

**XXV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA  
SAN JOSÉ, COSTA RICA, 9 AL 12 DE SETIEMBRE DE 2012**

**¿TURNOS O DEMANDA? EN EL PROYECTO DE REDES DE  
DISTRIBUCIÓN DE RIEGO A PRESIÓN**

**¿Rotation or demand? In pressurized irrigation network design?**

***Joaquin Monserrat, Andres Alduán, Luis Cots, Javier Barragan.***

*E.T.S. Ingeniería Agraria, Universidad de Lérida ,(Cataluña) España. [monserrat@eagrof.udl.es](mailto:monserrat@eagrof.udl.es)*

**RESUMEN:**

Actualmente vuelve a ser viable la organización mediante turnos de redes de distribución de riego a presión gracias al desarrollo de sistemas de automáticos de telegestión. La organización por turnos supone una disminución de los caudales en la red y el consiguiente ahorro económico. En la comunicación se presentan diversas expresiones sencillas para calcular la disminución relativa de caudales conseguida mediante la organización por turnos respecto a la demanda. Dicha disminución depende del número de hidrantes abastecidos por un tramo y de la probabilidad de que los hidrantes estén abiertos. Se ha contrastado los resultados de las expresiones propuestas con datos de proyecto y se consiguen buenos ajustes. El ahorro económico obtenido con la organización por turnos respecto a la demanda se puede estimar entre un 26 y un 49 % el ahorro medio de caudales.

**ABSTRACT:**

Rotation scheduling in pressurized irrigation distribution networks is nowadays feasible through the development of automated remote management systems. The rotation scheduling implies a reduction of flows in the network and the consequent cost savings. This communication presents several simple expressions to calculate the relative decrease in flow rates achieved by the rotation scheduling over the demand. This decrease depends on the number of hydrants supplied by a line and the probability of hydrants to be open. It has been contrasted the results of the expressions proposed to project data and good fits are achieved. The cost savings obtained by the rotation scheduling can be estimated between 26 and 49% of average flow savings.

**PALABRAS CLAVES:**

Redes de distribución, organización, riego, turnos, demanda.

## INTRODUCCIÓN.

Las redes de distribución para riego inicialmente se construían mediante canales abiertos y se organizaban por turnos. Esta organización consiste en que un conjunto de parcelas comparten un caudal que van utilizando de forma secuencial. En los años 1960 en el sureste de Francia se desarrolló un nuevo concepto de distribución mediante tuberías a presión y con una organización a la demanda en que el agricultor podía regar en el momento que le pareciese más conveniente con una probabilidad alta de poderlo hacer en condiciones adecuadas.

Las redes de distribución *a presión* presentan múltiples ventajas como son, adaptación a perfiles de terreno irregulares, fácil regulación de los caudales, bajo costo de mantenimiento, etc. (Bonnal, 1963)

La organización a la demanda en redes de distribución a presión ha tenido una amplia aceptación debido a que da una gran autonomía al agricultor para decidir el momento y la dosis de riego. No obstante este tipo de organización presenta el inconveniente de que el coste de la red es mayor, ya que es necesario dimensionarla para unos caudales mayores. En la organización por turnos los caudales son menores debido a que el riego está organizado de manera que no se produzcan “picos” de demanda. Este tipo de organización ha ido cayendo en desuso por su mayor rigidez, y por requerir mayor coordinación entre los hidrantes.

Actualmente la organización por turnos vuelve a ser una alternativa factible gracias a la gestión automática o telegestión aplicada a las redes de distribución a presión que permite superar el inconveniente de la coordinación. La automatización de la gestión permite programar que determinados hidrantes puedan abrir y regar durante un lapso de tiempo limitado. El agricultor tiene potestad de regar durante el tiempo que el desee dentro del lapso que se le ha concedido, actuando sobre su programador, el cual recibe la señal del gestor de la red para iniciar el riego.

