

## Introducción

Dentro de las competencias profesionales del Ingeniero Agrónomo está el dimensionamiento y gestión de redes de distribución de agua para riego.

La distribución del agua de riego puede organizarse de muy diferentes maneras. En tiempos pasados la forma más común fue la de turnos de riego, que consiste en que el regante o un grupo de ellos solamente pueden disponer del agua unas determinadas horas de unos determinados días de un período dado, conocido como turno de riego. Una ventaja de este sistema es que optimiza bastante la inversión inicial y facilita la gestión económica del suministro. Como desventaja principal se puede mostrar la gran incomodidad del sistema y por lo tanto una tendencia al sobreriego de las parcelas.

Actualmente se piensa menos en el coste de inversión y se tiene más en cuenta todos los costes derivados del mantenimiento y de la gestión del recurso y fundamentalmente la comodidad del usuario. Por estos motivos el tipo de red de distribución más instalada actualmente en los países desarrollados es la red de distribución a la demanda. El fin de una red de riego colectiva a la demanda es la de garantizar a cada usuario la posibilidad de disponer, en cada una de las diferentes tomas de riego un determinado caudal con una presión adecuada. Además, se deberán evacuar los sobrantes del riego de cada parcela y el acceso a las mismas mediante una infraestructura viaria. Se ha de considerar tanto el diseño a priori como su explotación posterior.

El cálculo de las redes de riego, cualquiera que sea el modo de distribución del agua previsto, se realiza con las siguientes etapas sucesivas, básicamente, delimitar la Zona Regable, ubicar las fuentes, trazar la red de distribución, calcular los caudales por tramos y dimensionar la red de distribución. Además, se ha de considerar otros condicionantes como son las estaciones de bombeo, los cultivos de la zona regable y el factor agua.

- 1) **Caracterización del área de riego:** Lo primero que se debe hacer es identificar el área de riego en la que se desea implementar la red de distribución de agua. Esta área debe estar delimitada claramente y debe ser lo suficientemente grande como para justificar la inversión en una red de distribución de agua. Dentro de este apartado se debe hacer un estudio del suelo y el clima para determinar las necesidades de agua de los cultivos y la capacidad del suelo para retener la humedad. Esto permitirá diseñar una red de distribución de agua que sea adecuada para las condiciones específicas del área de riego.
- 2) **Caracterización de la fuente de agua:** Se debe determinar la fuente de agua para la red de distribución de agua. Esto puede incluir agua subterránea, agua de superficie o agua tratada. Se deben considerar los costos, la calidad del agua y la disponibilidad de la fuente de agua al hacer esta selección.
- 3) **Dimensionamiento de la red de distribución de agua:** Con la información recopilada en los pasos anteriores, se debe diseñar la red de distribución de agua. Esto incluirá la selección de las tuberías, las bombas y los accesorios necesarios para distribuir el agua de manera eficiente. También se debe tener en cuenta la topografía del área de riego y la ubicación de los cultivos al diseñar la red de distribución de agua.
- 4) **Estudio de costes:** Se debe hacer un estudio de costes detallado para determinar el coste total del proyecto, incluyendo los de materiales, mano de obra y equipos necesarios. También se deben considerar los de operación y mantenimiento de la red de distribución de agua a largo plazo.

## Cálculo hidráulico

Para el cálculo hidráulico se va a utilizar el programa EPANET en su versión original o bien en su versión en español. La razón principal de esta elección es que EPANET es gratuito y facilita las prácticas de los estudiantes. Se puede descargar fácilmente de las direcciones siguientes:

<https://www.epa.gov/water-research/epanet>

<http://www.instagua.upv.es/epanet/EpanetCastellano.htm>



Figura 1. Resultados de la búsqueda de EPANET en la web

La opción en español es más cómoda y se puede guardar el archivo ejecutable e instalar más adelante.



Figura 2. Pantalla de descarga del programa EPANET

La instalación es sencilla y se puede escoger el lugar de instalación, incluso un pendrive.

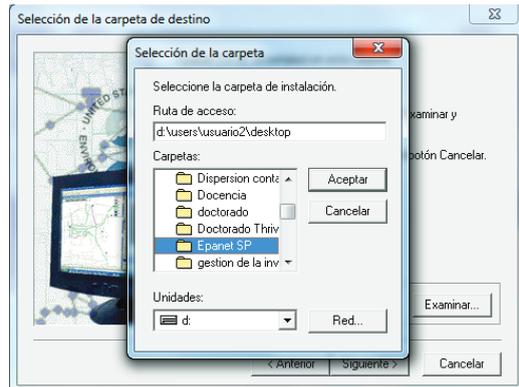
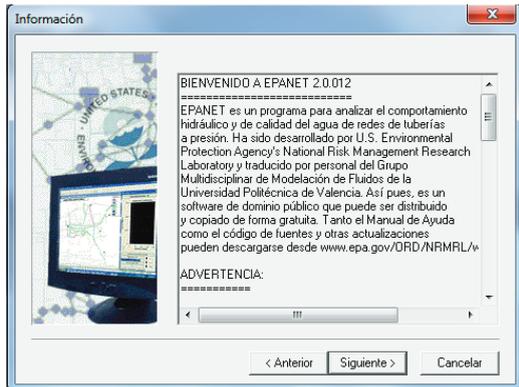


Figura 3. Pantallas de instalación de EPANET

Para un correcto funcionamiento del programa es necesario cambiar la configuración regional de los números para que los decimales estén en formato anglosajón (punto como separador en vez de coma). En caso contrario habrá problemas de compatibilidad al ejecutar el archivo.

El menú inicio es típico de cualquier programa comercial.

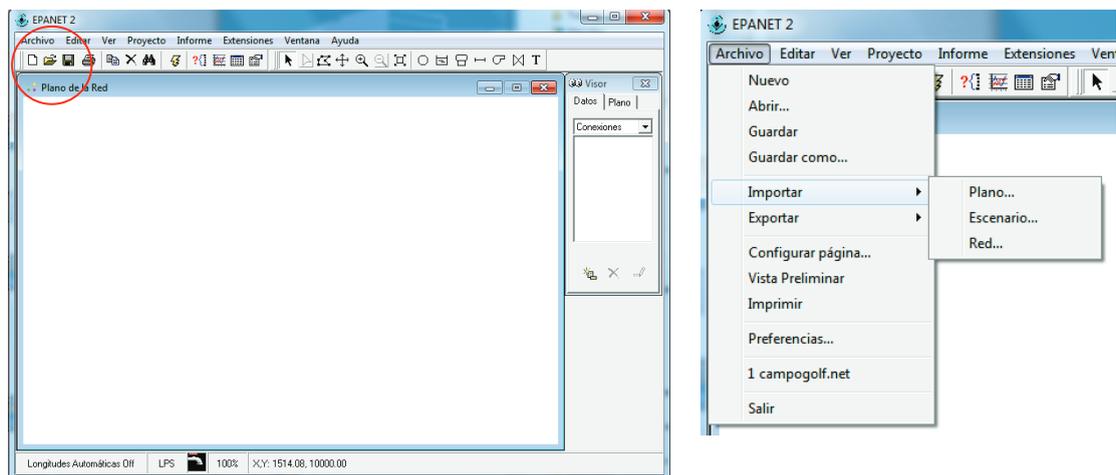


Figura 4. Aspecto del menú Archivo de EPANET

Se pueden ver las unidades que emplea el programa mediante el menú de ayuda. Es importante seleccionar una unidad de caudal del Sistema Internacional para que todo el cálculo se realice en este Sistema de Unidades. Esta operación puede realizarse desplegando el menú

## Caracterización del área de riego

Se va a escoger una zona en la que se muestren parcelas evidentes para seguir los pasos antes mencionados de elaboración de una red de distribución a parcela a la demanda. Se van a utilizar programas y herramientas informáticas sencillas para facilitar la comprensión del proceso, pero sin perder de vista las alternativas más rigurosas que de verían ser empleadas en caso de un trabajo profesional.

La delimitación de la zona regable está basada técnicamente en el estudio de los recursos hidráulicos disponibles y en la determinación de la aptitud de las tierras para el regadío. Además, deben conocerse las condiciones sociales y ambientales del área del proyecto. Los recursos hidráulicos deben comenzar por un estudio hidrológico de la zona que determine una posible escasez del recurso agua.

Se necesita conocer el recurso hídrico que se van a utilizar en la transformación, tanto desde el punto de vista de cantidad disponible como de calidad del agua (IRYDA, 1981); la situación geomorfológica, pendiente natural de los terrenos y riesgos de erosión.

Por otra parte, la superficie regada en el periodo punta raramente sobrepasa el 80% de la superficie equipada (servida o implantada) según Clément.

### Selección de la zona regable

Para hacer más sencillo el proceso se tomará una imagen de la zona a estudiar. El programa *Google Earth* puede ser de utilidad para capturar el fondo de pantalla que utilizará *EPANET*.

Otras posibilidades son el uso de *SigPac*, *Catastro* o directamente utilizar un SIG (ver Anexo VIII).

Para este caso hemos seleccionado una zona cercana al río Almanzora, en el TM de Cantoria.



Figura 5. Zona seleccionada para el ejemplo



Figura 6. Zona de estudio

Previamente, en la imagen seleccionada hemos identificado las coordenadas de las esquinas inferior izquierda y superior derecha. Normalmente vienen en forma de coordenadas geográficas y debemos pasarlas a formato UTM. Entramos en [ver > dimensiones](#).



Figura 7. Georreferenciar la imagen en EPANET

Si trabajamos con QGIS, este paso será innecesario ya que el propio programa georeferencia los puntos.

