tratamiento
Q1	04 / 05	20	29	9,4	13,9	4,5	+48%	Ramas horizontales, aclareo
Q2	03 / 04 05 / 06	17	22	9,2	11,7	2,5	+28%	Izq.: tala Dcha.:ramas horizontales, aclareo
		23	25	10,1	11,2	1,1	+11%	
Q3	03 / 04	21	28	9,0	12,3	3,3	+37%	Tala en ambas orillas
Q4	04 / 05	25	35	9,0	12,8	3,8	+42%	Ramas horizontales, aclareo
Q5	04 / 05	25	33	9,0	11,8	2,8	+31%	Ramas horizontales, aclareo
Q6	05 / 06	24	26	9,0	10,1	1,1	+12%	Ramas horizontales, rejuvenecimiento
Q7	05 / 06	28	30	8,9	9,7	0,9	+10%	Ramas horizontales, rejuvenecimiento

La tala a matarrasa de las orillas aumenta significativamente la capacidad hidráulica del cauce. Sin embargo, este incremento no es muy superior al obtenido con el manejo planificado. Es posible por lo tanto compaginar aspectos hidráulicos y ambientales a la hora de llevar a cabo un control de la vegetación riparia.

La poda o limpieza de una de las orillas aporta ya gran parte de las mejoras que se pueden conseguir con el manejo de ambas orillas. Esto permite planificar el control de la vegetación de cada una de las orillas en años alternativos, algo que puede suponer importantes beneficios ambientales.

Se observan ciertas diferencias en los valores de rugosidad de las orillas en función de la época del año en que tienen lugar las mediciones. Así, al final del período vegetativo, cuando la vegetación todavía no ha perdido la masa foliar, la rugosidad es sensiblemente mayor que al comienzo del mismo, cuando los árboles todavía no han empezado su crecimiento.

La siega de carrizos y praderas entre mediados de julio y finales de septiembre sólo tiene un efecto a corto plazo en los parámetros hidráulicos, que ya no es perceptible en las mediciones de otoño tras el período vegetativo. Se puede deducir de la distribución de velocidades a lo largo de la sección, que estas formaciones ofrecen una rugosidad al flujo menor que las formaciones arbóreas. La siega de es-

te tipo de vegetación permite controlar la invasión del matorral y la vegetación arbórea. De todas formas hay que anotar que el carrizo (*Phragmites australis*) tiene una gran capacidad colonizadora y suele invadir el cauce si la velocidad y profundidad del agua se lo permiten.

Hay que resaltar el importante efecto de determinados factores en los cálculos, como puede ser la pendiente. En el caso que nos ocupa, con pendientes en torno a 0,4 %, cualquier error en la medición de la cota de la lámina de agua, como el debido a las oscilaciones de la misma, tiene como consecuencia un importante error relativo en el cálculo de la pendiente. Del mismo modo, el efecto de los distintos tratamientos llevados a cabo en un tramo se hace notar también a importantes distancias aguasarriba, alterando la pendiente. Esto obliga a manejar el mayor número de resultados posible para así poder extraer conclusiones fiables.

Un aspecto de especial interés que no ha sido contemplado es la variación de la rugosidad con el caudal o la velocidad. La disminución del coeficiente de rugosidad de la vegetación con el aumento de la velocidad del agua es un hecho conocido gracias a diversos experimentos llevados a cabo en laboratorio. Sin embargo no existen experiencias de campo, por lo que supone un tema de gran interés para futuras investigaciones. ♦

Referencias:

-BWK, 2000: Hydraulische Berechnung von naturnahen Fließgewässern. Grundlagen für stationäre, eindimensionale Wasserspiegelberechnungen. Deutschland
-Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Würt-

temberg, 2002: Hydraulik naturnaher Fließgewässer-Teil 3: Rauheits- und Widerstandsbeiwerte für Fließgewässer in Baden-Württemberg. Karlsruhe
-Lindner, K., 1982: Der Strömungswiderstand von Pflanzenbeständen. Mitteilungen des Leichtweiss-Instituts für Wasserbau. TU Braunschweig. Heft 75.

-Kaiser, W., 1984: Fließwiderstandsverhalten in Gerinnen mit durchströmten Ufergehölzonen. Wasserbau-Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Nr. 23. TH Darmstadt.

-Stephan U. & Gutknecht D., 2002: Hydraulic resistance of submerged flexible vegetation. Wien.