

E-05-2023

Comunicación científico-técnica

# Determinación automática del trazado óptimo y dimensionado de tomas a parcela en redes de distribución colectiva mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica

**Autores:** González-Pavón, César.<sup>1</sup>; Palau-Estevan, Carmen Virginia<sup>2</sup>; Manzano-Juárez, Juan<sup>2</sup>; Arvizu-Valverde, Jaime<sup>2</sup>; Guillem-Picó, Santiago<sup>2</sup>; Balbastre-Peralta, Ibán<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Física Aplicada (DFA), Universitat Politècnica de València, Camino de vera s/n, 46022, Valencia, España.

<sup>2</sup> Centro Valenciano de Estudios sobre el Riego (CVER), Universitat Politècnica de València, Camino de vera s/n, 46022, Valencia, España.

## Resumen.

En el presente estudio se han evaluado 12 superficies regables pertenecientes a diferentes Comunidades de Regantes y otras entidades de riego de la Comunidad Valenciana. Estas zonas regables constan de una red de distribución que alimenta diferentes hidrantes multiusuario distribuidos por toda la superficie regable los cuales alimentan a las tomas individuales que distribuyen los volúmenes hasta cada una de las parcelas.

El objetivo del trabajo es desarrollar una metodología que automatice el proceso de trazado de las tomas a parcela desde los hidrantes multiusuario mediante el uso de los Sistemas de Información geográfica (SIG). Para ello, se parte con los datos de partida de los hidrantes ubicados sobre la red de riego y el punto de alimentación en parcela. Los resultados se ponen en comparación con el dimensionado existente de estas redes y se evalúan los costes.

El desarrollo de la metodología se programa mediante el uso de QGIS 3 y la utilización de *Model Builder* con el que generar el procesado de datos. El *plugin* toma como datos de partida los puntos de alimentación de los hidrantes y los de vertido de caudales en cada parcela y determina el trazado óptimo mediante una capa *ráster* que contiene información del tipo de vía por el que se está trazando. Finalmente, el mismo determina la longitud geométrica y el diámetro nominal (DN) a partir de criterios de velocidad y pérdidas de carga.

Esta herramienta reduce los tiempos de trazado y dimensionado de este tipo conducciones en la fase de diseño de proyectos y optimiza tanto la longitud de trazado como el diámetro nominal de la conducción. Además, de forma automática, evita aquellos trazados por los que no es viable hacer pasar la conducción o que pueden generar problemas a la hora de la ejecución.

Para justificar su validez, se ponen en comparación los costes de conducciones reales que tienen estas redes con aquellos obtenidos mediante la metodología y los tiempos de obtención donde se consigue hasta un 31 % de ahorro total en algunas de ellas.



# XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



Por último, esta metodología genera capas en formato *shp* que pueden servir también para la generación de planos de proyecto de forma directa reduciendo así los tiempos de la fase de diseño del proyectista.

**Palabras clave:** Conducciones, SIG, optimización, Comunidad de Regantes.

**Abstract:** In the present study, 12 irrigable surfaces belonging to different Irrigation Communities and other irrigation entities in the Valencian Community have been evaluated. These irrigable areas consist of a distribution network that supplies various multi-user hydrants distributed throughout the irrigable surface, which in turn supply individual intakes that distribute volumes to each of the plots.

The objective of the study is to develop a methodology that automates the process of tracing intakes to plots from the multi-user hydrants using Geographic Information Systems (GIS). To do this, we start with the initial data of the hydrants located on the irrigation network and the point of intake at each plot. The results are compared with the existing sizing of these networks, and the costs are evaluated.

The methodology's development is programmed using QGIS 3 and the use of Model Builder to generate data processing. The plugin takes the hydrant intake points and the flow discharge points in each plot as input data and determines the optimal route using a raster layer that contains information about the type of road on which the tracing is being done. Finally, it determines the geometric length and the nominal diameter (DN) based on criteria of speed and head losses.

This tool reduces the tracing and sizing times of these conduits in the project design phase and optimizes both the tracing length and the nominal conduit diameter. Furthermore, automatically, it avoids routes through which it is not feasible to pass the conduit or that may generate problems during execution.