Antes de proseguir debemos reunir información de la zona. Será imprescindible saber los aprovechamientos que queremos abastecer y los lugares en donde están los recursos que utilizaremos.

## Clima

Para la definición de las necesidades de los cultivos es necesario calcular el agua que es necesario aplicar a cada cultivo. Para esto se hace uso de una estación meteorológica cercana. En este caso se utilizará la estación de Tíjola, del Servicio de Asesoramiento al regante (SAR) de la Junta de Andalucía.

Los valores promedio, así como el *año mediana* (2012/13) pueden verse en

Tabla 1. Valores del año mediana y media general de la serie

media anual		T <sub>Max</sub>	T <sub>Min</sub>	T <sub>Med</sub>	Hum <sub>Med</sub>	Vel <sub>viento</sub>	Rad	Precip	E <sub>To</sub>	la
Año hidrológico		°C	°C	°C	%	m/s	MJ/m <sup>2</sup> /d	mm	mm	
2012	2013	21,3	9,0	14,5	62,3	1,8	17,4	296,0	1282,1	0,23
media anual		21.28	9,83	15,14	59,81	1,71	17,78	297,16	1294,48	0,23

El resto de la información se presenta en el Anexo I

## Ubicación de fuentes y tomas de suministro

El abastecimiento se obtiene por alumbramiento de aguas subterráneas o bien efectuando tomas en las corrientes superficiales.

El agua subterránea procedente de la infiltración natural a través del terreno está, por lo general, exenta de gérmenes patógenos, por lo que normalmente es utilizable sin tratamiento de ninguna clase. El agua de ríos o lagos tiene condiciones químicas y bacteriológicas muy variables (Uralita, 1990).

La captación en ríos y arroyos se realiza por medio de tomas de cauce, o en las márgenes de las corrientes de agua, previo estudio hidrológico, que justifique los caudales utilizables. Se realizará un estudio completo de las captaciones, de forma que se garantice su explotación en lo que se refiere a máximas avenidas, máximo estiaje, erosión, facilidad de explotación y limpieza, garantía de acceso, desagüe, garantía de suministro de energía,

En casos de tomas directas de canales, en los que se prevén interrupciones en el suministro para la conservación de los mismos, se tendrán en cuenta los posibles cortes por limpieza. La toma de agua en lagos y embalses se realizará mediante el establecimiento de torres de toma, o mediante tuberías a más o menos profundidad, y suficientemente alejados de la orilla, o en su caso tomar las medidas necesarias para garantizar la calidad del agua a utilizar del embalse (Hernández, 1990).

En este caso, al tratarse de un ejemplo, se va a colocar un pozo en un lugar cercano al cauce del río y se considerará que existe y tiene los correspondientes permisos.



Figura 8. Zona seleccionada para la ubicación de un pozo

### Calidad de los recursos disponibles

La calidad del agua de riego es importante y viene definida por su composición tanto química como física en las normas para evaluar el agua de riego del estudio FAO nº 29 "Calidad del agua para la agricultura" (Ayers, 1976). Los problemas provocados por la composición química del agua de riego en la relación suelo-planta más importante es la salinidad (CE), la permeabilidad (baja salinidad y SARaj), la toxicidad (sodio, cloro y boro principalmente) y efectos diversos (nitrógeno, bicarbonato y pH). La composición física del agua afecta tanto al filtrado como al desgaste de los rodetes en los bombeos

La calidad de las aguas nos determinará la fracción de lavado de sales que debemos aplicar y que siempre debe ser inferior al 30%.

Buscaremos las características de las aguas de la zona y las del acuífero que abastece al pozo. El agua de la zona tiene  $420 \mu\text{Sm}^{-1}$ , el acuífero será



Figura 9. Recorte del mapa hidrogeológico de la zona

[https://info.igme.es/cartografiadigital/datos/Hidrogeologico200/jpgs/IAuxiliar\\_Hidrogeologico\\_200\\_78.jpg](https://info.igme.es/cartografiadigital/datos/Hidrogeologico200/jpgs/IAuxiliar_Hidrogeologico_200_78.jpg)

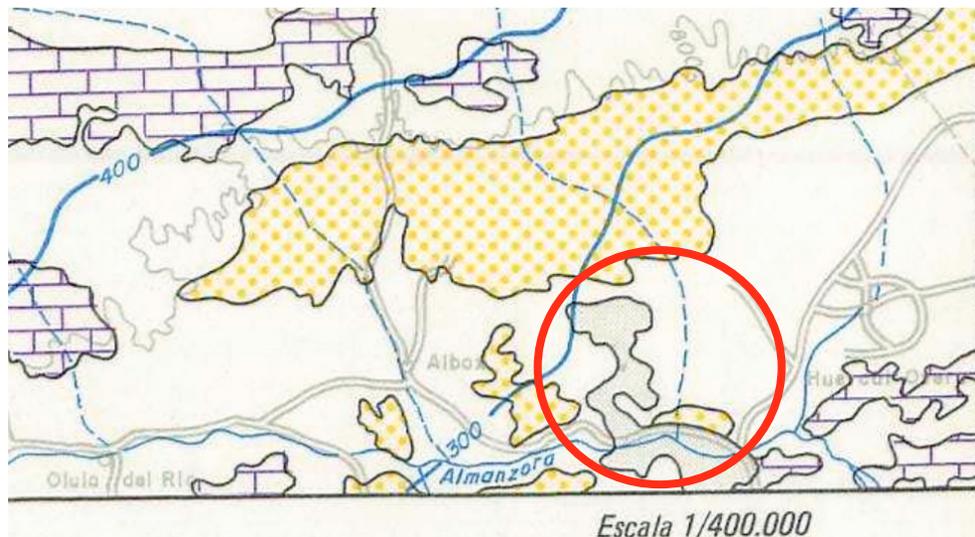


Figura 10. Isopiezas de la zona

La cota del nivel freático (según IGME) podría interpretarse como 280 msnm. No se dispone de datos de este acuífero concreto pero el colindante conocido como Cubeta de overa tiene valores de  $T=10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  y  $S=5\%$ . Para un trabajo profesional deberíamos recabar o mejorar esta información, pero en este caso de estudio utilizaremos estos valores.

El área de la zona regable es de una 9 has, con una dotación de  $6000 \text{ m}^3/\text{ha}$  (cítricos) se trataría de un volumen anual de  $54000 \text{ m}^3$ , lo que supone  $150 \text{ m}^3/\text{día}$ . Si se va a bombear solo las 8 h nocturnas, el caudal de extracción será de  $5,2 \text{ l/s}$

Utilizando estos datos y considerando régimen variable se obtiene un descenso en el pozo de  $4,5 \text{ m}$ , que deberán ser tenidos en cuenta a la hora de definir la bomba.

## Suelos

Comprobamos que los suelos de las parcelas seleccionadas son todos pertenecientes a la categoría de *Fluvisol calcárico*.

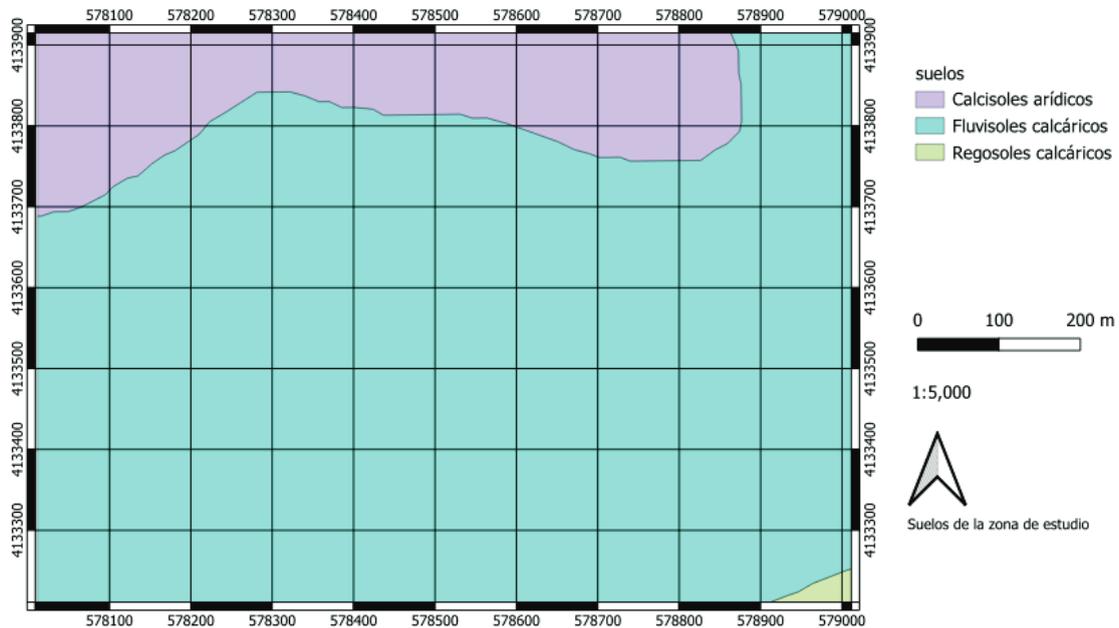


Figura 11. Mapa de suelos de la zona

La determinación de la aptitud de las tierras para regadío se desarrolla clásicamente por el sistema de clasificación de tierras de EE.UU. (USBR). Las principales características a tener en cuenta son (Clément, 1986):

- profundidad del suelo o espesor de los horizontes superiores fácilmente accesibles a las raíces
- naturaleza y grado de dureza de los horizontes profundos o subyacentes o substrato
- textura y carga pedregosa de los horizontes superiores
- importancia relativa de la reserva de agua fácilmente utilizable, estimada a partir de texturas y medidas de la humedad equivalente.