Al tratarse de riegos a presión las frecuencias de riego son altas (normalmente diarias) y por tanto esto permite adaptarse fácilmente a la variabilidad meteorológica, permitiendo un uso eficiente del agua, que era otro de los puntos débiles de la organización por turnos en redes en lámina libre.

En condiciones de agricultura con escasa capacidad de inversión, la organización por turnos es una alternativa no despreciable, tanto desde el punto de vista del diseño como del manejo de una red ya construida. En España se está aplicando este tipo de organización por sus ventajas económicas.

Clemmens (1986) desarrolló una serie de expresiones que permiten obtener los caudales de una conducción que suministra a parcelas con riego por superficie en función de la organización de la red (demanda, turnos, o acordada).

Recientemente se han desarrollado metodologías que facilitan el diseño y la gestión de este tipo de redes organizadas por turnos, buscando la combinación de hidrantes que pueden regar simultáneamente para minimizar costes y mejorar la calidad del suministro (Farmani et. al. 2007).

Otros autores han analizado las ventajas que tiene la organización por turnos en la optimización energética de la red, disminución de la potencia y aumento de la eficiencia (Rodríguez Diaz et al. 2009, Moreno et al. 2010, Jimenez-Bello et al. 2010).

El presente artículo pretende desarrollar una expresión que permita calcular, para cualquier red, de forma rápida y sencilla, la reducción de caudal que se produce cuando se cambia de una organización a la demanda a otra por turnos y hacer una estimación del ahorro de costes.

## METODOLOGÍA

Para desarrollar las expresiones que permitan comparar los caudales del riego por turnos respecto al riego a la demanda, se empezará con la hipótesis de que tenemos una red con parcelas homogéneas. Más adelante se analizara el caso de parcelas heterogéneas.

Para calcular los caudales de una red es necesario definir previamente las características de los hidrantes que son : caudal ( $d$ ) y tiempo de funcionamiento del hidrante ( $t_{oh}$ ) y por otro lado el tipo de organización de la red.

En los riegos presurizados no se acostumbra a regar toda la parcela de vez sino que se divide en sectores, que son porciones de parcela que se riegan simultáneamente. En Monserrat 2009, se propone una metodología basada en criterios económicos para obtener la superficie de sector óptima económica ( $A_b$ ), y a partir de aquí, definiendo las características del riego a utilizar, se puede calcular el caudal y el tiempo necesario de riego.

Para unas determinadas condiciones de suministro  $d$  y  $t_{oh}$ , se puede calcular el número máximo de sectores ( $n_{b\max}$ ) en que se puede dividir una parcela, a partir de la siguiente expresión (Monserrat, 2009):

$$n_{b\max} = \left[ \frac{q_{rg} t_{on} r_{op}}{q_{fb} 24} \right]_w \quad (\text{ec.1})$$

Donde :

- $q_{rg}$ , Caudal unitario de riego ( $l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ ) : es el caudal por unidad de área que aplicamos con un determinado sistema de riego.
- $t_{on}$ , Tiempo de operación de la red : son las horas al día que la red suministra agua. La red puede estar no operativa las 24 h del día, por diversos motivos : tarifa eléctrica, climáticos, etc..
- $r_{op}$ , Índice de operación : es el cociente entre los días en que la red es operativa y los días totales en un periodo determinado. Este índice permite contemplar el que la red no esté activa una determinada fracción de días por condiciones climáticas adversas o averías.
- $q_{fb}$ , Caudal ficticio continuo bruto ( $l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ ): cuantifica las necesidades de agua medias de la parcela, en función de los cultivos previstos y la eficiencia del riego.
- el subíndice “w” indica parte entera.

Esta expresión tiene la ventaja de depender sólo de variables directamente relacionadas con el diseño de la red. En ella no intervienen variables como el tiempo de riego de un sector el cual puede variar según el intervalo de riego que se fije.

