

# ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LA ORGANIZACIÓN A LA DEMANDA O POR TURNOS EN REDES DE RIEGO A PRESIÓN

**Andrés Alduán**

Rovira Roure 40, Escalera Izq 2 E-25006 Lleida  
aamfevsj@gmail.com

**Joaquim Monserrat**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de Lleida  
Rovira Roure 191, 25198 Lleida

**Resumen:** En el presente estudio se han analizado técnica y económicamente las diferencias existentes entre la organización a la demanda o por turnos, en una de red de riego a presión automatizada que abastece una superficie de 1.221,06 ha. Los resultados del comparativo muestran como en la organización por turnos se consiguen disminuciones importantes en los caudales de diseño de los tramos terminales, mientras que en los tramos principales apenas hay diferencias. Es conveniente aclarar que estos caudales hacen referencia a aquellos que en fase de proyecto se utilizan para determinar los diámetros de las conducciones. En cuanto a la reducción de costes, comentar que no es tan importante como la de caudales y que los cambios de diámetro se producen en los tramos principales que son los más costosos.

## INTRODUCCIÓN

La organización del riego de una red, admite diferentes posibilidades según las restricciones de funcionamiento de los hidrantes (Clemmens, 1987). Por un lado, tenemos el riego a la demanda, en el cual el usuario puede abrir el hidrante siempre que quiera y durante el tiempo que crea conveniente, estando únicamente limitado el caudal y el volumen consumido. Por otro lado, tenemos el riego por turnos, en el cual existen ciertas restricciones en el momento del riego y la duración del mismo.

Actualmente las redes de riego a presión suelen organizarse a la demanda permitiendo al agricultor gran libertad a la hora de regar.

A lo largo de este trabajo se analiza la viabilidad de la organización por turnos en redes de riego a presión, apoyándose para ello en el actual desarrollo de los sistemas de telecontrol que hacen posible gestionar una red de forma centralizada. La ordenación del riego de los hidrantes próximos evita la simultaneidad de funcionamiento y permite disminuir los caudales de diseño de los tramos, lo que puede traducirse en una reducción del coste total de la red.

Los elementos necesarios para automatizar y controlar una red de riego son los mismos in-

dependientemente del tipo de organización (un centro de supervisión y control, comunicaciones vía radio, unidades concentradoras y unidades terminales remotas), sin embargo, la configuración de estos elementos sí que depende del tipo de organización.

Mientras que a la demanda, el sistema debe detectar la apertura de los hidrantes por parte del agricultor, en el sistema por turnos que se propone, la apertura y cierre se gestionaría íntegramente desde la red por medio de las unidades concentradoras. Éstas dispondrían de la información de los hidrantes agrupados en un mismo turno y que en ningún caso pueden regar a la vez, respetando las restricciones establecidas en el cálculo de los caudales de diseño de los diferentes tramos de la red. La única diferencia a la hora de automatizar una red de riego a la demanda o por turnos, la encontraríamos en el funcionamiento del programador de riego de parcela, ya que en el riego por turnos habría que sincronizar el funcionamiento del programador con el de la apertura de los hidrantes de la red. Una opción sería utilizar un presostato que ante la apertura de la válvula hidráulica general del hidrante y como consecuencia del paso del agua, detectara el aumento de presión, señal que activaría el programador de riego dando turno a

los diferentes sectores. Transcurrido el tiempo de riego establecido para ese hidrante, la válvula hidráulica general cerraría automáticamente y la bajada de presión debida al cese del paso del agua, sería detectada por el presostato, señal que desactivaría el programador de riego (la válvula del último sector se dejaría abierta hasta la señal de bajada de presión).

Esta forma de organización pierde algo de libertad respecto a la demanda; sin embargo, hay que tener en cuenta que el agricultor vía SMS sería informado de las horas durante las cuales va a disponer de agua, teniendo durante ese intervalo de tiempo total libertad para aplicar la cantidad que crea oportuna, siempre y cuando no supere el máximo asignado.

Por último, comentar que existen algunos antecedentes de pequeñas Comunidades de Regantes con este tipo de organización en la Comunidad Valenciana. El presente estudio se ubica en la zona de Lleida con unas dimensiones mucho mayores y riego por aspersión.