Examinando la documentación de LUCDEME para el tipo de suelo encontrado, Anexo II, vemos que la lámina recomendada es H=46 mm

## Aprovechamientos de la zona

Es necesario comprobar los usos que legalmente se tienen en la zona. Independientemente del cultivo real implantado en cada parcela, los derechos de agua suelen estar basados en el cultivo que se declara en cada parcela.

En nuestro caso, la mayor parte de la superficie está clasificada como cítricos y solamente algunos trozos de parcela lo están como hortícola. Por esta razón vamos a considerar como cultivo único de cítricos esta zona.

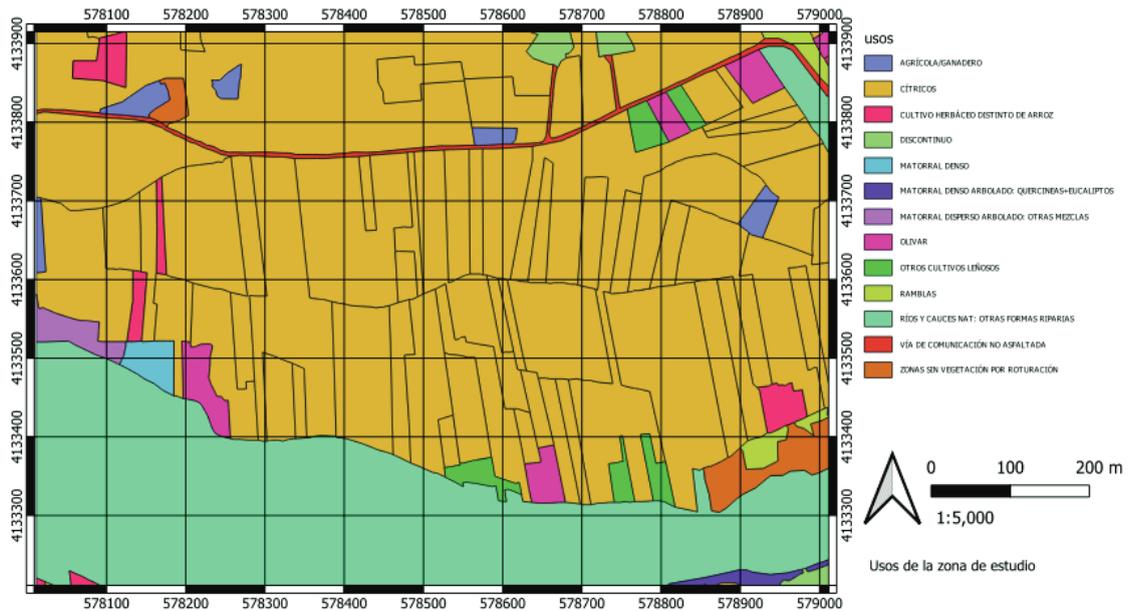


Figura 12. Usos de la zona seleccionada

### Selección de los nudos de la red de riego

Ahora abrimos EPANET y definimos el sistema de unidades y el tipo de cálculo. Observamos que por defecto aparece como “longitudes automáticas off”, debemos pasarlo a “Longitudes Automáticas On” (Botón derecho del ratón). También nos aseguramos que las unidades sean del S.I. viendo la unidad de caudal que aparece en la barra inferior (LPS significa litros por segundo e indica que el sistema de unidades es internacional).

En el menú “Ver” buscamos la manera de incorporar la imagen de la zona.

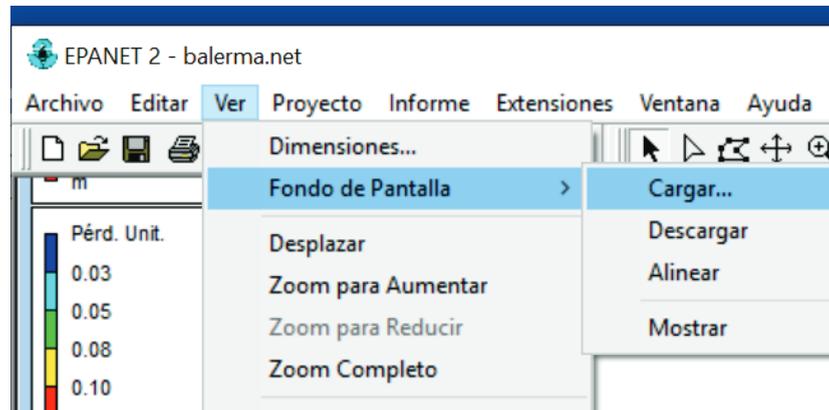


Figura 13 Incorporación de una imagen de fondo a EPANET

Una vez incorporada la Georreferenciamos como se ha indicado anteriormente.

Seleccionamos ahora los puntos donde pondremos los hidrantes, en general pensando en que deberán estar unidos por tuberías y éstas no deberían atravesar muchas fincas. Una vez hecho esto, exportamos la red y la editamos con cualquier editor de texto. Podemos identificar fácilmente las coordenadas de los puntos. Los disponemos en una hoja de cálculo para preparar la red.

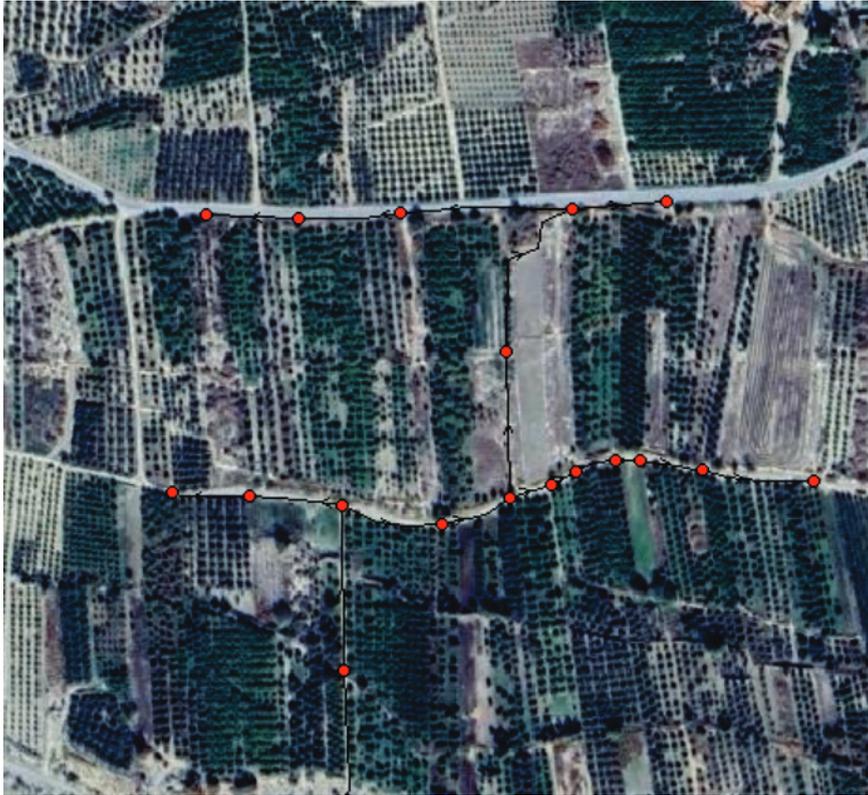


Figura 14. Colocación de los hidrantes en EPANET

Una vez hemos colocado los hidrantes, el programa ya les ha dado coordenadas UTM, que podemos exportar como archivo INP editable con un editor de texto.

Tabla 2. Coordenadas UTM de los Hidrantes

N	x	y
1	578399.50	4133382.94
2	578402.97	4133575.18
3	578464.45	4133563.06
4	578506.02	4133579.51
5	578531.13	4133587.31
6	578545.85	4133595.97
7	578570.10	4133602.90
8	578584.82	4133602.9
9	578622.93	4133596.83
10	578691.34	4133589.91
11	578376.12	4133751.84
12	578438.47	4133755.31
13	578503.42	4133669.58
14	578543.26	4133757.90
15	578601.28	4133762.23
16	578319.84	4133753.57
17	578345.81	4133580.38
18	578298.19	4133582.98
19	578403.83	4133473.87

## Obtención de la cota de cada hidrante

Para esta operación se pueden seguir dos caminos. El más sencillo, adecuado para trabajos docentes o anteproyectos consiste en seleccionar las cotas en la imagen que proporciona *Google Earth*, teniendo en cuenta que la precisión es de 1 m.