Sabiendo la superficie de la parcela ( $A_p$ ) y habiendo definido la superficie del sector ( $A_b$ ), podemos calcular el número de sectores en parcela :

$$n_b = \left[ \frac{A_p}{A_b} \right]_w + 1 ; \quad n_b \leq n_{b\max} \quad (\text{ec. 2})$$

## Organización por turnos

A partir de la ecuación 1 y 2 se puede calcular el número de parcelas que pueden formar un turno ( $n_{pr}$ ),

$$n_{pr} = \frac{n_{b\max}}{n_b} \quad (\text{ec. 3})$$

El caudal de un tramo que suministra  $N$  parcelas se calcula como el entero superior del cociente  $N/n_{pr}$ , multiplicado por el caudal de suministro de una parcela ( $d$ ) (ec. 4).

$$Q_r = \left[ \left( \frac{N}{n_{pr}} \right)_w + 1 \right] d \quad (\text{ec. 4})$$

Por ejemplo un tramo que alimenta 10 parcelas y  $n_{pr}=4$ ,  $Q = 3d$ , ya que para 8 parcelas hace falta  $2d$  pero para las dos restantes hace falta otro  $d$  aunque no lleguen a completar un turno.

## Organización a la demanda

En el caso de redes que funcionen a la demanda, las características de los hidrantes pueden ser las mismas ( $d$  y  $t_{op}$ ), lo cual facilita la comparación de resultados.

Para calcular los caudales de los tramos se utiliza la fórmula de Clement (Clement, 1966). Ésta ha sido ampliamente contrastada por varios autores: CTGREF 1974, Lamaddalena 2000, Monserrat et al 2004. En la hipótesis de parcelas homogéneas se puede expresar como :

$$Q_d = N p d + U \sqrt{N p q d^2} \quad (\text{ec 5})$$

siendo :

$p$ , la probabilidad de que un hidrante esté abierto.

$U$ : valor de la función normal para la probabilidad  $P$  de que  $Q < Q_d$ . La probabilidad  $P$  se denomina Calidad de funcionamiento.

Según Monserrat (2009),  $p$  se puede calcular con la ec. 6, la cual es la inversa de la ec. 3.

$$p = \frac{n_b}{n_{b\max}} = \frac{1}{n_{pr}} \quad (\text{ec 6}) \quad ; \quad q = 1 - p$$

La fórmula de Clement supone que la probabilidad de apertura es uniforme a lo largo del tiempo de operación de la red, lo cual sucede normalmente en redes alimentadas por una balsa en cabecera.

Al tratarse de parcelas homogéneas el resultado de la ec. 5 tendría que ser un múltiplo de  $d$ , cosa que no suele suceder. Para corregir el problema anterior se propone la siguiente ecuación,