## OBJETIVOS

Evaluar los efectos económicos de la organización por turnos en redes de riego a presión y compararla con la de las redes actuales que suelen funcionar a la demanda.

## OBJETO Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ESTUDIO

Se ha partido del "Proyecto Constructivo del

Regadío Algerri-Balaguer Sector B" y dentro de este más concretamente de la red de riego correspondiente al "Subsector A, Red de Riego del Piso 300". La zona pertenece a la cuenca del río Segre y se encuentra en la comarca de la Noguera, provincia de Lleida.

La red en cuestión riega de una balsa de 250.000 m<sup>3</sup>, abastece una superficie de 1.221,06 ha y un total 396 parcelas, lo que supone una superficie media por parcela de 3,08 ha.

En la Figura 1 se puede observar la distribución de la frecuencia relativa según la superficie de parcela y el peso relativo de la superficie ocupada según el tamaño de estas. Las parcelas pequeñas son las más frecuentes, disminuyendo la frecuencia a medida que aumenta el tamaño. El incremento del final es debido a que el intervalo es muy grande ya que se engloban parcelas con un tamaño comprendido entre las 9 y las 63 ha como máximo.

Respecto a la superficie ocupada por cada uno de los tamaños, destacar la existencia de parcelas que superan ampliamente las 9 ha y que suponen aproximadamente un 40% de la superficie total de la red.

En la Figura 2 puede verse la estructura ramificada de la red y los tres ramales claramente diferenciados que presenta.

Los datos medios de cada ramal se han resumido en la Tabla 1. Destacar que la superficie media de las parcelas del ramal 1 es el doble que la de los otros.