To justify its validity, the costs of real conduits in these networks are compared with those obtained using the methodology, and the time of obtaining results, where up to a 31% total savings is achieved in some cases.

**Key words:** Pipes, GIS, optimization, Water Users Associations (WUA).

## 1 Introducción.

Para un correcto diseño de las instalaciones de regadío se deben utilizar metodologías que garanticen tanto una alta eficiencia hídrica como energética y que las mismas sean de mínimo coste de instalación [1] y explotación [2]. Es frecuente que este tipo de redes se caractericen por tener un sistema de captación ya sea mediante canal o pozo, una red de distribución hasta el punto de alimentación conocido como hidrante multiusuario y una red terciaria compuesta por las tomas a parcela.

Las redes de distribución suelen diseñarse, por un lado, mediante la propia experiencia del ingeniero en el caso del trazado y la ubicación de hidrantes multiusuario y, se dimensionan mediante técnicas de optimización técnico-financieras donde el objetivo es minimizar una función de costes.

En el caso del trazado de la red terciaria en la mayoría de casos se disponen donde el proyectista considera sin que existan criterios técnicos que lo avalen o metodologías para su localización con criterios consensuados y homogéneos [3]. En ocasiones, esta deficiencia técnica en el diseño desencadena en problemas de falta de presión en la fase de explotación [4].

Por tanto, existe una gran diferencia entre las técnicas con un grado de optimización alto, utilizadas para la red de distribución con las utilizadas para el dimensionado de la red terciaria.

Es por ello, que mediante el presente trabajo se va a elaborar una metodología basada principalmente en la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la optimización y trazado automatizado de la red terciaria de una red colectiva de riego a presión.

Los resultados de costes obtenidos con la metodología planteada se pondrán en comparación con los de las redes existentes diseñadas por ingenieros proyectistas dedicados a este ámbito pudiéndose ver el ahorro obtenido.

## 2 Materiales y métodos.

### 2.1 Casos de estudio.

Este estudio ha sido realizado sobre doce superficies regables de la Comunidad Valenciana pertenecientes a diferentes Comunidades de Regantes u otras entidades de riego.

La selección de las zonas regables se llevó a cabo con el objetivo de obtener casos de estudio representativos del regadío valenciano. Así, los resultados obtenidos podrán ser extrapolables a zonas con características similares.

Estos casos de estudio tienen en común que pertenecen a zonas de regadíos consolidados y que su grado de parcelación está comprendido entre 0,25 ha y 1,25 ha por parcela. Las superficies de los mismos oscilan entre 116,80 ha y 180,83 ha.

En la Figura 1 se puede ver la ubicación de las superficies de los casos de estudio:

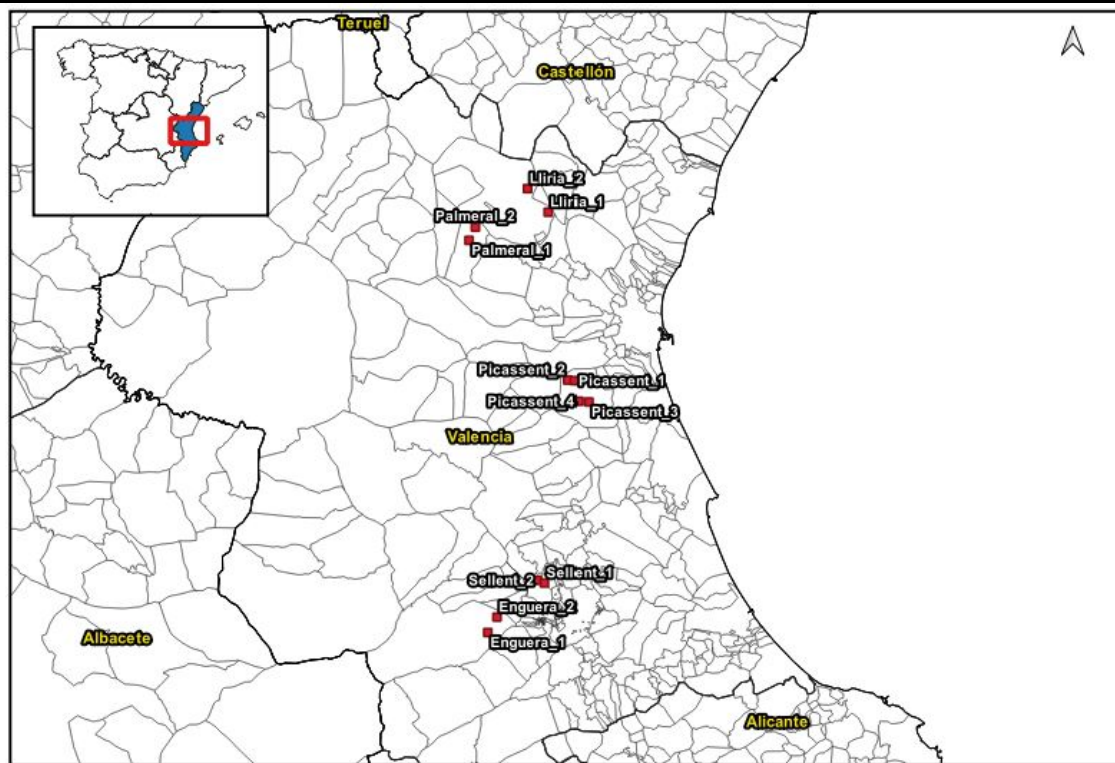


Figura 1: Distribución geográfica de los casos de estudio.

## 2.2 Metodología aplicada.

En el presente trabajo se propone una metodología que permita determinar de forma automática el trazado óptimo para las tomas a parcela, así como su dimensionado óptimo y que minimice tanto el coste total de la misma como las afecciones provocadas por su trazado. Para ello, se pone en comparación con las redes existentes de los casos de estudio.

### 2.2.1 Datos de partida.

Para que los resultados sean comparables se conocen los puntos de partida y finales en el trazado de las tomas a partida. En este caso, el punto de partida se corresponde con el hidrante multiusuario mientras que el punto final se trata del punto de consumo en parcela. En la siguiente imagen se puede observar un hidrante que abastece a siete parcelas de la superficie regable.

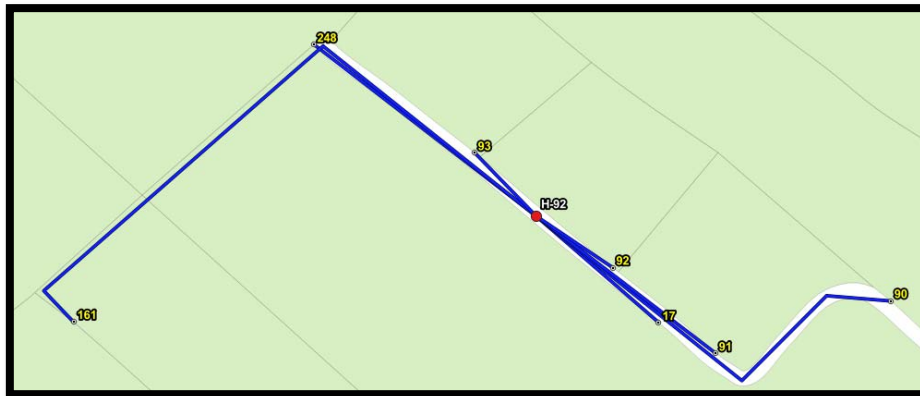


Figura 2: Ejemplo de ubicación de hidrante multiusuario y puntos de consumo en parcela.

## 2.2.2 Criterios de diseño de conducciones.

### 2.2.2.1 Caudales de diseño.

El caudal de diseño de cada parcela corresponderá al producto del caudal por unidad de superficie  $Q_u$  obtenido del diseño agronómico correspondiente. Con el fin de no sobredimensionar las conducciones, se considerará cierta sectorización interior en función del área regable de la parcela para aquellas de mayor tamaño. Como criterio de sectorización en función de la superficie se va a tomar el siguiente:

- Tipo Toma 1 (sup. < 2,5 ha) ..... 1 sector
- Tipo Toma 2 (2,5 ha ≤ sup. < 5,0 ha) ..... 2 sectores
- Tipo Toma 3 (5,0 ha ≤ sup. < 10,0 ha) ..... 3 sectores
- Tipo Toma 4 (10,0 ha ≤ sup. < 15,0 ha) ..... 4 sectores
- Tipo Toma 5 (sup. > 15,0 ha) ..... 5 sectores