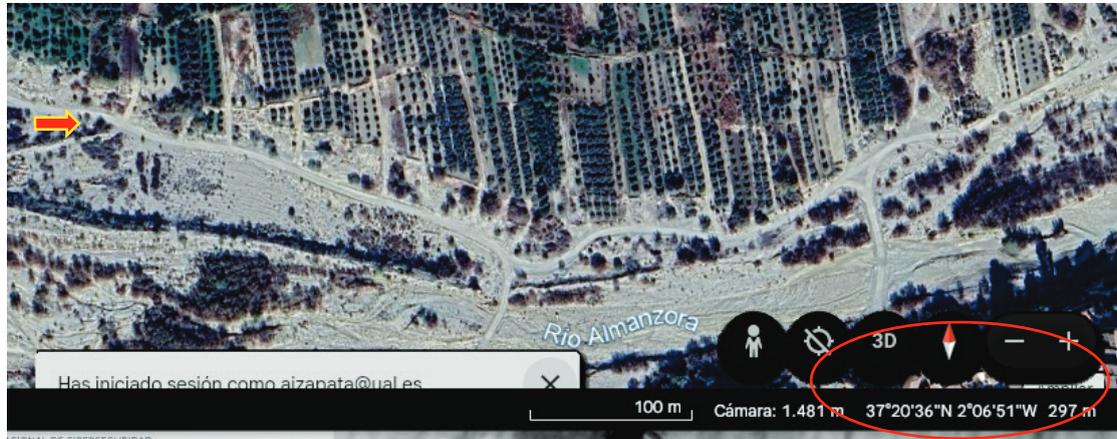


Figura 15. Imagen de Google earth mostrando coordenadas de un punto y su cota

La mejor opción para un trabajo profesional es obtenerlas de un MDT mediante un GIS. Debemos descargar un MDT del Servicio geográfico

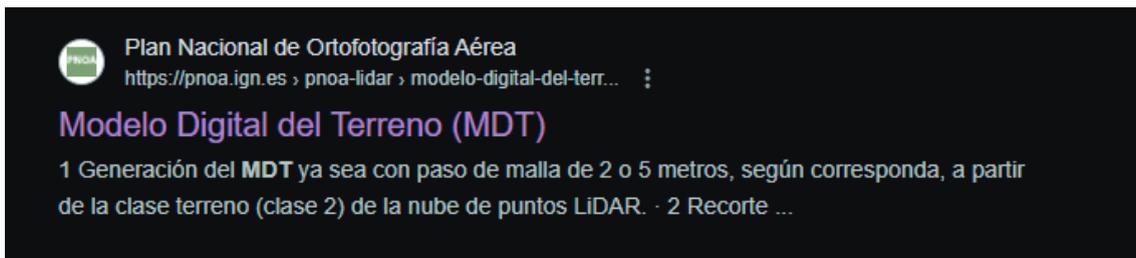


Figura 16. Aspecto de la búsqueda de MDT del Servicio Geográfico

Debemos conocer el número de la hoja que necesitamos y responder a una encuesta sobre el uso que se le va a dar a la información. Normalmente hay que citar el origen de los datos en el trabajo realizado.

También deberíamos descargar las parcelas catastrales que vamos a servir. Para esta operación es idónea la página del catastro virtual.

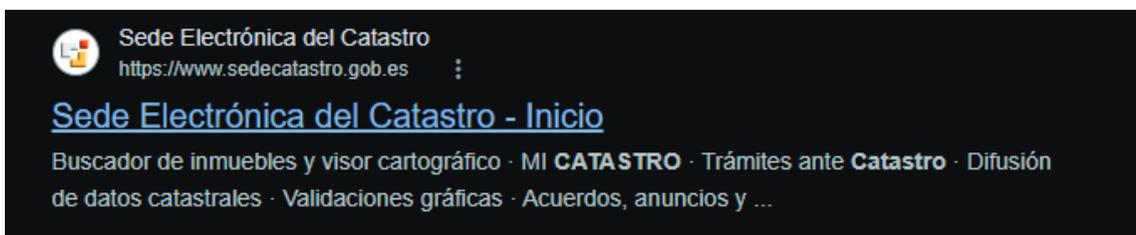


Figura 17. Aspecto de la búsqueda de la sede electrónica de catastro.

Se puede acceder gratuitamente a datos sin identificación personal. Buscando datos topográficos por polígono/parcela podemos seleccionar un grupo de parcelas colindantes. Después podemos exportar los datos como **dxf** (archivo de intercambio con varios programas gráficos).

Buscador de inmuebles X

Los campos marcados con \* son obligatorios

RC	CALLE/NÚMERO	POLÍGONO/PARCELA	COORDENADAS	CRU
Provincia	ALMERIA			
Municipio	CANTORIA			
Polígono	23	Parcela		

DATOS
CARTOGRAFÍA

Figura 18. Selección del tipo de datos que se visualizarán.

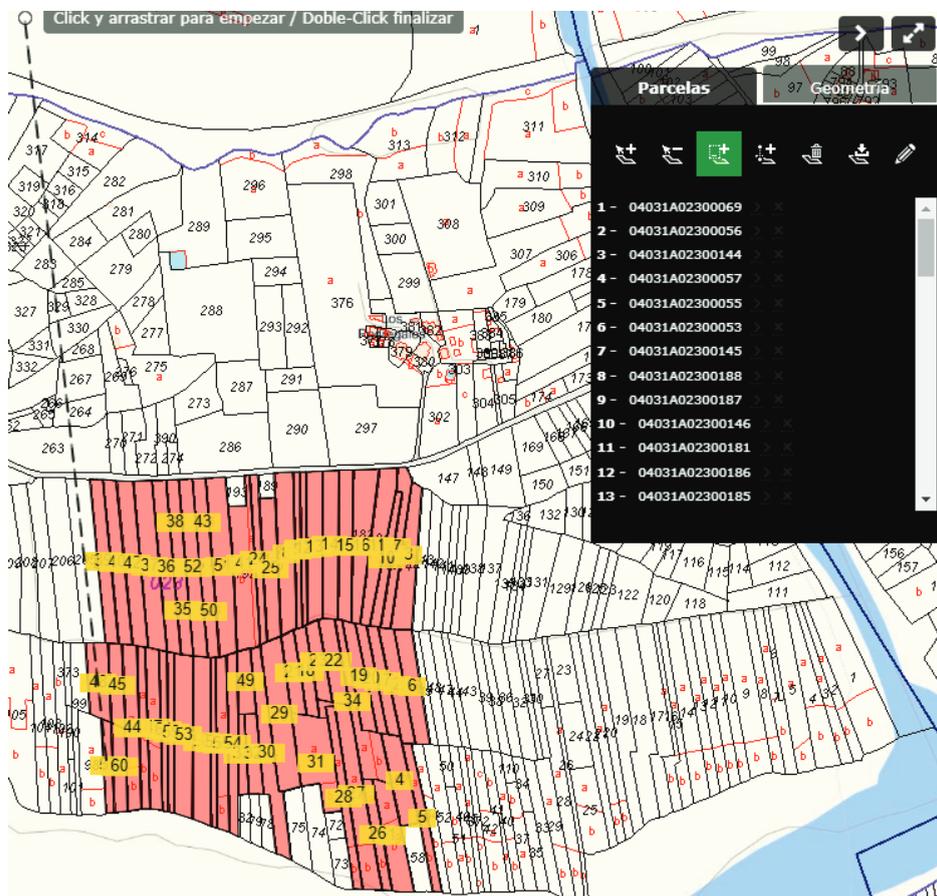


Figura 19. Parcelas seleccionadas y listas para su exportación

Si se le solicita descarga como **dx**f, aparece un archivo denominado genéricamente **ConsultaMasiva.dxf**, que se puede importar en un GIS

Para crear una capa con las coordenadas que obtuvimos de EPANET en primer lugar las copiamos en una hoja de Excel. Podemos incorporar una tabla a nuestro GIS seleccionando la herramienta de incorporar capa vectorial y dentro de la misma seleccionando una hoja Excel que las contenga.

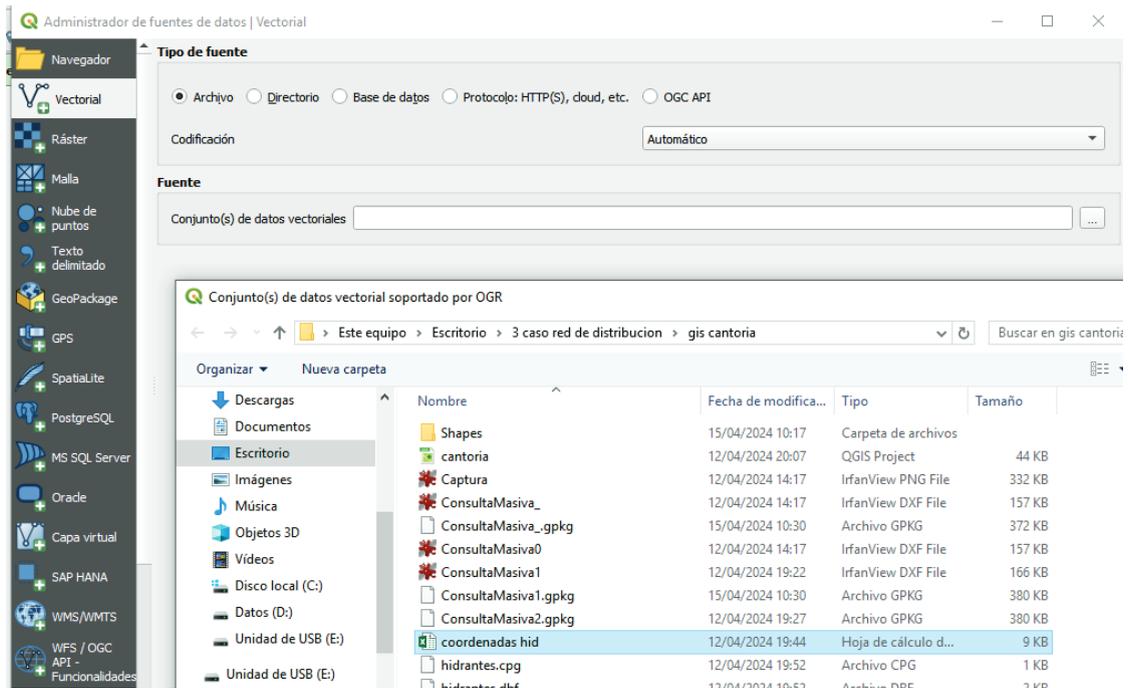


Figura 20. Añadir shapefile seleccionando una hoja Excel.