$$Q_d = \left[ N p d + U \sqrt{N p q d^2} \right]_w + 1 \quad (\text{ec. 7})$$

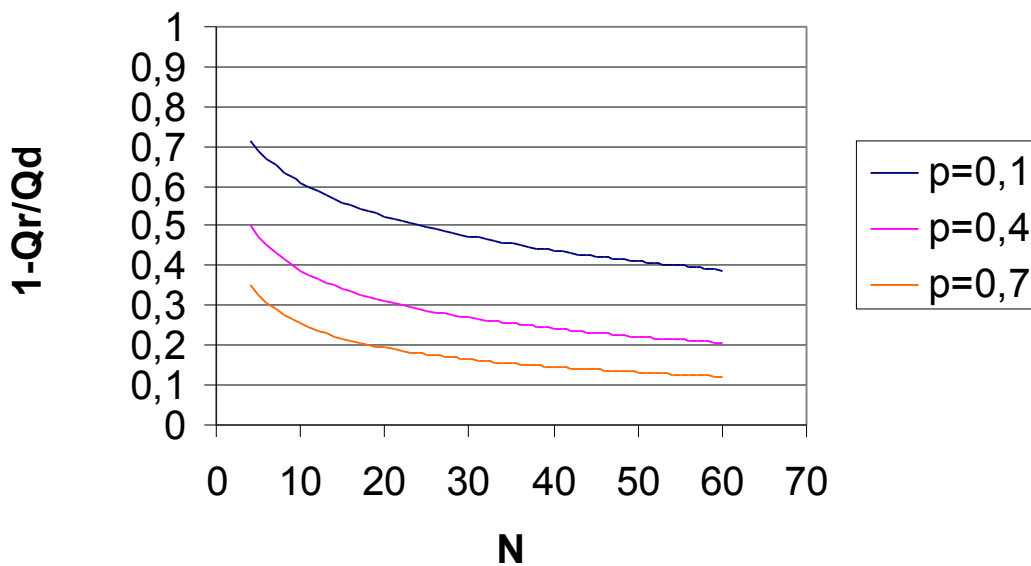
Finalmente para calcular la disminución relativa que se consigue con la organización por turnos respecto a la demanda, a partir de las ecs. 4, 6, y 7 resulta:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{Q_d - Q_r}{Q_d} = 1 - \frac{Q_r}{Q_d} = 1 - \frac{[N p]_w + 1}{[N p + U \sqrt{N p q}]_w + 1} \quad \text{ec (8)}$$

En la expresión anterior vemos que la disminución únicamente depende de dos variables  $N$  y  $p$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se presentan los resultados de la ecuación 8, prescindiendo del cálculo de la parte entera, lo cual permite obtener unas gráficas más regulares y apreciar mejor las tendencias. Las probabilidades consideradas están entre 0.1 y 0.7. La Calidad de funcionamiento para el caso de la demanda es del 95 %.



**Figura 1 :** Disminución relativa de caudal con la organización por turnos en función del número de parcelas que suministra un tramo ( $N$ ) y la probabilidad de funcionamiento del hidrante. Calidad de funcionamiento para el caso de la demanda es del 95 %.

A la vista de la figura 1 vemos que la disminución relativa máxima de caudales se consigue en tramos que suministran a pocas parcelas ( $N$  bajo), es decir en tramos terminales. Pudiendo llegar a valores superiores al 50 %. También se comprueba que la disminución es mayor a medida que disminuye la probabilidad. Esto se puede conseguir: aumentando el caudal unitario de riego ( $q_{rg}$ ), el tiempo de funcionamiento de la red y el índice de operación (ecs. 1 y 6). La disminución del tamaño de las parcelas o el aumento del tamaño del sector también supone una disminución de la probabilidad según las ecs. 2 y 6 y por tanto una mayor disminución del caudal.

Una disminución de la probabilidad no tiene porque suponer un mayor intervalo de riego ya que como se ha visto en las ecuaciones anteriores el intervalo de riego no interviene en dicha relación. En la práctica, el gestor de la red puede decidir el intervalo de riegos, que suele ser de 1 a 3 días. El agricultor calculará el tiempo de riego en función del intervalo, de forma que se aporte el agua consumida en ese periodo, pero el número de parcelas regadas por turno se mantiene constante sea cual sea el intervalo.

Con esta gráfica o la ec. 8 se puede cuantificar rápidamente la disminución de caudales que se puede conseguir en un tramo con la organización por turnos. Calcular la disminución de caudales

para todos los tramos de una red se puede hacer a partir de la topología de la misma (su forma). De forma estimativa se puede afirmar que la disminución media de todos los tramos de una red es mayor que la disminución en el tramo de cabecera. Ya que como se ha mostrado anteriormente, para los tramos con menos hidrantes los ahorros son mayores. Más adelante se presenta un ejemplo al respecto.

