



Figura 3: Minimolinet utilizado en la medida de caudales por la Oficina del Regante.

R. SALVADOR¹ - N. ZAPATA² - M. TEJERO¹ - J. M. FACI²

1. OFICINA DEL REGANTE, SERVICIO DE INFRAESTRUCTURAS RURALES, DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO RURAL
(DPTO. AGRICULTURA - GOBIERNO DE ARAGON)

2. UNIDAD DE SUELOS Y RIEGOS, CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA DE ARAGÓN (C. I. T. A.)

En la actualidad tanto en las zonas con sistemas de riego presurizado como en las de riegos tradicionales, se está apreciando un gran interés en la mejora de los propios sistemas de riego y de la gestión del agua. Esto genera una gran demanda de información tecnológica por parte de los agricultores. Una parte importante de esta información incluye el conocimiento de los caudales que circulan en las redes de distribución de agua de las Comunidades de Regantes.

El Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón, con cofinanciación de fondos FEOGA, puso en marcha en septiembre de 2001 la Oficina del Regante. Ésta depende del Servicio de Desarrollo Rural y está adscrita a la Unidad de Suelos y Riegos del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). El objetivo general de la Oficina del Regante es ayudar a los regantes de Aragón a mejorar el uso del agua, con especial énfasis en su modernización. Entre las distintas actividades realizadas por la Oficina del Regante la medida del caudal en cauces abiertos ha tenido un papel relevante en los últimos años.

Actualmente existe una clara preocupación en las Comunidades de Regantes con riego por superficie por conocer el caudal que circula por sus acequias. Esta preocupación surge principalmente por la necesidad de actualizar su gestión y controlar el volumen de agua que utiliza cada regante. Así también se contribuye a solventar las eternas disputas existentes en las zonas de riego más antiguas por el reparto del agua.

En este artículo se dan unas normas generales de la medida de caudal en acequias y se presentan diversos casos de estudio de medida de caudal que ha efectuado la Oficina del Regante.

¿Cómo se puede medir el caudal en acequias de riego?

Para medir el caudal en conducciones abiertas se han desarrollado numerosos métodos a lo largo de la historia. La mayoría de estos métodos se basan en la instalación de constricciones en las conducciones o en la medida de la velocidad del agua. Los métodos que usan constricciones son utilizados cuando se desea medir de forma permanente el caudal que circula por una acequia. El más sencillo y barato de instalar es el llamado «resalte de solera». En este medidor la reducción de la sección de la acequia se consigue mediante el aumento del nivel de la solera. El medidor consiste en un escalón que se denomina cresta y una rampa situada aguas arriba de la cresta que obliga al agua a superar ese obstáculo (Ver figura 1).

Estos medidores son muy sencillos de construir en madera, hormigón o fábrica de ladrillo, producen una ligera pérdida de carga que, aunque no es muy grande respecto al calado de la acequia, se ha de tener muy en cuenta a la hora del diseño por el incremento de calado que se produzca aguas arriba. Se pueden instalar en diversos tipos de acequias y su calibración se realiza con un modelo matemático de libre disposición en Internet en la dirección: http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/winflume/. Aún así, el diseño

de estos medidores ha de realizarse por personal técnico especializado en el tema ya que las dimensiones del medidor dependen de las medidas de la acequia, el caudal que circula por ella y el resguardo.

Otros métodos de medida son los que se basan en la medición de la velocidad de circulación del agua. Para obtener la velocidad del agua en la acequia hay que tener en cuenta que ésta no es igual en todos los puntos del área hidráulica. Así, la velocidad será mayor en la superficie y el centro de la acequia y será mucho menor (casi cero) en las zonas más cercanas a las paredes (Ver figura 2).

Existen varios métodos para medir la velocidad del agua en una conducción abierta (método del flotador, método del molinete, uso de trazadores, método de la trayectoria...) (Faci y Playán, 1994).

Desde la Oficina del Regante, el método más recomendado para medir la velocidad del agua que circula por una acequia es el método del molinete. El molinete es un instrumento que tiene una hélice o rueda de cazoletas que gira al introducirla en una corriente de agua (Ver figura 3). En las acequias de riego que distribuyen el agua a las parcelas a regar se deben utilizar pequeños molinetes que se denominan «minimolinetes» y van montados sobre varillas metálicas.

Dado que la velocidad del agua es distinta en las distintas partes del

área hidráulica (Ver figura 2), para poder obtener la velocidad media del agua en una acequia se toman varias medidas tanto en profundidad como en anchura. En la figura 4 se muestran los puntos de medida de velocidad para una acequia rectangular.