Después, una vez incorporada la tabla en QGIS verificamos que los campos están bien y vemos cuales son los que nos interesan. Para crear la capa debemos utilizar utilizamos el comando **Crear capa de puntos a partir de tabla**

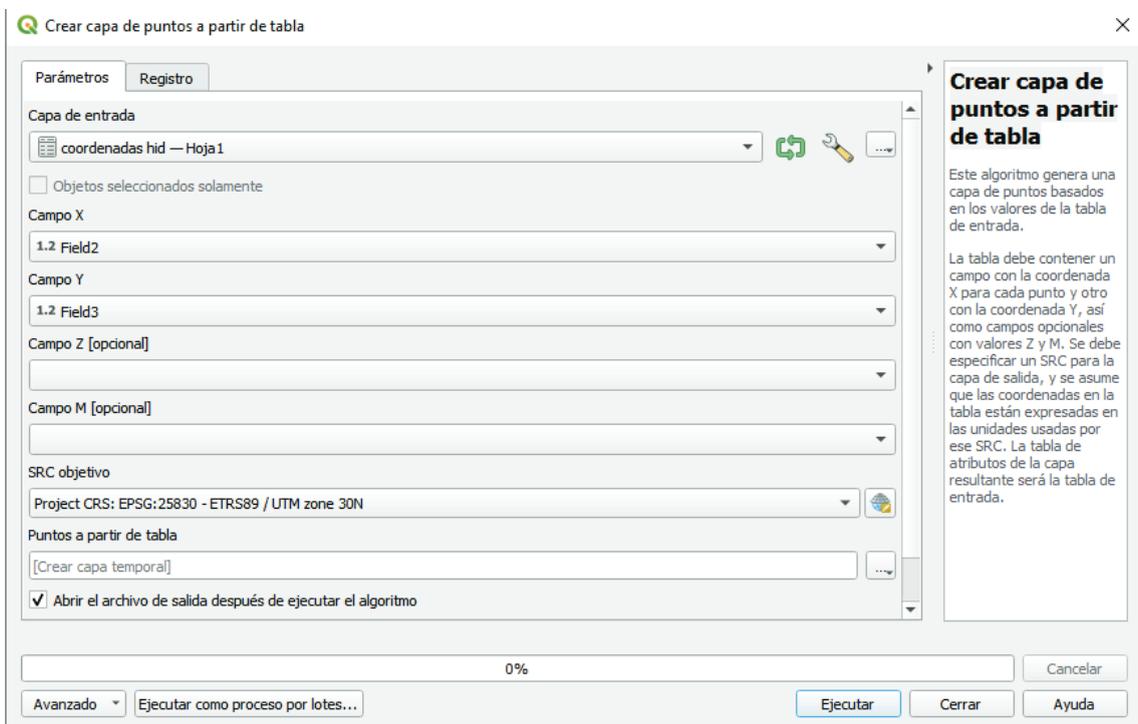


Figura 21. Crear capa a partir de tabla.

Y entonces ya tendremos nuestras coordenadas incorporadas a QGIS.



Figura 22. MDT, Parcelas y coordenadas de los hidrantes en QGIS

Ahora podemos usar el comando `Add ráster values to features`, indicando el archivo de puntos como shp y el mdt como grid.

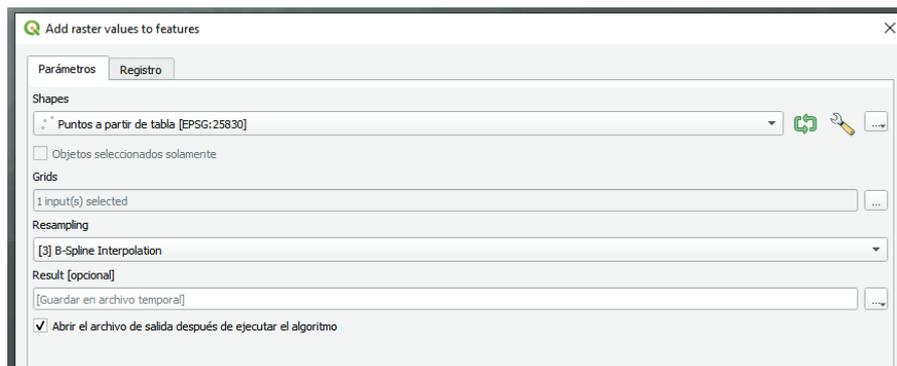


Figura 23. Añadir valores raster a campos

Y editando la tabla de atributos podemos ver las cotas con mucha más precisión. Se puede exportar como hoja Excel y seguir con nuestro diseño.

Result— Objetos Totales: 22, Filtrados: 22, Seleccionados: 0

	Field1	Field2	Field3	recorte9963
1	1	578399.5000000...	4133382.939999...	299.0671013700
2	2	578402.9700000...	4133575.180000...	301.2523350400
3	3	578464.4500000...	4133563.060000...	299.7734626300
4	4	578506.0200000...	4133579.509999...	299.7552456000
5	5	578531.1300000...	4133587.310000...	299.5952079700
6	6	578545.8500000...	4133595.970000...	299.5746522200
7	7	578570.1000000...	4133602.899999...	299.5470931800

Figura 24. Tabla de atributos mostrando las cotas de cada punto

La tabla de coordenadas quedaría como

Tabla 3. Coordenadas de los puntos de interés, incorporada la cota

Nº	X <sub>UTM</sub> (m)	Y <sub>UTM</sub> (m)	Z(m)
1	578399,50	4133382,94	299,07
2	578402,97	4133575,18	301,25
3	578464,45	4133563,06	299,77
4	578506,02	4133579,51	299,76
5	578531,13	4133587,31	299,60
6	578545,85	4133595,97	299,57
7	578570,10	4133602,90	299,55
8	578584,82	4133602,90	299,53
9	578622,93	4133596,83	299,37
10	578691,34	4133589,91	298,70
11	578376,12	4133751,84	305,23
12	578438,47	4133755,31	304,87
13	578503,42	4133669,58	301,90
14	578543,26	4133757,90	303,38
15	578601,28	4133762,23	304,15
16	578319,84	4133753,57	305,42
17	578345,81	4133580,38	300,90
18	578299,02	4133583,19	301,18
19	578403,83	4133473,87	301,05
22	578395,18	4133379,30	298,92
20	578352,41	4133370,53	298,71
21	578393,55	4133378,28	298,58

De mejor precisión que la obtenida con Google Earth.

### Definición de las unidades de riego

Hasta ahora hemos visto las parcelas originales que aparecen en catastro, pero para atender al suministro vamos a hacer agrupaciones que coincidan con los puntos de agua que hemos definido. Para hacer esta operación activamos la edición de la capa donde están las parcelas catastrales. Al modo de edición se entra pulsando el pequeño lápiz  que hay en el menú. Vamos a agrupar las parcelas por proximidad.

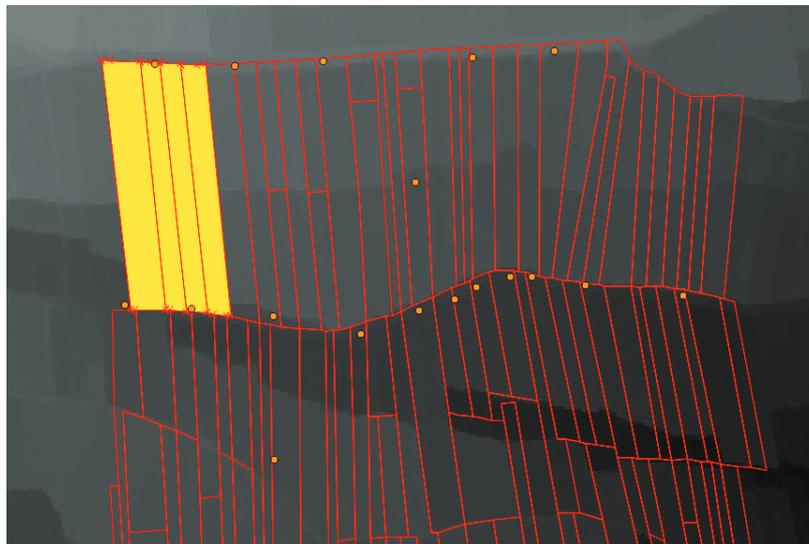


Figura 25. Selección de las parcelas que vamos a fusionar

La selección se hace activando el modo de lección por rectángulo.  Una vez seleccionado se le dice que queremos unir estos elementos  Una vez agrupamos todas las parcelas le decimos que queremos salvar la capa como otro nombre (si queremos conservar los datos originales) y descartamos los cambios).

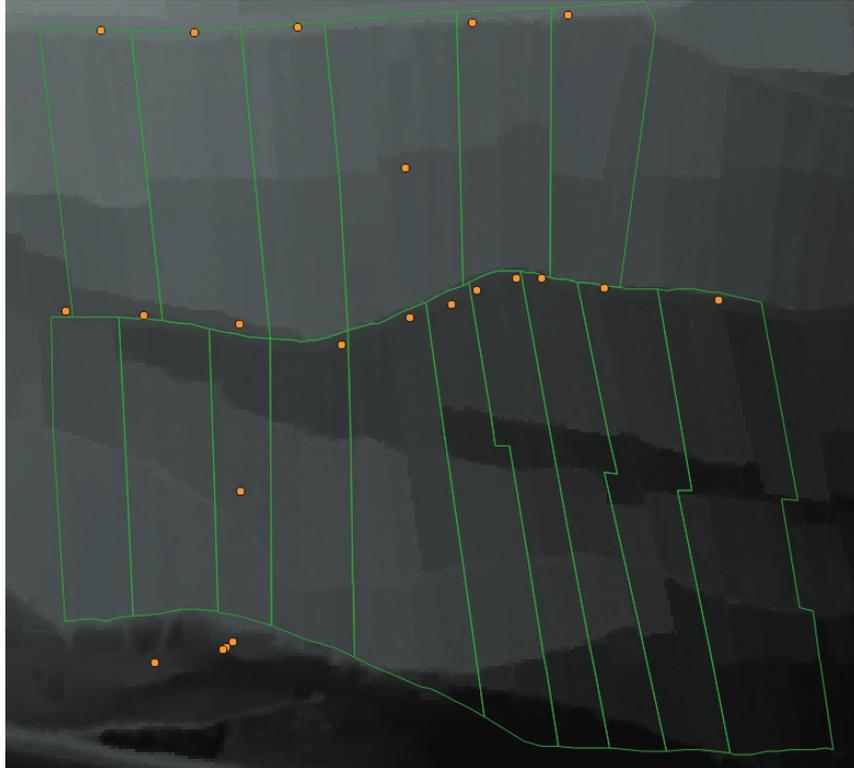


Figura 26. Parcelas de riego

Observamos que solo quedan 16 parcelas por lo que alguno de nuestros hidrantes iniciales quedará como simple punto de conexión. En este sentido, los hidrantes nº 1, 7 y 19 son prescindibles. Calcularemos la dotación para las parcelas alimentadas desde los hidrantes que permanecen.