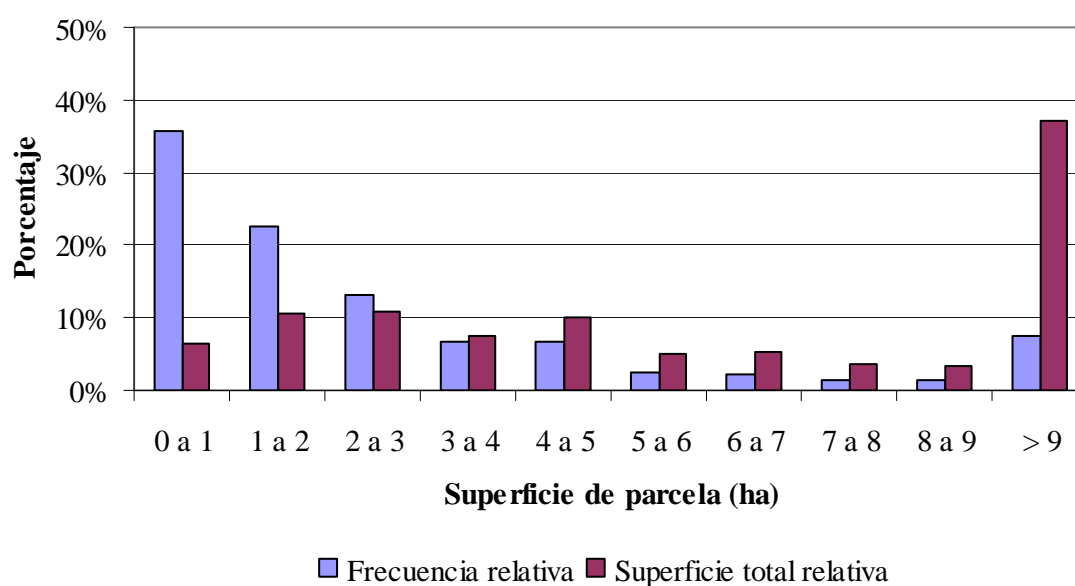


Figura 1. Distribución parcelaria de la Red

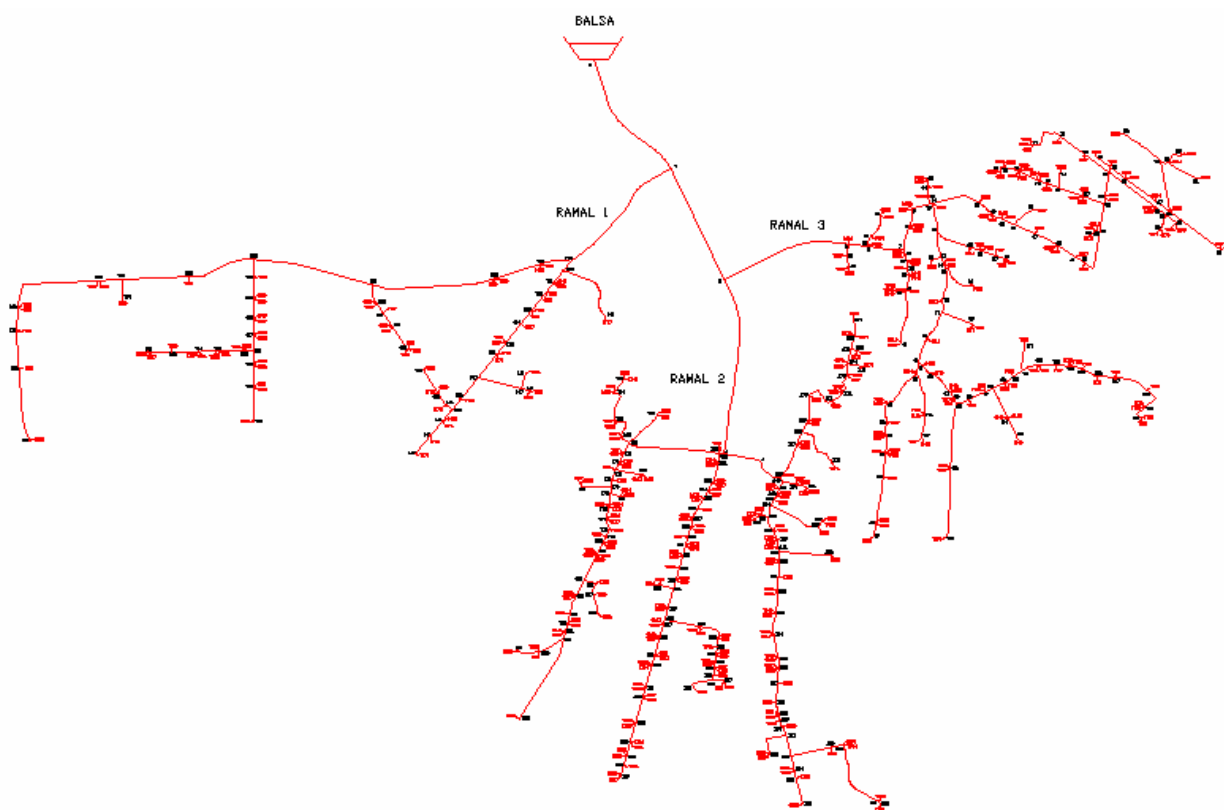


Figura 2. Esquema de la Red de Riego

Ramal	Superficie total (ha)	Número de parcelas	Superficie media (ha)
1	350,34	66	5,31
2	485,13	183	2,65
3	385,59	147	2,62

Tabla 1. Datos de los tres ramales del subsector A

Del estudio agronómico del proyecto se ha obtenido que el caudal ficticio continuo bruto medio para el mes de máximas necesidades es de ( $q_{fb} = 0,6 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ), la jornada de riego ( $J_r = 16 \text{ h/día}$ ) y la garantía de suministro ( $GS = 95 \%$ ).

La red se ha diseñado para riego por aspersión y al no especificarse el caudal unitario de riego ( $q_{rg}$ ), se ha supuesto un valor de  $15,44 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , lo que equivaldría a aspersores de  $1.800 \text{ l/h}$  con un marco de  $18 \times 18 \text{ m}$  (valores más característicos de la zona).

Las dotaciones en parcela se han asignado siguiendo la metodología propuesta en Monserrat (2009) y se resumen en la Tabla 2 (se ha supuesto una superficie de sector óptima,  $S_{\text{sector}} = 0,5 \text{ ha}$ ).