A la hora de tomar decisiones en un proyecto lo ideal sería cuantificar el ahorro económico en el costo de la red. Esto es difícil ya que además del factor anteriormente citado de la forma de la red, se añaden otros como son la longitud de los tramos, diferentes diámetros, timbrajes, etc... que hacen difícil obtener unos resultados generales. A continuación se presentan los resultados de ahorro económico para tres redes concretas.

### Aplicación a Redes Reales

Tal como se ha especificado anteriormente, la ec 8 ha sido obtenida bajo la hipótesis de parcelas uniformes, esta condición no siempre se cumple en la realidad. Seguidamente se replantean las ecuaciones anteriores para el caso de una red con parcelas heterogéneas. Teniendo en cuenta el principio de que el volumen suministrado tiene que ser igual al consumido, se puede demostrar que con el caudal  $d$  se puede regar la superficie  $A_b n_{bmax}$ . La ec.4 para riego por turnos se transforma en :

$$Q_r = \left[ \left( \frac{\sum_i A_{p_i}}{A_b n_{bmax}} \right)_w + 1 \right] d \quad \text{ec. 9}$$

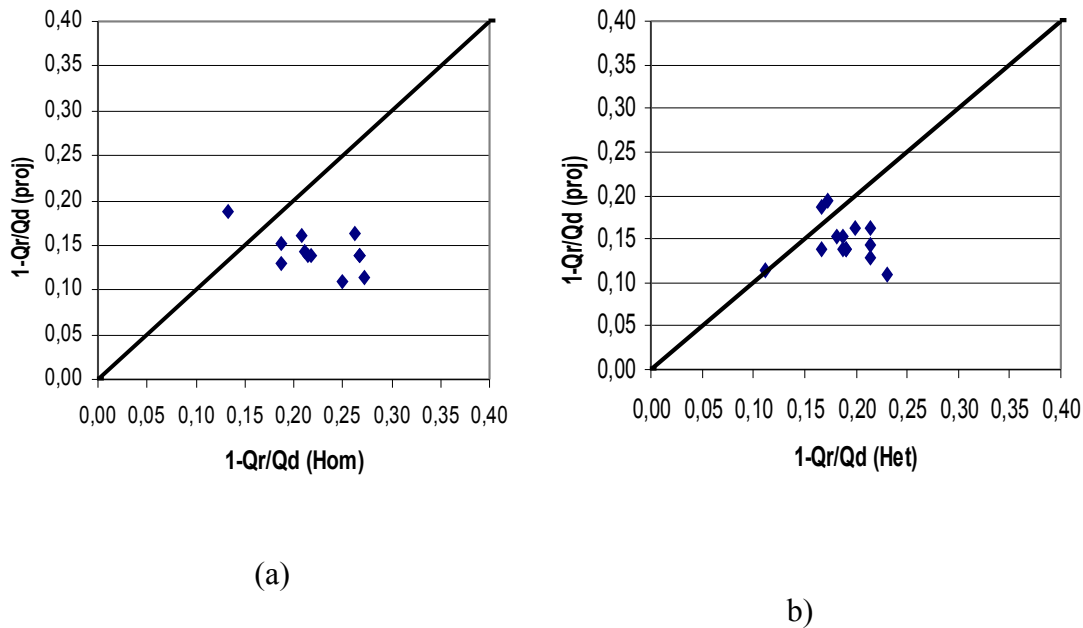
Y para el caso de organización a la demanda, la ec 7 se transforma en :

$$Q_d = \left\| \sum p_i + U \sqrt{\sum p_i q_i} \right\|_w + 1 \Big\| d \quad \text{ec (10)}$$

Para contrastar la fiabilidad de las fórmulas anteriores con un caso real de parcelas heterogéneas se ha escogido el ramal 2 del Subsector A del Sector B del Canal Algerri-Balaguer (Lleida, Spain), el cual se denominará como red A. En la tabla 1 se dan los principales estadísticos de las parcelas de la red, podemos ver que la heterogeneidad del tamaño de las parcelas es importante. El método de riego de las parcelas es aspersión con las siguientes características:  $q_{rg} = 15.4 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ,  $t_{on} = 16 \text{ h}$ ,  $r_{op} = 1$ ,  $A_b = 0.5 \text{ ha.}$ ,  $q_{fb} = 0.6 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ .

**Tabla 1.-** Datos básicos de las parcelas de la red.

Red	Area total (ha)	N <sub>tot</sub>	A <sub>p med</sub> (ha)	CV (%)	p <sub>med</sub> (ec 6)
A	484.9	183	2.65	155	0.35



**Figura 2.** Comparación de la disminución de caudal estimado con la ec 8 (Hom) y la ec 9 y 10 respecto a las disminuciones calculadas en proyecto de la red A.

En la figura 2 se presentan los resultados de la disminución relativa de caudal para diferentes tramos de la red A, bajo diferentes hipótesis de cálculo. La figura 2(a) compara la disminución obtenida con la ec. 8 suponiendo parcelas homogéneas igual al tamaño medio de las mismas, con la disminución relativa para el mismo tramo obtenida con la metodología habitual de cálculo de caudales tramo a tramo en redes organizadas por turnos y a la demanda teniendo en cuenta la heterogeneidad de las parcelas (Alduan y Monserrat, 2009). Vemos que en general la ec. 8 tiende a sobreestimar la disminución de caudales, lo cual es atribuible a la simplificación realizada de suponer que las parcelas son homogéneas. También se ha comprobado que en los tramos terminales que suministran menos parcelas las diferencias entre lo estimado con la ec. 8 y los valores calculados son mayores que en los tramos más próximos a cabecera.

En el caso de la figura 2(b) vemos que hay una mejor aproximación a los valores calculados. El valor medio de las diferencias entre lo estimado y el valor calculado es de 0.05. Esta pequeña diferencia se puede explicar porque la hipótesis con la que se ha obtenido la ec 9 no se corresponde exactamente con lo realidad.

Una vez contrastado el modelo se puede utilizar para hacer un análisis de sensibilidad, por ejemplo, analizar el impacto de posibles cambios de algunas variables de diseño para aumentar la disminución. Por ejemplo si aumentáramos el tiempo de operación de la red ( $t_{on}$ ) a 24 h, cosa posible si se trata de una red alimentada por gravedad y aumentáramos el caudal unitario de riego ( $q_{rg}$ ) a  $20 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , suponiendo que los suelos pudiesen infiltrar la pluviometría que implica este caudal unitario. En la tabla 2 se comprueba que las probabilidades bajan a la mitad y los ahorros aumentan pero no en la misma proporción.

**Tabla 2.** Análisis de sensibilidad frente a la variable tiempo de operación de la red y caudal unitario de riego

		$t_{on} = 16 \text{ h}, q_{rg} = 15,4 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$	$t_{on} = 24 \text{ h}, q_{rg} = 20 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$
Red	N	p	p
		$1-Q_r/Q_d$ (ec. 8)	$1-Q_r/Q_d$ (ec. 8)

A	18 3	0.35	0.14	0.1 8	0.19
---	---------	------	------	----------	------

### Ahorro Económico

En la red A presentada anteriormente y en otras dos con las características que figuran en la tabla 3 se ha cuantificado la disminución media de caudales y el ahorro económico que puede suponer la diferente organización del riego.