### Determinación de la dotación de cada hidrante

El cálculo se hace en función de si es un riego por turnos o es un riego a la demanda. En el riego por turnos el caudal depende del tiempo empleado en el riego y el nº de tomas que debe abastecer en cada turno.

El cálculo de caudales a la demanda viene definido en la sistemática empleada por Clément y corregida por Boissezon que desarrollamos a continuación. En primer lugar, hay que definir los parámetros de riego:

- 1) Caudal ficticio continuo:  $q$ , volumen de agua de riego  $V$  durante el máximo consumo en el tiempo disponible de riego

$$q = V/T$$

Ec. 1

$q = 1.33$  l/s para  $< 15$  Has. (Bonnal,1983).

- 2) Grado de libertad: cociente entre el caudal real o tarado en hidrante,  $d$ , y el caudal ficticio continuo,  $q$ , o el cociente entre el nº de horas diarias disponibles para el riego,  $t$ , (suele ser 24 h) y el nº de horas que el agricultor tendría que tener su abierta su toma,  $t'$ :

$$GL = d/q = t / t'$$

Ec. 2

(varía entre 1.5 a 6 e incluso hasta 15, mayor a menor superficie). A medida que aumenta la superficie de la finca, se debe aquilatar más el caudal de la acometida, recomendando el Manual nº 3 de IRYDA unas 8 h de riego a la semana para fincas de menos de 5000 m<sup>2</sup> hasta 112 h/semana para fincas de más de 10 has.

Tabla 4. Tabla de horas de riego (IRYDA, 1985)

Superficie (Has)	< 0.5	<1	<5	<10	>10
Horas de riego semanal	<8	<12	<48	<96	<112

- 3) Rendimiento de la red: cociente entre el nº de horas que la red está capacitada para transportar la dotación diaria  $t''$  y el nº de horas disponible para el riego  $t$ :

$$r = t''/t$$

Ec. 3

( $t-2$ ) /  $t$  según Granados, 0.66 para Bonnal o 0.66 a 0.75 para Clément).

- 4) Garantía de suministro: probabilidad estadística de los caudales circulantes por la red, durante el periodo punta de consumo, no sobrepase al de diseño (>90%, suele ser 95 ó 97%).
- 5) Dotación: caudal tarado en el limitador del hidrante, que depende del caudal ficticio y la superficie  $S$ :

$$d = q * Sp * GL$$

Ec. 4

En nuestro caso al ser todas las parcelas de cítricos el caudal ficticio, utilizando CROPWAT para el cultivo de cítricos es 0,3 l/s/ha (aunque se recomienda no usar menos de 1,33 l/s/ha).

Para los grados de libertad, se utilizará un mínimo de 3 para fincas mayores de 10 has y 4 para fincas de menos de 10 has. Para el rendimiento de la red se utilizará un valor de 0,75. Para la garantía de suministro se utilizará el valor del 95%. Las dotaciones obtenidas deben ser redondeadas para que los valores sean sencillos de controlar. En este caso se ha redondeado en unidades de 0,25 l/s

Tabla 5. Dotaciones para cada parcela seleccionada

parcela	hidrante	superficie (m <sup>2</sup> )	q (l/s/ha)	GL	R	D l/s	D <sub>real</sub> l/s
1	15	8959,414	0,3	4	0,75	1,075	1,25
2	14	8793,701	0,3	4	0,75	1,055	1,25
3	13	13208,013	0,3	3	0,75	1,189	1,25
4	12	9461,383	0,3	4	0,75	1,135	1,25
5	11	11828,987	0,3	3	0,75	1,065	1,25
6	16	9543,805	0,3	4	0,75	1,145	1,25
7	18	7687,41	0,3	4	0,75	0,922	1,00
8	17	9265,636	0,3	4	0,75	1,112	1,25
9	2	5881,703	0,3	4	0,75	0,706	0,75
10	3	8893,858	0,3	4	0,75	1,067	1,25
11	4	13748,936	0,3	3	0,75	1,237	1,25
12	5	9759,224	0,3	4	0,75	1,171	1,25
13	8	9333,351	0,3	4	0,75	1,120	1,25
14	6	8578,699	0,3	4	0,75	1,029	1,25
15	9	11964,654	0,3	3	0,75	1,077	1,25
16	10	17361.436	0,3	3	0,75	1,563	1,75

## Caracterización de fuentes de suministro

### Dimensionamiento hidráulico de la balsa de riego

El dimensionamiento hidráulico de obras de captación consiste en determinar el volumen útil necesario para satisfacer unas demandas determinadas.

En general se deberá disponer de las curvas de aporte y de demanda para un período de tiempo no inferior a 20 años. Si no se dispone de datos de los aportes se podrían simular con las herramientas vistas en el curso de hidrología. La curva de demanda puede ser conocida en detalle o ser considerada como un valor constante a lo largo del tiempo.

Uno de los métodos más sencillos para el dimensionamiento hidráulico de los embalses se denomina *Método del diagrama de masa* (Rippl, 1883) y consiste en hallar la máxima diferencia acumulada positiva entre una secuencia de desembalses,  $Q_D$  y aportaciones  $Q_A$ ; sean éstas conocidas o simuladas.

$$Q_{dif} = Q_D - Q_A$$

Ec. 5

Sea  $Q_{dif}^*$ , la máxima diferencia acumulada positiva entre desembalses y aportaciones durante un intervalo (t-T), entonces (Louks et al, 1981)

$$Q_{dif}^* = \text{Max}_{t \leq i \leq T} \left( \sum_{\tau=t}^i Q_{dif}(\tau) \right)$$

Ec. 6

La capacidad de almacenamiento útil requerido  $S_u$  es la mayor de la diferencia encontrada, para diferentes instantes de inicio.

$$S_u = \underset{1 \leq t \leq T}{Max} (Q_{dif}^*)$$

Ec. 7

Obviamente, este procedimiento sólo tiene sentido si, en el período estudiado, la suma de los desembalses es menor que la suma de los aportes.

En el caso que estamos estudiando el aporte se ha definido como un valor constante que responde a la máxima dotación que podemos sacar del acuífero.

El área de la zona regable es de una 9 has, con una dotación de 6000 m<sup>3</sup>/ha (cítricos) se trataría de un volumen anual de 54000 m<sup>3</sup>, lo que supone 148 m<sup>3</sup>/día, que se redondearán a 150 m<sup>3</sup>/d. Si se va a bombear solo las 8 h nocturnas, el caudal de extracción será de 5,20 l/s

Habría que crear la serie de las necesidades anuales ya que vamos a dimensionar un embalse que regule las diferencias anuales.

Para esta operación utilizamos CROPWAT con los datos del naranjo aplicados al año mediana, como más representativo de la serie anual.

A partir de los datos presentados en el Anexo III, se puede calcular la evolución de las necesidades por semanas (de esta manera la precipitación es mas regular).

Tabla 6. Evolución semanal de necesidades ( $V_R$ ), aportes ( $V_A$ ) y almacenamiento en embalse( $dt_{ac}$ ).

semana	pp(mm)	Hb(mm)	$V_R(m^3)$	$V_A(m^3)$	$dt(m^3)$	$dt_{ac}(m^3)$
1	0	0	0	1050	-1050	-1050
2	0	0	0	1050	-1050	-2100
3	10.4	5.3	477	1050	-573	-2673
4	0	0	0	1050	-1050	-3723
5	0	5.3	477	1050	-573	-4296
6	0	0	0	1050	-1050	-5346
7	0	5.3	477	1050	-573	-5919
8	0	0	0	1050	-1050	-6969
9	1.4	5.3	477	1050	-573	-7542
10	0	21.2	1908	1050	858	-6684
11	0	15.9	1431	1050	381	-6303
12	20.2	21.2	1908	1050	858	-5445
13	0	15.9	1431	1050	381	-5064
14	4	21.2	1908	1050	858	-4206
15	10.6	15.9	1431	1050	381	-3825
16	1.6	21.2	1908	1050	858	-2967
17	0	15.9	1431	1050	381	-2586
18	4.2	21.2	1908	1050	858	-1728
19	0	15.9	1431	1050	381	-1347
20	0	21.2	1908	1050	858	-489
21	0	15.9	1431	1050	381	-108
22	0	21.2	1908	1050	858	750
23	0	15.9	1431	1050	381	1131
24	0	21.2	1908	1050	858	1989
25	0	15.9	1431	1050	381	2370
26	0	21.2	1908	1050	858	3228
27	0	15.9	1431	1050	381	3609
28	0	21.2	1908	1050	858	4467

semana	pp(mm)	Hb(mm)	$V_R(m^3)$	$V_A(m^3)$	$dt(m^3)$	$dt_{ac}(m^3)$
29	0	15.9	1431	1050	381	4848
30	0	21.2	1908	1050	858	5706
31	0	15.9	1431	1050	381	6087
32	0	21.2	1908	1050	858	6945
33	0	15.9	1431	1050	381	7326
34	0	21.2	1908	1050	858	8184
35	0	15.9	1431	1050	381	8565
36	0.2	21.2	1908	1050	858	9423
37	0	15.9	1431	1050	381	9804
38	0	21.2	1908	1050	858	10662
39	0	10.6	954	1050	-96	10566
40	0	0	0	1050	-1050	9516
41	0	5.3	477	1050	-573	8943
42	0	0	0	1050	-1050	7893
43	2.8	5.3	477	1050	-573	7320
44	0	0	0	1050	-1050	6270
45	0.2	5.3	477	1050	-573	5697
46	0	0	0	1050	-1050	4647
47	0	0	0	1050	-1050	3597
48	0	5.3	477	1050	-573	3024
49	0	0	0	1050	-1050	1974
50	0	5.3	477	1050	-573	1401
51	0	0	0	1050	-1050	351
52	0	5.3	477	1050	-573	-222