$S_{\text{sector}}$	$S_{\text{Parcela}}$	dotación (l/s)
0,5 ha	$S_P \leq 8,5 \text{ ha}$	7,72
	$S_P > 8,5 \text{ ha}$	$0,91 \cdot S_P$

Tabla 2. Dotaciones asignadas en parcela

## METODOLOGÍA

Se han establecido las mismas condiciones de partida tanto a la demanda como por turnos: caudal ficticio continuo bruto medio para el mes de máximas necesidades ( $q_{fb} = 0,6 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ), jornada de riego ( $J_r = 16 \text{ h/día}$ ), marco ( $18 \times 18 \text{ m}$ ), caudal unitario de riego ( $q_{rg} = 15,44 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ) y dotaciones asignadas en parcela según la Tabla 2. Se ha supuesto que en el mes de máximas necesidades todos los días eran hábiles para el riego, es decir, un subperíodo de riego ( $r_p = 1$ ).

El cálculo de caudales de diseño a la demanda se ha realizado aplicando la primera fórmula de Clement (Clement, 1966). Los caudales obtenidos con la fórmula de Clement son caudales probabilísticos y por lo tanto teóricos, que necesitan ser revisados y adaptados a las condiciones

particulares de la red calculada. El criterio aplicado para determinar dichos caudales ha sido el siguiente: si  $Q_{Acumulado} < Q_{Clement}$ ,  $Q_{Diseño} = Q_{Acumulado}$ , si por el contrario,  $Q_{Acumulado} > Q_{Clement}$ ,  $Q_{Diseño}$  sería igual al sumatorio de los caudales de los hidrantes que suministra el tramo, organizados de mayor a menor, hasta conseguir superar el caudal de Clement. El método que se propone se apoya en los resultados publicados por Betrán (2005), que comprobó con datos reales que la fórmula de Clement da buenas estimaciones a partir de tramos que alimentan tres o más hidrantes.

La probabilidad de apertura de un hidrante se ha obtenido a partir de la fórmula propuesta en Monserrat (2009):

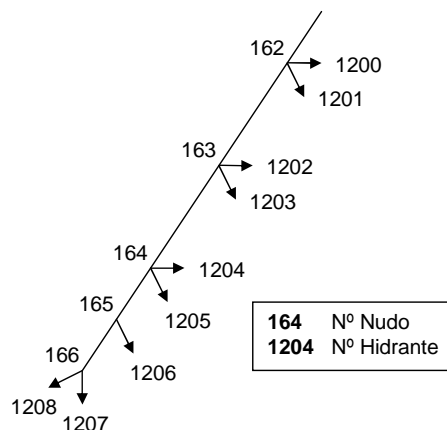
$$p \cong \frac{n_s}{n_{s_{m\acute{a}x}}}$$

Para el cálculo de los caudales de diseño por turnos, se han mantenido las mismas dotaciones en parcela que a la demanda y se ha determinado el número de parcelas que podían compartir una dotación. Para ello, se han agrupado aquellos hidrantes que nunca podrían funcionar al mismo tiempo, pero que sí podrían hacerlo con el resto de hidrantes de la red, calculando en primer lugar el número de sectores de riego de cada hidrante ( $n_s$ ), según la ecuación  $n_s = S_{Parcela}/S_{sector}$ . Se han agrupado el mayor número de hidrantes siempre y cuando se cumpliera la restricción de que el sumatorio del número de sectores de riego de los diferentes hidrantes agrupados, en ningún caso superase el número de sectores máximo ( $n_{s_{m\acute{a}x}}$ ), parámetro que se ha obtenido con la siguiente expresión (Monserrat, 2009):

$$n_{s_{m\acute{a}x}} = \frac{q_{rg} \cdot J_r \cdot r_p}{24 \cdot q_{fb}}$$

En este trabajo  $n_{s_{m\acute{a}x}} = 17$ .

A cada agrupación se le ha asignado un caudal de suministro igual a la dotación y de esta forma comenzando por los tramos terminales de la red se han calculado los caudales de diseño por turnos (véase ejemplo).