**Tabla 3 :** Datos básicos de las parcelas de la red.

Red	Area total (ha)	N <sub>tot</sub>	A <sub>p med</sub> (ha)	CV (%)	p
B	350.4	66	5.31	121	0.65
C	387.7	14 8	2.62	215	0.35

A partir de los datos comunes de trazado de la red, caudales y presiones requeridas en los hidrantes y una base de datos de los materiales, se han calculado los caudales para cada organización mediante hoja de cálculo. El cálculo de diámetros se ha realizado con el programa GESTAR (2010) utilizando el algoritmo DIOPCAL y calculando el coste total de la misma. De esta forma se puede ver de forma global, para el conjunto de la red y no para solo un tramo, el impacto del tipo de organización sobre el coste de la red. Los resultados se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4.** Ahorros medios de caudal (Q) y de costes (C) de la organización por turnos respecto a la demanda

Red	$(\Delta Q_0/Q_0)$	$(\Delta Q/Q)_{med}$	$(\Delta Q_0/Q_0)(ec8)$	$\Delta C/C$	$\Delta C/C /(\Delta Q/Q)_{med}$
A	0.10	0,19	0.14	0,09	0,49
B	0.06	0,12	0.14	0,05	0,41
C	0.08	0,20	0.16	0,05	0,26

En la tabla 4 se presentan los resultados de ahorro de caudales en el tramo de cabecera de la red  $(\Delta Q_0/Q_0)$ , la disminución media de caudales de todos los tramos calculados  $(\Delta Q/Q)_{avg}$ , la disminución de caudales en cabecera estimada con la ec. 8  $(\Delta Q_0/Q_0)(ec8)$ , el ahorro en los costes de la red  $\Delta C/C$ .

En primer lugar comentar que la variación de costes en la red son atribuibles al cambio de tuberías ya que el resto de conceptos (hidrantes, obra civil, telecontrol, etc.) son los mismos para los dos tipos de organización.

Respecto a las tres primeras columnas de ahorro de caudal, la más indicativa de la disminución global es la segunda, vemos que los valores de la tercera son ligeramente inferiores, lo cual confirma lo afirmado anteriormente.

A partir de los resultados de la tabla 4 se comprueba que la disminución de costes es menor que la disminución de caudales. Oscilando la relación entre 26 y un 49 %.

### CONCLUSIONES

Se ha obtenido una expresión sencilla para cuantificar la disminución de caudales que supone la organización por turnos respecto a la demanda, en cualquier tramo de una red con parcelas



homogéneas. Dicha expresión depende de dos variables, el número de parcelas abastecidas por el tramo y la probabilidad de que la toma de parcela esté abierta.

Cuanto menor es el número de parcelas y menor es la probabilidad de estar abierta una toma mayor es la disminución de caudal conseguida en una organización por turnos respecto a la demanda. La disminución de la probabilidad de apertura se puede conseguir aumentando el tiempo de operación de la red, o aumentando el caudal unitario de riego.

La aplicación de las ecuaciones a redes reales con parcelas heterogéneas muestran un buen ajuste entre lo predicho y lo real, obteniéndose una diferencia media de 0.05.

Se ha comprobado que la disminución de caudal calculada en el tramo de cabecera infraestima la disminución media de caudales en todos los tramos de la red. Así mismo el ahorro económico conseguido con los turnos se puede estimar entre un 26 y un 49% de la disminución media de caudales.

## NOTACION

$A_b$  = Área del sector (ha);  
 $A_p$  = Área de la parcela (ha);  
 $d$  = caudal en hidrante ( $l\ s^{-1}$ )  
 $n_b$  = número de sectores (-)  
 $n_{b\ max}$  = número máximo de sectores ( )  
 $n_{pr}$  = número de parcelas por turno ( )  
 $N$  = número de parcelas suministradas pro un tramo ( )  
 $p$  = probabilidad de apertura de un hidrante  
 $Q_r$  = Caudal de un tramo en riego por turnos ( $l\ s^{-1}$ )  
 $Q_d$  = Caudal de un tramo en riego a la demanda ( $l\ s^{-1}$ )  
 $q$  = probabilidad que un hidrante este cerrado.  
 $q_{fb}$  = Caudal ficticio continuo bruto ( $l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ )  
 $q_{rg}$  = Caudal unitario de riego ( $l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ )  
 $r_{op}$  = Índice de operación ( )  
 $t_{oh}$  = Tiempo de funcionamiento de un hidrante (h)  
 $t_{on}$  = Tiempo diario de funcionamiento de la red (h)  
( )<sub>w</sub> = Parte entera.