Caso de estudio I: Medición de caudales y estimación de las pérdidas en las acequias «Carnicera» y «Calorba» de la Comunidad de Regantes de Peñaflo

La Comunidad de Regantes de Peñaflo solicitó a la Oficina del Regante asesoramiento para la determinación de las pérdidas de agua en dos acequias de su Comunidad: «Carnicera» y «Calorba». Las dos conducciones están sin revestir y tienen su origen y desembocadura en la acequia «Camarera». La acequia «Carnicera» tiene una longitud de 3.175 m y la «Calorba» de 1.809 m.

Dado que el nivel de estas acequias puede variar mucho a lo largo de un día, el mejor modo de determinar las diferencias entre el volumen que entra y sale de las mismas es instalar cuatro puntos de control del nivel de agua (dos en cada acequia; uno a la entrada y otro a la salida). Estos medidores de nivel de agua se denominan limnigrafos y recogen las lecturas del nivel de forma continua. Un

Figura 1. Características constructivas de los aforadores de resalte de solera.

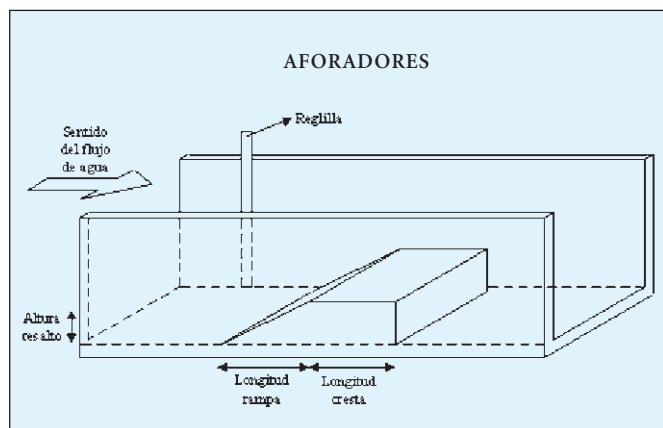


Figura 2: Ejemplo de la distribución de velocidades de agua en la sección de dos acequias.

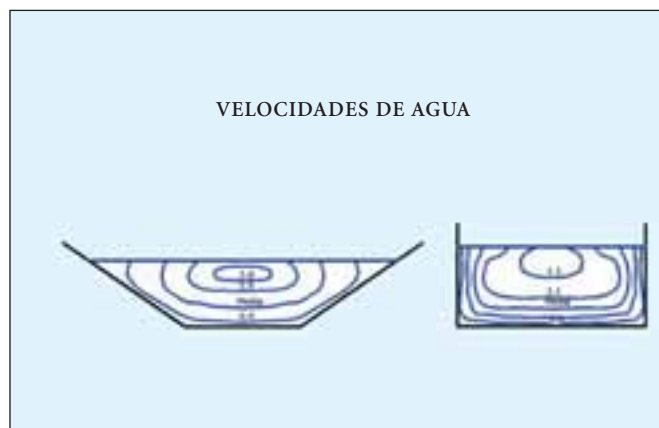




Figura 5:
Ejemplo de instalación
de un limnógrafo
y detalle del limnógrafo
«Thalímedes»
con el que se registraban
los datos.

ejemplo de la colocación de estos limnógrafos en la Comunidad puede verse en la figura 5. A su vez también se realizaron medidas de caudal con minimolinete a distintos rangos de alturas de agua que se utilizaron posteriormente para la elaboración de las curvas de altura de agua *vs.* caudal. Estas curvas son necesarias para transformar los valores de altura de agua registrados por los limnógrafos en valores de caudal circulante..

Resultados

Con los valores de altura recogidos por los limnógrafos se calcularon los caudales que circulaban por la entrada y salida de las dos acequias evaluadas.

Los datos de caudal sirvieron a su vez para calcular los volúmenes de agua que circularon por las acequias «Carnicera» y «Calorba» durante el periodo de ensayos tanto a la entrada como a la salida de las mismas. Con estos valores se obtuvieron las pérdidas en ambas acequias y, por lo tanto, la eficiencia de transporte.

Los resultados se presentan en la tabla siguiente:

	ACEQUIA «CARNICERA»	ACEQUIA «CALORBA»
Porcentaje de pérdidas	22,3 %	7,6 %
Pérdidas por Kilómetro	5,9 l/s y Km	5,8 l/s y Km
Eficiencia de transporte	77,7 %	92,4 %

Todos estos valores han de tomarse con ciertas reservas dado que la correlación de las curvas altura-caudal calculadas para los puntos de control de la acequia «Calorba» no fue muy alta y, además, hubo una gran variabilidad en el caudal de las dos acequias estudiadas.