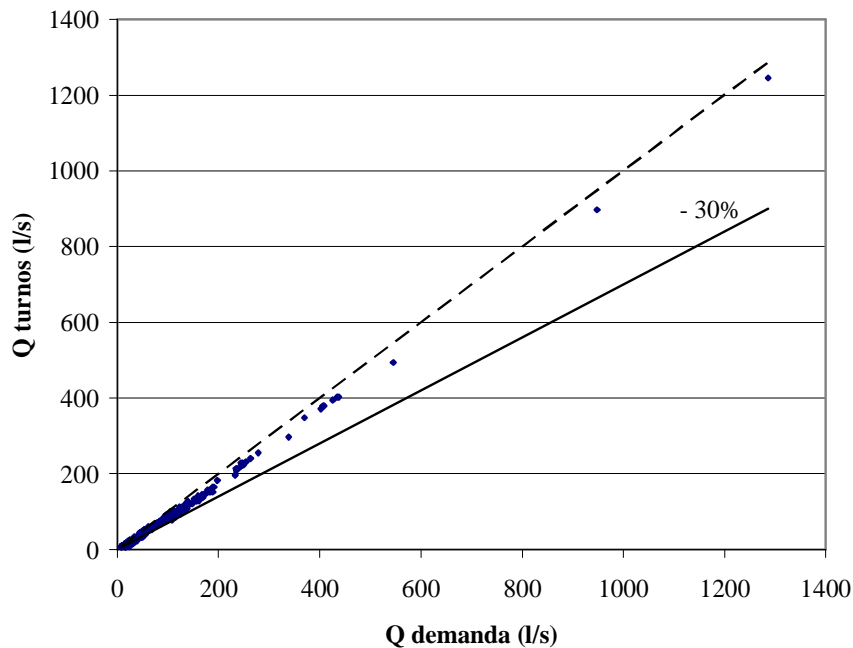
Los diámetros y timbrajes de los diferentes tramos de la red se han dimensionado con ayuda del módulo DIOPCAL, el cual se encuentra integrado en el software informático GESTAR 1.5 Beta de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (<http://gestar1.unizar.es/gestar/>). El programa en cuestión determina los valores óptimos de diámetros y timbrajes de las tuberías, minimizando el coste total del sistema con la condición de satisfacer a la vez los requisitos hidráulicos exigidos, en particular las presiones mínimas en los nudos de la red.

Por último, se ha presupuestado el coste total de la red en cuanto a tuberías sin tener en cuenta el coste de hidrantes, movimiento de tierras y elementos de control (válvulas de seccionamiento, caudalímetros, ventosas y desagües), al considerar que no han de variar sustancialmente entre ambas soluciones.

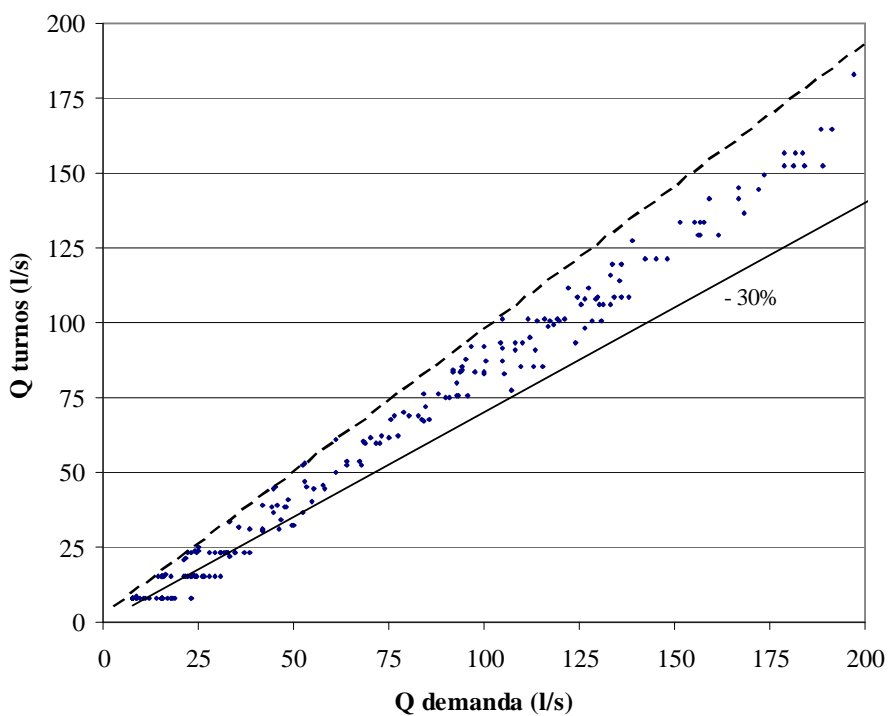
Tramo	Hidrante	$S_P$ (ha)	$S_s$ (ha)	$n_s$	$d$ (l/s)	$Q_{diseño}$ turnos
166	1207	2,0114	0,50	5	7,72	7,72
	1208	4,1418	0,50	9	7,72	
165	1206	7,8336	0,50	16	7,72	15,44
	1204	1,0950	0,50	3	7,72	
164	1205	6,5128	0,50	14	7,72	23,16
	1202	5,8471	0,50	12	7,72	
163	1203	2,0307	0,50	5	7,72	30,88
	1200	0,4324	0,50	1	7,72	
162	1201	2,7339	0,50	6	7,72	38,60