### 2.2.2.2 Cálculo de pérdidas de carga.

Para determinar las pérdidas de carga  $h_r$  en la conducción se va a utilizar la ecuación de *Veronesse-Datei* recomendada para materiales plásticos. La ecuación es:

$$h_r = k_m \cdot 0,00092 \cdot L \cdot \frac{Q_u^{1,8}}{D_i^{4,8}} \quad (1)$$

Donde:

- L: longitud de la conducción (m).
- $Q_u$ : Caudal en la conducción ( $m^3/s$ ).
- $D_i$ : diámetro interior de la conducción (m).

- $k_m$ : coeficiente mayorante de pérdidas de carga localizadas.

### 2.2.3 Resistencias de trazado.

Puesto que el trazado de una conducción no implica los mismos costes y afecciones según el tipo de vía sobre el que se lleve a cabo, se han obtenido unos coeficientes de ponderación de la longitud de la conducción para poder llevar a cabo la toma de decisiones. Los mismos se han obtenido a partir de la experiencia de ingeniero proyectistas y aplicando la metodología de la Teoría de la Decisión Multicriterio AHP propuesto por Th. Saaty en 1980 [5]. Los valores de resistencia se obtienen relativos al menor de ellos.

Los coeficientes obtenidos son los siguientes.

Tabla 1: Índices de resistencia de los elementos de trazado.

Elemento	Índice de resistencia
Red local Comunidad Autónoma	6,32
Vías pecuarias	1,89
Caminos Rurales asfaltados	3,33
Caminos Rurales sin asfaltar	1,00
Caminos Rurales Secundarios sin asfaltar	1,36
Lindes de parcelas catastrales	2,23

### 2.2.4 Metodología de trazado.

Mediante el algoritmo de Dijkstra [6] se van a obtener cada uno de los trazados de conducciones tanto de tomas a parcela entre los hidrantes multiusuario y los puntos de alimentación.

Los valores obtenidos mediante análisis multicriterio por el método AHP [5] actuarán como resistencias de trazado en los arcos que forman cada uno de los nodos.

Ante la magnitud de datos que suponen las superficies de riego de los casos de estudio o de cualquier red de estas características que se quiera analizar, es imprescindible disponer de herramientas informáticas que automaticen estos procesos. En este caso, se va a implementar el proceso en un entorno SIG, en este caso utilizando QGIS 3.X.

#### 2.2.4.1 Elementos vectoriales.

Con la información catastral definida, se identifican los caminos y vías candidatos expuestos anteriormente. Los datos catastrales son elementos vectoriales, en este caso de tipo polígono. Los mismos, en su interior carecen de nodos desde los cuales se puedan trazar arcos, lo que dificulta la tarea de trazar conducciones sobre los mismos, pues no se existen puntos de referencia.



En la Figura 3 se puede ver como los vértices de los polígonos no permiten grandes posibilidades de trazado. No existe conexión entre todos ellos y se podrían obtener trazados poco reales y excesivamente largos. Se puede ver un ejemplo entre la diferencia entre el trazado de menor longitud y el trazado entre nodos adyacentes de un polígono.

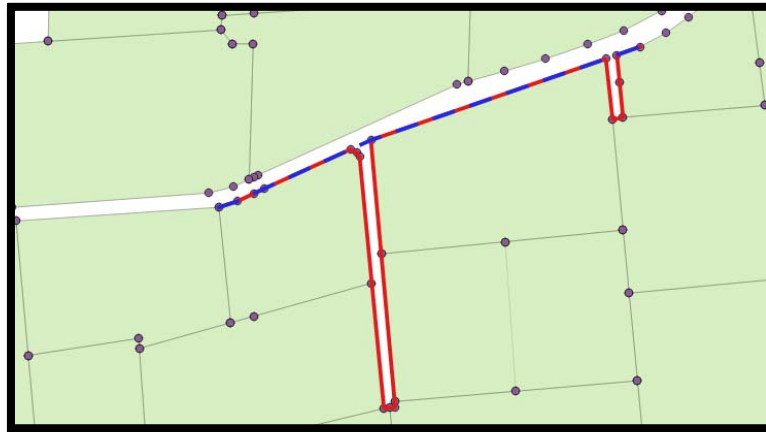


Figura 3: Trazado vectorial. Trazado más corto (amarillo) y trazado entre nodos adyacentes (rojo).