Comprobamos que la suma de las necesidades es menor que los aportes.

$$\Sigma V_R = 54378 \text{ m}^3$$

$$\Sigma V_A = 54600 \text{ m}^3$$

Y la evolución de las diferencias acumuladas es

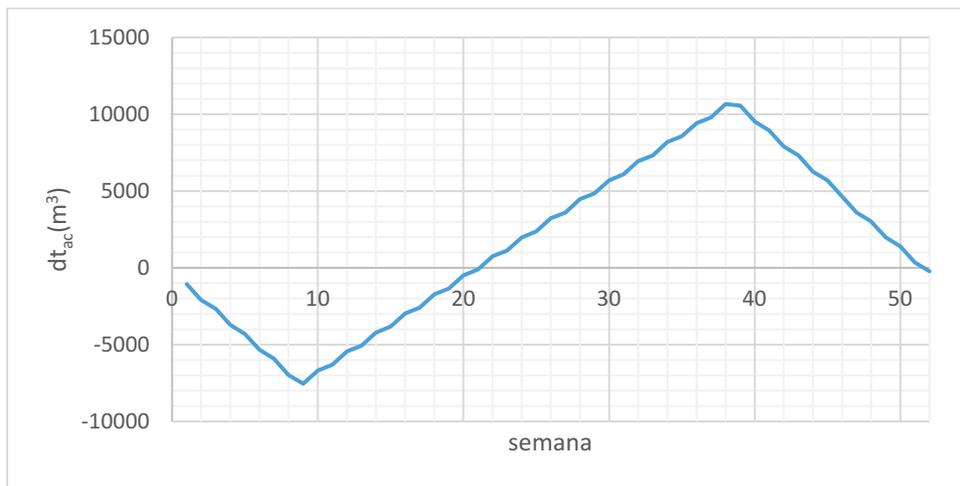


Figura 27. Evolución semanal de las diferencias acumuladas

En esta serie el valor máximo es  $dt_{ac \text{ max}} = 10662 \text{ m}^3$  y el valor mínimo es  $dt_{ac \text{ min}} = -7542 \text{ m}^3$ . El volumen necesario para el embalse será  $dt_{ac \text{ max}} - dt_{ac \text{ min}} = 18204 \text{ m}^3$ .

Si queremos que tenga 4m de altura, la superficie será de  $4551 \text{ m}^2$  y como EPANET considera solo depósitos cilíndricos, el diámetro será de 76,12 m

## Dimensionamiento de la red

### Embalses y depósitos

La manera más sencilla de comunicar presión a una red de riego consiste en hacerla partir de un embalse. Para ello se escoge una zona y se añade con la herramienta , del menú superior de EPANET. La principal ventaja de esta herramienta es que aporta un volumen de agua ilimitado y su cota (presión) no varía. Estas características la hacen idónea para iniciar el proceso de diseño sin temor a errores inesperados.

Embalse 20	
Propiedad	Valor
*ID Embalse	20
Coordenada-X	578389.96
Coordenada-Y	4133381.99
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	280
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	

Figura 28. Características de un embalse

Nótese que el único dato que hay que rellenar es la cota de la lámina libre.

Un depósito requiere un fino control del consumo de agua ya que hay que definir un nivel mínimo y máximo, así como una estimación del volumen. Esta situación, más acorde con la realidad, requiere manejar mejor los valores de caudal y los tiempos de funcionamiento. Se recomienda incorporarla cuando el resto del sistema está diseñado adecuadamente y funcione de modo satisfactorio.

Depósito 21	
Propiedad	Valor
*ID Depósito	21
Coordenada-X	578393.55
Coordenada-Y	4133378.28
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	250
*Nivel Inicial	10
*Nivel Mínimo	0
*Nivel Máximo	20
*Diámetro	50
Volumen Mínimo	
Curva de Volumen	
Modelo de Mezcla	Mezcla
Fracción Mezcla	
Coef. de Reacción	

Figura 29. Hoja de datos de un depósito

Debemos estimar una cota inferior, en donde estará la base del depósito, así como un nivel mínimo y máximo. También debemos colocar el diámetro del depósito supuesto que es cilíndrico.

## Determinación del trazado de la red

Se intenta conseguir el diseño óptimo en planta que conecte cada una de las tomas parcelarias de riego con la fuente de suministro. El problema cuyas variables básicas son la longitud de la red y los precios de las tuberías se complica por los condicionantes que intervienen:

- Geológicos - geotécnicos: tipo de suelo, inestables, nivel freático,
- Orográficos: accidentes del terreno, pendientes y cotas,
- Topológicos: parcelario, infraestructuras, edificaciones,
- Sociales: expropiaciones, servidumbres, ocupaciones temporales.

La adopción de redes cerradas o malladas es poco frecuente, ya que son bastante más caras que las redes abiertas o ramificadas. A veces, en alguna red se dispone de algún anillo de refuerzo para mejorar o equilibrar presiones en una zona concreta sobre redes existentes o en aquellas de nuevo trazado abastecidas simultáneamente desde varios puntos de captación o pozos.

En el diseño de las redes de riego con disposición ramificada se opta por dos métodos, uno por lindes y otro por Girette (Bonnal, 1983; IRYDA, 1981; Clément, 1986 y Granados, 1990).

En el trazado por lindes se considera que la red debe atenerse a las lindes de las parcelas y alejarse desde los puntos de suministro de forma más o menos regular. El trazado por el método de Girette considera que no es preciso respetar las lindes y plantea la posibilidad de hallar la solución óptima desde el punto de vista geométrico y aun económico. El cálculo se desarrolla en varias fases. En primer lugar, se trazará la red mediante el método de proximidad, suponiendo que el trazado deberá pasar por los hidrantes definidos.

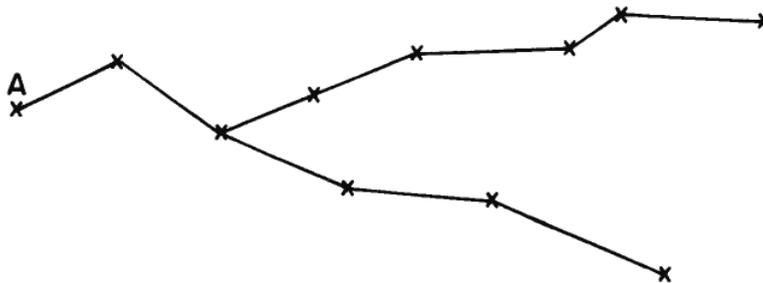


Figura 30. Trazado de una red por proximidad

En fases posteriores se analiza la optimización del trazado conseguido mediante la inclusión de tramos que no contienen hidrantes y que actúan como tuberías de transporte.

El algoritmo que vamos a utilizar es muy simple (kruskal, 1956) y consiste en calcular la distancia de todos los puntos entre sí, ordenarlas de menor a mayor y comenzar a trazar uniones por este orden mientras no se complete un recinto cerrado (Esa conexión se desecha) hasta que todos los puntos están conectados. Este algoritmo produce un sistema arborescente desde un punto de origen que pasa por todos los puntos (Ver Anexo IV). Partimos de un conjunto de puntos como.