Los resultados obtenidos no se alejan de los valores establecidos por FAO (1989) para las acequias de tierra que son de un 70 % de promedio si la longitud de la acequia es mayor a 2 Km y de un 77 % de promedio si son de entre 200 y 2000 m. Incluso la acequia «Calorba» presenta una eficiencia de conducción sustancial-

mente mayor a las expresadas por FAO en este documento (Brouwer *et al.*, 1989).

Así, este estudio demuestra que las pérdidas en las acequias de tierra «Carnicera» y «Calorba» se encuentran dentro del rango normal de las acequias de tierra bien mantenidas, incluso en la acequia «Calorba» son bastante menores a lo esperado. Todo esto teniendo en cuenta las circuns-

tancias de cálculo y medición que han podido inducir a errores en las estimaciones. Como recomendación no sólo a estas acequias en concreto sino a todas las acequias de tierra, se sugiere el revestimiento de las mismas como medida reductora de las pérdidas y mejorar así la eficiencia en el transporte y aprovechamiento del agua de riego. Con el revestimiento de las acequias, las pérdidas se reducen considerablemente, llegando a eficiencias de transporte del 95 %. Además, el revestimiento de las acequias disminuiría de forma considerable las labores de mantenimiento y limpieza. La mayor eficiencia en el

trasporte revertiría en una mayor cantidad de agua aprovechable por los cultivos y en un mayor caudal de agua entrante a las parcelas con lo que también se mejoraría la eficiencia de riego en parcela.

Con estos resultados, se recomendó a la Comunidad de Regantes la obtención de más datos de altura de agua vs. caudal para desarrollar curvas de gasto más precisas.

A raíz de las recomendaciones de este estudio, la Comunidad de Regantes procedió a reparar la acequia que mayores pérdidas presentaba («Carnicera»). Una vez realizada esta labor de mejora, la Comunidad se ha vuelto a poner en contacto con la Oficina del Regante para realizar nuevas medidas y comprobar así la eficacia de las labores realizadas.

Caso de estudio II: Estudio para la mejora del regadío de la Comunidad de Regantes de Tarazona

En la primavera de 2002, la Comunidad de Regantes de Tarazona contactó con la Oficina del Regante para poner de manifiesto los problemas de sus regadíos y solicitar asesoramiento técnico como paso previo a una modernización. La Comunidad de Regantes de Tarazona abarca aproximadamente 4000 ha de superficie regable, dicha superficie se agrupa en cuatro categorías de tierras caracterizadas por tener diferente garantía de suministro de agua. Las tierras de categoría 1ª tienen total garantía de suministro, las de categoría 2ª tienen una garantía aceptable para cultivos de verano (intervalo entre riegos de 25 días), a las de 3ª categoría les corresponde una garantía de suministro para riegos de apoyo, y por último, las tierras de categoría 4ª tienen una garantía de suministro prácticamente nula.

El riego por superficie es el sistema de riego mayoritario en la zona. Los suministros de agua a la Comunidad

de Regantes proceden casi en su totalidad del río Queiles. Del Queiles salen seis de las siete acequias principales que riegan la Comunidad, dos en su margen izquierda, Magallón Grande (Figura 6) y Tercia, y cuatro en la margen derecha, Magallón Fiel, Cerces, Orbo y Molinos. La otra acequia principal que riega la comunidad, Selcos, se alimenta del manantial del ojo de San Juan, dicho manantial nace dentro del núcleo urbano de Tarazona (Figura 7).

Cada una de estas acequias posee un pequeño embalse de regulación interna que ha permitido a la Comunidad organizar los riegos evitando las horas nocturnas, asimismo, esto ha permitido incrementar los módulos de riego.

El escaso control sobre los volúmenes de agua disponibles y sobre los caudales que circulan por las acequias, dificulta la gestión eficiente del agua de riego. Un primer paso hacia una gestión de calidad necesita el control de dichos caudales por lo que se planteó la colocación de aforadores en puntos estratégicos de la red de acequias. El aforador que se aconsejó instalar en las acequias de la Comunidad de Regantes de Tara-

zona fue el medidor de resalte de solera. Este aforador resulta muy adecuado para esta zona debido a su bajo costo de instalación y mantenimiento y a sus características descritas anteriormente. Tras los trabajos de localización de los puntos de aforo y la caracterización de los mismos, se procedió al diseño de los resaltes de solera en un total de doce puntos de la red de acequias

La optimización del uso del agua a través de la mejora de la eficiencia técnica se realizó mediante un estudio preliminar sobre eficiencias de riego en parcela en la zona. Para ello, se procedió a la evaluación en campo del riego de siete parcelas repartidas por la Comunidad de Regantes. La elección de las parcelas piloto se realizó siguiendo los consejos del personal técnico de la Comunidad de Regantes con amplia experiencia en la zona de estudio.