Los resultados que se obtengan con dicha metodología pueden no ser concluyentes y llevar a soluciones poco reales en referencia a las redes de riego. Por tanto, la solución pasa por rasterizar los datos vectoriales tal y como se expone en el siguiente punto.

#### 2.2.4.2 Rasterización de datos vectoriales.

El objetivo es conseguir una base de trazado que permita moverse en cualquier dirección sin que existan zonas aisladas que lleven a trazados de mayor longitud. La solución que se plantea en el presente texto es el rasterizado de objetos vectoriales en un entorno SIG.

En este caso el valor de cada pixel viene derivado de la resistencia al trazado definida anteriormente. Se ha considerado utilizar un tamaño de pixel de 1,0 m. Valores mayores generan demasiados huecos que crean cierto *zig-zag* en el trazado y, valores menores generan archivos muy pesados que ralentizan el proceso sin llevar a soluciones más definidas.

En la Figura 4 se pueden ver los objetos vectoriales con su identificación del tipo de vía trazado. Este es el elemento de entrada en el proceso de rasterizado.

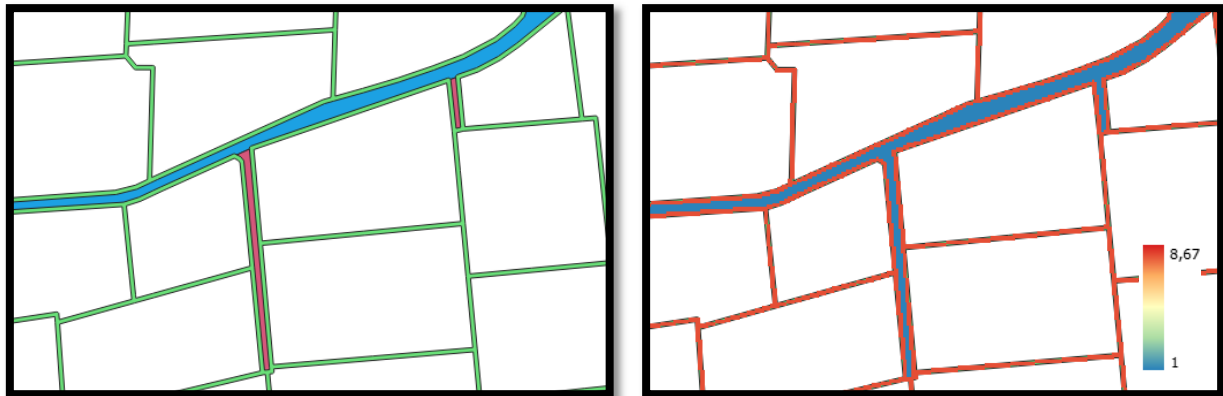


Figura 4: Identificación de vías y caminos de trazado. Datos vectoriales (izq.) y raster (der.)

### 2.2.4.3 Obtención del trazado.

Con los valores de resistencia definidos e implementados sobre un objeto ráster, es momento de obtener el trazado de cada una de las tomas candidatas entre los puntos de alimentación definidos y los hidrantes. Para ello, se va a automatizar el proceso mediante la herramienta de *Model Builder* de QGIS 3.X.

Esta herramienta permite, mediante una interfaz gráfica, asignar diferentes cálculos encadenados donde se introducen los datos de partida mediante *inputs* y se obtiene un resultado final.

El objetivo es que, conocidos los puntos de alimentación de cada una de las parcelas regables, y la ubicación de los hidrantes se establezca el trazado de menor resistencia. En ese mismo proceso, se dimensiona la toma con los criterios hidráulicos anteriormente definidos.