## REFERENCIAS:

**Alduan, A., Monserrat, J.** 2009. “ Estudio comparativo entre la organización a la demanda o por turnos en redes de riego a presión”. *Ingeniería del agua. Vol. 16 n.3*

**Bonnal, C.** 1.963. *Manuel d'irrigation collective par aspersion.* OCDE, París.

**Calejo, M.J., Texeira, J.L., Pereira, L.S. , Lamaddalena, N.** 2007. “Simulação da procura numa rede de rega operando a pedido: o modelo IRDEMAND”. *Ingeniería del agua, Vol. 14 n 3.*

**Clemmens, A.J.** 1986. “Canal Capacities for Demand Under Surface Irrigation”. *J. Irrig. Drain Eng. Vol. 112, n. 4*

**Clément, R.** 1966. “Calcul des débits dans les réseaux d’irrigation fonctionnant à la demande”. *La Houille Blanche* 5: 553-575.

**CTGREF.** (Centre Technique du Génie Rural des Eaux et des Forêts) 1974. Division Irrigation. *Lois de probabilité de débits de pointe d’un réseau d’irrigation collectif par aspersion . Loi de Clément. Verification a partir d’enregistrements.* Note Technique 2. Aix- en-Provence (France)

**Farmani, R., Abadia, R. Savic, D.** 2007. “Optimum design and management of pressurized branched irrigation networks”. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* Vol. 133 n.6.

**GESTAR :** <http://www.acquanalyst.com/>

**Jimenez-Bello, M. A.; Martinez Alzamora, F.; Bou Soler, V.** 2010. “ Methodology for grouping intakes of pressurised irrigation networks into sectors to minimise energy consumption”. *Biosystems Engineering.* Volume: 105 Issue: 4 .

**Khadra, R., Lamaddalena, N.** 2006. “A simulation model to generate the demand hydrographs in large scale irrigation Systems”. *Biosystems Engineering* 93 (3)

**Lamaddalena, N, Sagardoy, J.A.** 2000. *Performance analysis of on-demand pressurized irrigation Systems.* . Irrigation and drainage paper, 59. FAO, Rome

**Montserrat, J., Poch, R., Colomer, M.A, Mora F.** 2004. “Analysis of Clément’s first formula for irrigation distribution networks”. *Journal of Irrigation and Drainage Eng.* Vol. 130 n.2

**Montserrat, J.** 2009. “Allocation of Flow to Plots in Pressurized Irrigation Distribution Networks: Analysis of the Clément and Galand Method and a New Proposal”. *J. Irrig. Drain Eng.* **135**, 1

**Montserrat, J., Ezpeleta, M., Colomer, M.A., Cots, Ll., Barragan, J.** 2011. “Influence of crop spatial variability when calculating irrigation network flows” (En prensa)

**Moreno, M.A., Planells, P., Ortega, J.F. Tarjuelo, J.M.** 2007. “New methodology to evaluate flow rates in on-demand irrigation networks”. *Journal Irrigation and Drainage Engineering.* Vol.133 n.4

**Moreno M. A., Corcoles J. I., Tarjuelo J. M. .** 2010. “Energy efficiency of pressurised irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule”. *Biosystems Engineering.* Volume: 107 Issue: 4 Pages: 349-363

**Pulido-Calvo, I, Roldán, J., López-Luque, R., Gutiérrez-Estrada, J.C.** 2003. “Water delivery system planning considering irrigation simultaneity”. *Journal Irrigation and Drainage Engineering.* Vol. 129 n.4

**Rodriguez Diaz J. A.; Lopez Luque R.; Carrillo Cobo M. T.** 2009. “Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks”. *Biosystems Engineering.* Volume: 104 Issue: 4 Pages: 552-561