Resultados

Los resultados medios de las evaluaciones pusieron de manifiesto algunas de las deficiencias de la zona, elevados tiempos de riego, una media de 3,5 horas por hectárea y riego, deficiente calidad en la nivelación del



Figura 6: Embalse de Santa Ana que regula la Acequia Magallón Grande de la Comunidad de Regantes de Tarazona.

Figura 7: Manantial del Ojo de San Juan en el casco urbano de Tarazona, donde nace la acequia de Selcos.



terreno, y una excesiva parcelación. Por otro lado los caudales de riego eran aceptables situándose en torno a los 110 l/s de media. La eficiencia media de riego en parcela obtenida estuvo en torno al 50 %, encontrándose zonas especialmente problemáticas (40 %) y otras con eficiencias aceptables (en torno al 85 %). Tras este estudio se elaboraron una serie de propuestas de manejo, encaminadas a mejorar el uso del agua en la zona. Entre las propuestas destacan la mejora en la calidad de la nivelación de las parcelas, es decir la nivelación con tecnología láser y el ajuste de los tiempos de riego en función de los caudales servidos (determinados con la ayuda de la red de aforadores), de la zona de riego y del tamaño de la parcela. También se plantearon otras alternativas de mejora que requerían una mayor inversión como el revestimiento de todas las acequias de tierra de la red, o la transformación del regadío a riego a presión, especialmente indicado en las zonas de baja eficiencia potencial del riego por superficie. Esta propuesta está favorecida por la situación topográfica de la zona, ya que las acequias principales, Magallón Grande y Magallón Fiel, discurren por líneas de cota elevadas que permitirían regar con presión natural toda la superficie regable (4000 ha).

Otras actuaciones de medición de caudal

Hay muchas Comunidades de Regantes interesadas en conocer con precisión los caudales que circulan por sus acequias. Cabe destacar el esfuerzo realizado por la Comunidad Nº V de Bardenas (Ejea de los Caballeros) que lleva varios años utilizando con éxito una red de aforos fijos del tipo de resalte de solera descrito anteriormente en sus acequias lo cual ha supuesto un paso muy importante en la mejora de la gestión del agua en esa Comunidad. Ese sistema de gestión, aunque se puso en funcionamiento antes de la



Figura 8:
Acequia de pruebas de medida de caudal en la finca experimental del CITA de Aragón en Montañana, Zaragoza.

existencia de la Oficina del Regante, ha servido de aliciente para que otras Comunidades, bien a través del asesoramiento de la Oficina del Regante o bien con medios propios, estén construyendo o diseñando otras redes similares. Algunas de estas comunidades son la Nº IV y VII de Bardenas (Sádaba y Tauste), Llanos de Camarera (Ontinar de Salz) y Las Vegas (Ejea de los Caballeros).

Debido a la importancia del tema de medida del caudal en cauces abiertos, el CITA en colaboración con la Oficina del Regante organizó una Jornada Técnica en Zaragoza dirigida a los técnicos en riego de nuestra Comunidad de título «Automatización y telecontrol de aforadores en cauces abiertos» en la que se presentaron, discutieron y probaron en el campo los distintos métodos de medida de caudal y los aforadores de resalte de solera. Los objetivos de esta jornada fueron los siguientes:

1. Dar a conocer las diferentes soluciones de medida de caudal en cauces abiertos.
2. Analizar las ventajas e inconvenientes de cada aforador.
3. Exponer los automatismos que complementan estas estructuras.

La jornada se desarrolló en dos partes, una teórica donde se explicó de forma sencilla los principios de la medida de caudal y el programa in-

formático «winflume» para el diseño de los aforadores de resalte de solera y una segunda parte práctica que se realizó en la acequia de pruebas situada en la finca experimental del CITA (Figura 8). La jornada tuvo una buena acogida por parte de las Comunidades de Regantes aragonesas ya que asistieron representantes de 15 de ellas.

Bibliografía consultada

- BROUWER, C., PRINS, K., HEIBLOEM, M. 1989. «*Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling*». Training manual nº 4. Water Resources, Development and Management Service. Land and Water Development Division. FAO.
- FACI, J. M^a., PLAYÁN, E. 1994. «*La medida del caudal en las acequias de riego*». Surcos de Aragón. Volumen 52: Pág: 5-9.
- PALACIOS, E. 1991. «*La eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego*». Memorias del Seminario Internacional sobre uso eficiente del agua. México D.F., Octubre 1991.
- ROGERS, D. H., LAMM, F. R., ALAM, M., TROOIJEN, T. P., CLARK, G. A., BARNES, P. L., MANKIN, K. 1997. «*Efficiencies and water losses of irrigation systems*». Irrigation Management Series. Cooperative Extension Service, Kansas State University, Manhattan. USA.