**Nota:** Se han marcado con el mismo color los hidrantes agrupados

**Tabla 3.** Ejemplo del cálculo de caudales de diseño por turnos



**Figura 3.** Caudales de diseño por turnos frente a caudales de diseño a la demanda para los diferentes tramos de la Red



**Figura 4.** Detalle de la figura anterior para caudales de diseño pequeños

**RESULTADOS Y DISCUSIONES**

**Caudales de línea**

En la Figura 3, se comparan los caudales de diseño a la demanda frente a los caudales de

diseño por turnos de los diferentes tramos de la red. La Figura 4 es un detalle de la 3 para caudales de diseño pequeños, es decir, tramos terminales.

En las figuras anteriores se observa como en la organización por turnos se consigue una reduc-

ción media de los caudales de diseño del 30% en los tramos terminales de la red, mientras que en los tramos principales la reducción es menor, entorno a un 3%. Esto es debido a que mediante una adecuada programación del riego se puede evitar la simultaneidad de demandas en los tramos terminales. En los tramos principales como las necesidades de riego son las mismas independientemente del tipo de organización, las diferencias son menores.

### Diámetros

En la Figura 5 se comparan los diámetros de los tramos obtenidos para el riego por turnos respecto al riego a la demanda. De forma general se observa cómo los diámetros para el riego por turnos se mantienen o disminuyen con respecto a la demanda salvo algunas excepciones en que aumentan. Para los diámetros más grandes (900-1200 mm) no hay cambios, para los intermedios (280-800 mm) unos se mantienen y otros disminuyen al diámetro comercial inferior y para los pequeños existen casos en los cuales se consigue una reducción de varios diámetros comerciales.

En cuanto a los materiales utilizados, para diámetros comprendidos entre 125 y 710 mm se ha utilizado polietileno de alta densidad (PEAD), entre 800 y 900 mm poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) y para diámetros mayores de 900 mm acero soldado helicoidalmente (ASH).

Una vez realizado este comparativo, se ha analizado la variación de costes en función de la organización del riego. En la Figura 6 se representa el coste relativo respecto al coste total de los tramos para cada diámetro y timbraje de 6 atm. En la Figura 7 puede verse un detalle para diámetros pequeños.

De las figuras anteriores se deduce que el coste relativo de los tramos con diámetros pequeños es muy bajo en comparación con el de diámetros mayores. Mencionar también que la variación del coste relativo para un diámetro determinado es debido a un cambio de la longitud total de los tramos con estos diámetros ya que el coste unitario es el mismo.

La diferencia más importante se da para el diámetro 800 mm, ya que no existe ningún tramo de este tamaño en la organización por turnos. Esto evidentemente supone un aumento del coste para diámetros algo menores (710 y 630 mm). Para el resto de diámetros las diferencias son poco importantes. Este hecho choca un poco si lo comparamos con las gráficas de caudales (Figuras 3 y 4), en las cuales se observaba que la reducción de caudales más importante se daba en los tramos terminales (para diámetros pequeños), por lo tanto, parece lógico pensar que la mayor reducción tendría que darse en estos diámetros. Este hecho es justificable ya que para minimizar el coste de la red, el programa GESTAR reduce los diámetros grandes que económicamente son los más caros.