### 2.2.4.4 Interfaz gráfica.

La interfaz gráfica que se genera para la introducción de datos es la siguiente:

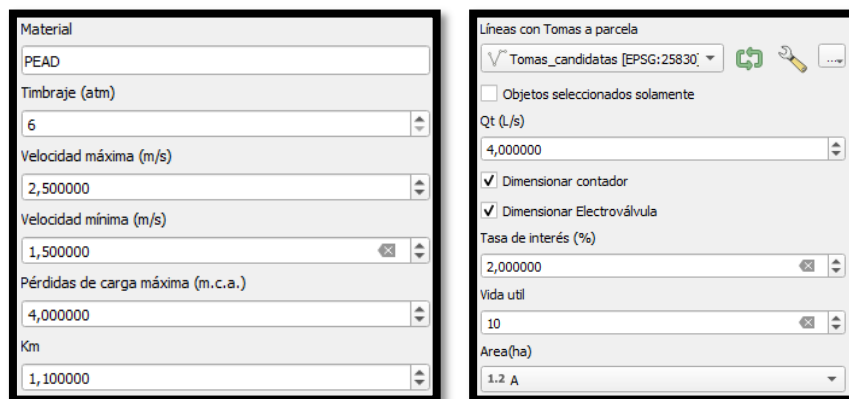


Figura 5: Interfaz para introducción de datos en el trazado de tomas.

En la siguiente figura se puede observar el resultado que se obtiene tras ejecutar el programa de trazado de tomas a parcela. En él se obtienen los trazados menos resistentes con el diámetro de conducción optimizado desde cada hidrante hasta el punto de consumo definido. Además, estos elementos gráficos contienen valores



paramétricos donde se define el diámetro nominal de la conducción, su longitud geométrica, el caudal circulante, etc.



Figura 6: Resultado del trazado automático de tomas a parcela.

### 3 Resultados y discusión.

#### 3.1 Costes derivados de la instalación de tomas a parcela.

Para cada uno de los casos de estudio, se han evaluado los costes derivados de la instalación de la red terciaria aplicando la metodología expuesta y se han puesto en comparación con el dimensionado de ingenieros proyectistas expertos en materia de regadíos. Los resultados son los siguientes:

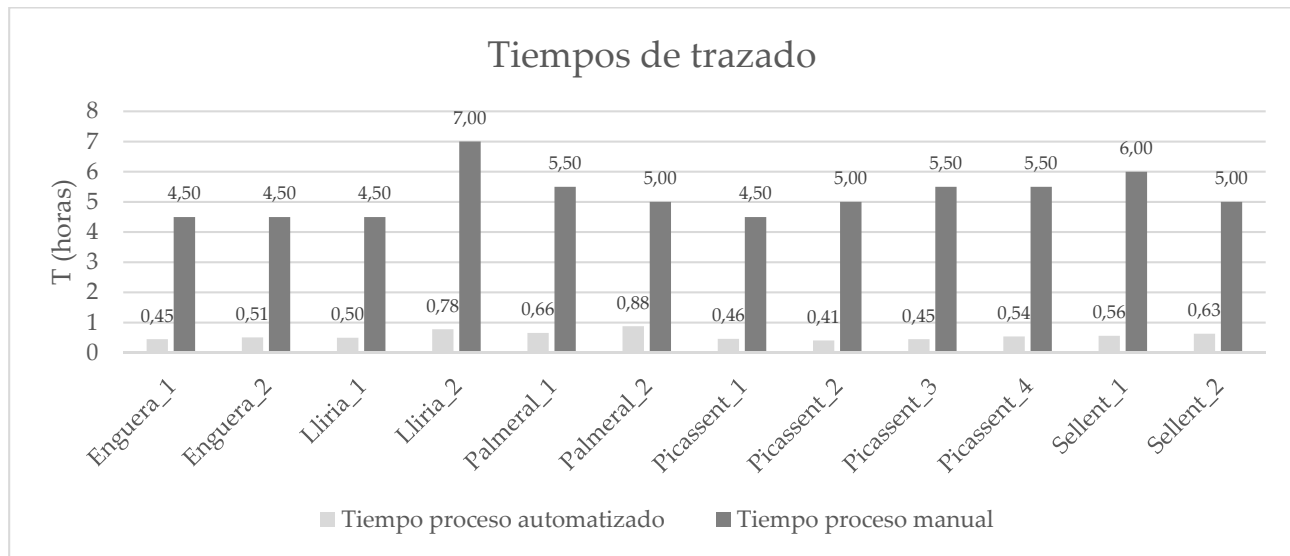
Tabla 2: Resumen de costes totales aplicando el método y sin aplicación.