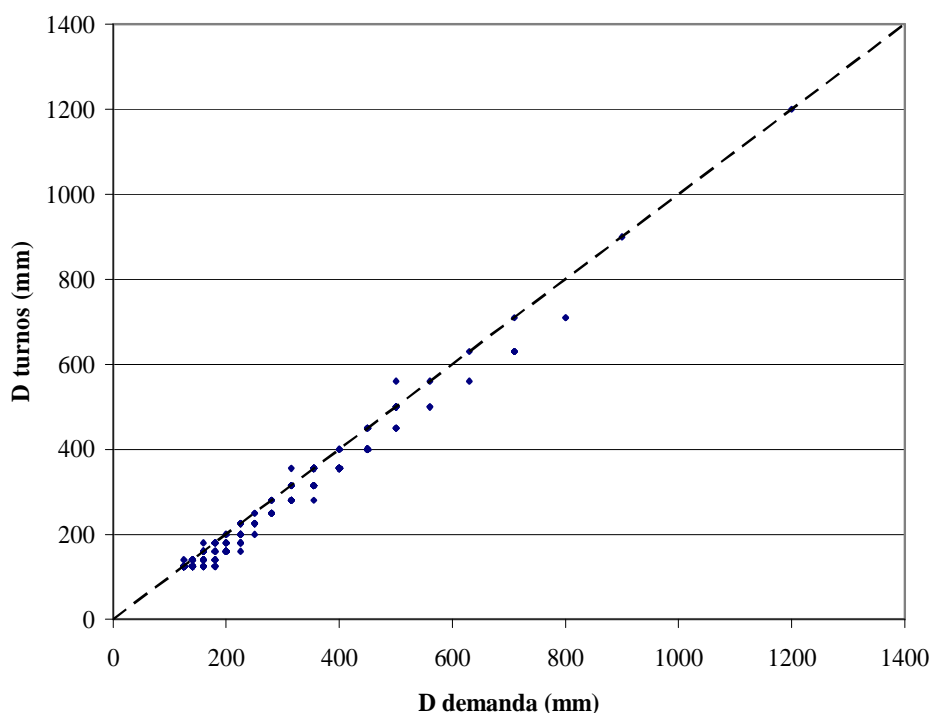


Figura 5. Comparación de diámetros turnos-demanda

### Timbraje de 6 atm

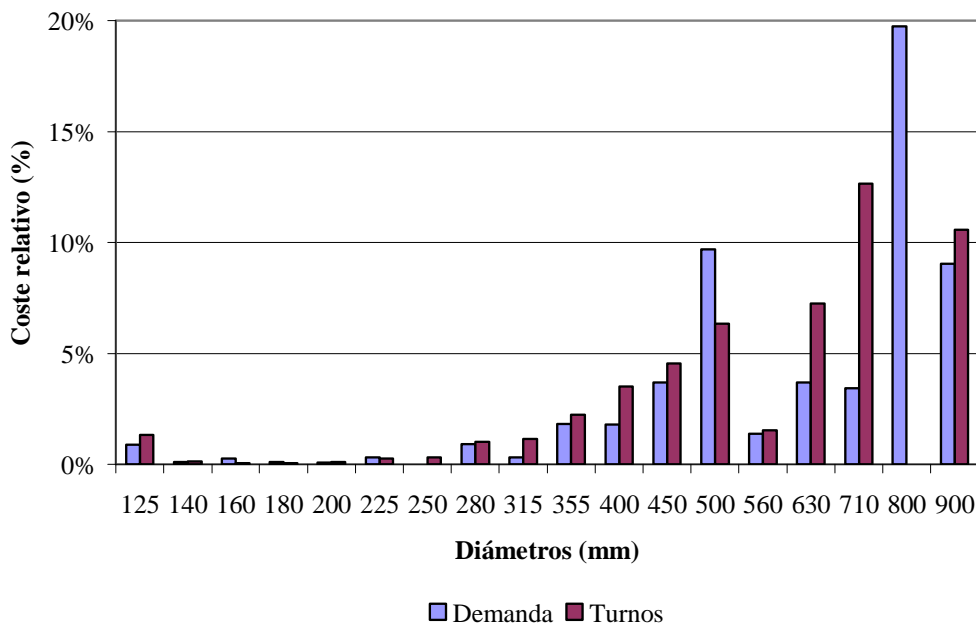


Figura 6. Coste relativo de las longitudes de tubería para diferentes diámetros

### Timbraje de 6 atm

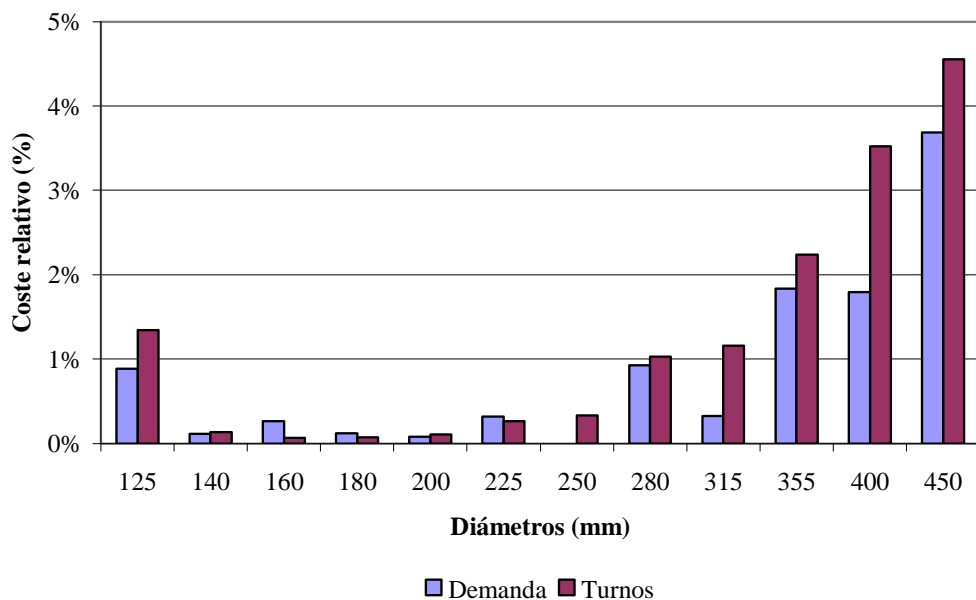


Figura 7. Detalle de la figura anterior para diámetros pequeños

En el caso de las tuberías con timbraje de 8 atm, aquellas que se encuentran en la parte baja de la red, las diferencias entre el riego a la demanda y por turnos son poco significativas.

Finalmente, atendiendo al coste total de la

red, que en el caso de la organización a la demanda asciende a 1.854.966, 59€ y en el caso de la organización por turnos a 1.584.625,86€, destacar el 15 % de ahorro que se consigue en la organización del riego por turnos.

---

## CONCLUSIONES

---

- La organización por turnos permite una reducción media de los caudales de diseño de la red del orden del 30 % en los tramos terminales, es decir, aquellos que abastecen a pocas parcelas, ya que en estos tramos en la organización a la demanda el caudal de diseño suele ser el acumulado (suma de los hidrantes abastecidos aguas abajo). En los tramos principales la reducción relativa es mucho menor, entorno a un 3 %, ya que en estos tramos las necesidades de riego no dependen del tipo de organización.
- En cuanto a la reducción de diámetros, teniendo en cuenta que el mayor ahorro de caudales se da en los tramos terminales, lo más lógico sería que fuera en estos tramos en los cuales se produjeran las mayores reducciones. Sin embargo, por razones económicas resulta más rentable reducir el diámetro de los tramos de cabecera que son los más costosos.
- El 15 % de ahorro obtenido en el coste total de tuberías en la organización por turnos, deja patente la importancia de analizar en fase de proyecto el tipo de organización antes de acometer el dimensionado de la red de riego.

---

## AGRADECIMIENTOS

---

A Riegos de Cataluña, S.A. (REGSA) por haber financiado y colaborado en este estudio.

---

## REFERENCIAS

---

- Betrán, E., Monserrat, J., Colomer, M.A., (2005). Contraste de la primera fórmula de Clement para tramos con número variable de hidrantes. Aplicación a las redes de Candanos y Alcarrás, Actas Congreso Nacional de Riegos.
- Clement, R., (1966). Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fonctionnant a la demande. La Houille Blanche, n.5.
- Clemmens, A.J. (1987). Delivery system schedules and required capacity. En Planning, operation, rehabilitation and automation of irrigation water delivery systems, Proc. ASCE.
- Monserrat, J., (2009). Allocation of flow to plots in pressurized irrigation distribution networks: Analysis of the Clement and Garland method and a new proposal. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 135(1), 1–6 February.