Red	Sup. (ha)	Coste Metodología (€/ha)	Coste Externo (€/ha)	Variación
Enguera_1	119,52	1.909,04	2.096,24	8,93%
Enguera_2	126,58	2.049,44	2.187,48	6,31%
Lliria_1	119,76	1.505,50	1.785,74	15,69%
Lliria_2	180,83	1.463,09	1.671,24	12,46%
Palmeral_1	116,80	2.215,76	2.633,45	15,86%
Palmeral_2	148,76	1.467,11	1.704,29	13,92%
Picassent_1	120,61	1.704,59	1.899,95	10,28%
Picassent_2	131,33	1.690,84	1.891,86	10,63%
Picassent_3	120,32	2.042,84	2.619,49	22,01%
Picassent_4	120,02	1.552,93	1.645,44	5,62%
Sellent_1	119,08	2.124,44	2.493,15	14,79%
Sellent_2	140,70	1.676,97	2.437,20	31,19%

Se puede ver como en todos los casos se obtiene un coste menor comprendido entre el 5,62 % y el 31,19 %. El valor promedio de variación es de 13,97 %.

### 3.2 Tiempos de ejecución.

En referencia a los tiempos de ejecución de las tomas a parcela, en cuanto a la fase de proyecto se refiere, se muestran los obtenidos mediante la aplicación en QGIS 3 y los manifestados por los expertos en la materia sobre las redes diseñadas. Como se puede observar se obtienen reducciones de tiempo de trazado de entre el 87 y 92 %.



## 4 Conclusiones.

En este punto se exponen las principales conclusiones obtenidas durante el desarrollo del estudio, así como el análisis de los resultados anteriores.

La automatización del trazado de tomas a parcela utilizando el algoritmo de *Dijkstra* tomando como base de trazado una imagen ráster generada a partir de diferentes resistencias obtenidas de la aplicación del método de análisis multicriterio AHP, permite obtener los trazados de cada toma con menor resistencia para cada combinación hidrante – toma. La obtención del trazado geométrico, en lugar del euclídeo, permite dimensionar las conducciones con criterios de pérdidas de carga con resultados muy cercanos a la realidad pudiendo así obtener los costes totales de la instalación de las conducciones.

Los tiempos de trazado en la fase de proyecto se reducen considerablemente por lo que la combinación ahorro de coste de instalación y ahorro de tiempo en la fase de proyecto validan la utilización de la aplicación.

## 5 Bibliografía.

1. Arviza Valverde, J. Diseño y dimensional de la red de transporte en un sistema de riego localizado. Datos de partida, topología y trazado. - Universidad Politécnica de Valencia 2017.
2. Lapo, C.M.; Pérez-García, R.; Aliod-Sebastián, R.; Martínez-Solano, F.J. Diseño óptimo de redes de riego a turnos y caracterización de su flexibilidad. *Tecnol. y Ciencias del Agua* **2020**, *11*, 266–314,



# XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



---

doi:10.24850/j-tyca-2020-01-07.

3. García Prats, A. Definición en planta de redes de riego a presión de mínimo coste de implantación y gestión mediante sistemas de información geográfica [Recurso electrónico-CD-ROM] 2005.
4. González-Pavón, C.; Arviza-Valverde, J.; Balbastre-Peralta, I.; Carot Sierra, J.M.; Palau-Salvador, G. Are Water User Associations Prepared for a Second-Generation Modernization? The Case of the Valencian Community (Spain). *Water* **2020**, *12*, 2136, doi:10.3390/w12082136.
5. Saaty, T.L. *The Analytic Hierachy Process* RWS Publications, Pittsburgh, PA (1990). First appeared: McGraw Hill, New York, USA.; 1980;
6. Dijkstra, E.W. A note on two problems in connection with graphs. *Numer. Math.* **1959**, *1*, 269–271.