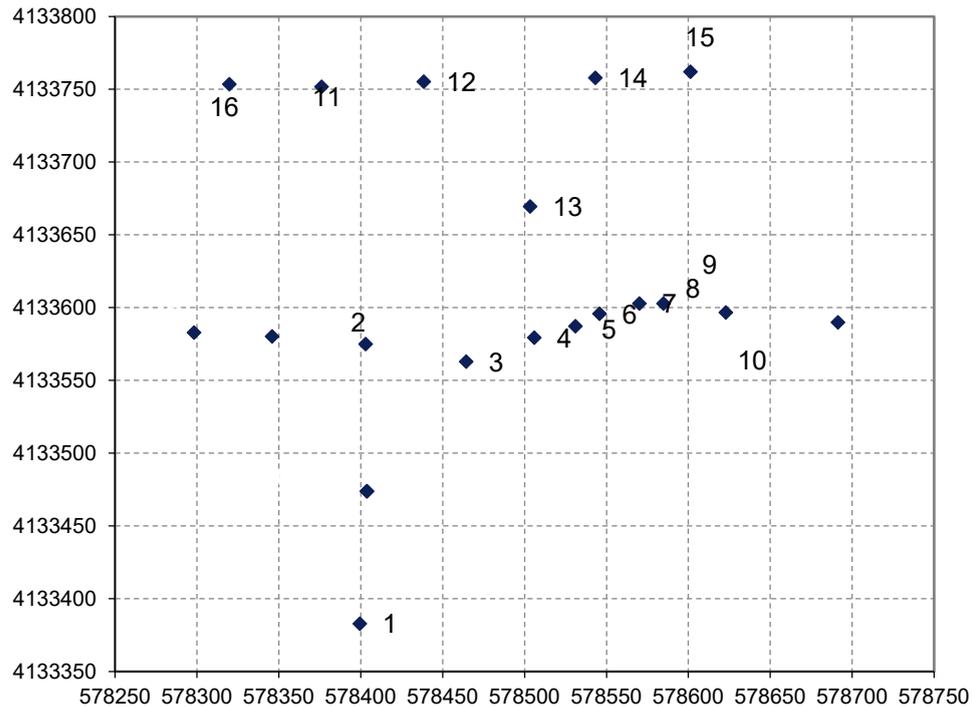


Figura 31. Vista general de los puntos seleccionados

Ahora calculamos la matriz triangular de distancias entre los puntos

Tabla 7 Distancias entre los puntos seleccionados

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	192.27	191.47	223.58	243.09	258.46	278.36	287.62	309.31	357.78	369.64	374.40	304.90	401.57	429.62	379.09	204.61	224.23	91.03	
2		62.66	103.14	128.73	144.38	169.41	183.95	221.02	288.75	178.69	183.59	137.85	230.36	272.61	196.81	57.40	105.07	101.31	
3			44.71	70.95	87.80	112.91	126.79	162.04	228.47	208.42	194.00	113.42	210.18	241.64	239.18	119.90	167.45	107.84	
4				26.29	43.10	68.22	82.20	118.19	185.61	215.80	188.33	90.11	182.24	206.06	254.87	160.21	207.86	146.98	
5					17.08	41.97	55.91	92.29	160.23	226.05	191.86	86.81	171.02	188.46	268.86	185.45	232.98	170.51	
6						25.22	39.58	77.08	145.62	230.44	192.14	84.96	161.95	175.26	275.53	200.65	248.00	187.29	
7							14.72	53.18	121.93	244.56	201.38	94.30	157.31	162.35	292.12	225.42	272.64	210.46	
8								38.59	107.31	256.40	211.30	105.22	160.48	160.18	304.82	240.07	287.32	222.27	
9									68.76	291.45	243.19	139.91	179.70	166.81	341.22	277.61	325.04	251.24	
10										354.38	302.16	204.11	223.94	194.44	405.95	345.66	393.21	310.04	
11											62.45	151.57	167.25	225.40	56.31	174.12	185.98	279.35	
12												107.56	104.82	162.96	118.64	197.96	222.21	283.56	
13													96.89	134.76	201.88	181.10	222.75	219.59	
14														58.18	223.46	265.52	301.09	316.41	
15															281.57	313.58	352.13	349.48	
16																175.13	171.96	292.04	
17																	47.69	121.29	
18																			151.87

Figura 32. Distancias calculadas entre los puntos

Ahora las ordenamos por distancia de menor a mayor y vamos uniendo puntos mientras no cierren un polígono.

Tabla 8. Distancias ordenadas y selección de las combinaciones adecuadas

n1	n2	distancia												
7	8	14.72	6	9	77.08	3	20	107.84	18	20	151.87	6	15	175.26
5	6	17.08	4	8	82.20	3	7	112.91	7	14	157.31	2	11	178.69
6	7	25.22	6	13	84.96	3	13	113.42	8	15	160.18	9	14	179.70
4	5	26.29	5	13	86.81	4	9	118.19	4	17	160.21	13	17	181.10
8	9	38.59	3	6	87.80	12	16	118.64	5	10	160.23	4	14	182.24
6	8	39.58	4	13	90.11	3	17	119.90	8	14	160.48	2	12	183.59
5	7	41.97	1	19	91.03	17	19	121.29	6	14	161.95	2	8	183.95
4	6	43.10	1	20	91.03	17	20	121.29	3	9	162.04	5	17	185.45
3	4	44.71	5	9	92.29	7	10	121.93	7	15	162.35	4	10	185.61
17	18	47.69	7	13	94.30	3	8	126.79	12	15	162.96	11	18	185.98
7	9	53.18	13	14	96.89	2	5	128.73	9	15	166.81	6	19	187.29
5	8	55.91	2	19	101.31	13	15	134.76	11	14	167.25	6	20	187.29
11	16	56.31	2	20	101.31	2	13	137.85	3	18	167.45	4	12	188.33
2	17	57.40	2	4	103.14	9	13	139.91	2	7	169.41	5	15	188.46
14	15	58.18	12	14	104.82	2	6	144.38	5	19	170.51	1	3	191.47
11	12	62.45	2	18	105.07	6	10	145.62	5	20	170.51	5	12	191.86
2	3	62.66	8	13	105.22	4	19	146.98	5	14	171.02	6	12	192.14
4	7	68.22	8	10	107.31	4	20	146.98	16	18	171.96	1	2	192.27
9	10	68.76	12	13	107.56	11	13	151.57	11	17	174.12	3	12	194.00
3	5	70.95	3	19	107.84	18	19	151.87	16	17	175.13	10	15	194.44

Quedando la red como

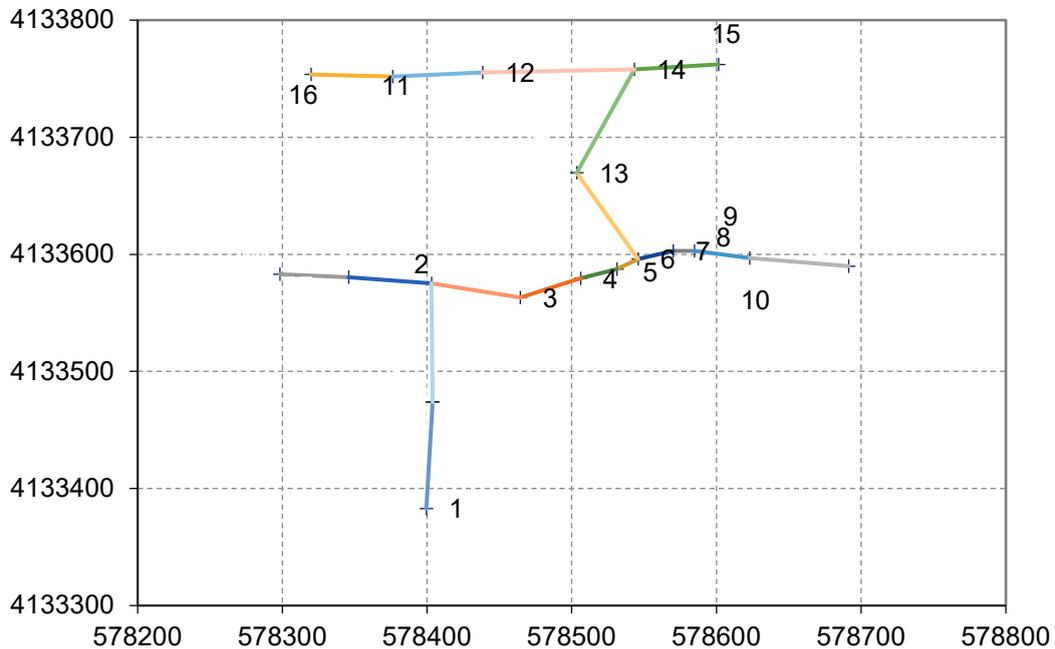


Figura 33. Trazado de la red optima

Si comenzamos por el punto 1 designado como origen del suministro de agua. Ahora plasmamos esta red en EPANET

### Trazado definitivo de las tuberías

El trazado propuesto debe ser adaptado al territorio rectificando o moviendo un poco los puntos de agua o incorporando codos a las líneas. Se trata de evitar, en lo posible, el paso por medio de las fincas o la rotura de caminos. Finalmente queda como

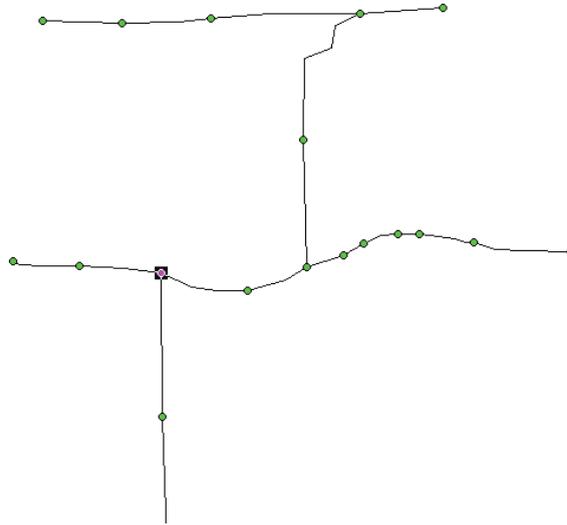


Figura 34. Trazado definitivo de la red

Se observan algunas diferencias respecto al resultado del algoritmo debido a la regla de evitar pasar por medio de las parcelas.

Se debe buscar ahora un listado de los diámetros disponibles para el material utilizado. En este caso se selecciona el Polietileno, de rugosidad  $k=0,001$  y diámetros como:

Tabla 9. Diámetros comerciales de las tuberías

ØExt.	Espesor	€/ml	Øint
63	5,8	2,77	51,4
75	6,8	3,8	61,4
90	8,2	5,44	73,6
110	10	7,89	90,0
125	11,4	10,31	102,2
140	12,7	12,68	114,6
160	14,6	16,49	130,8
180	16,4	21,32	147,2
200	18,2	25,73	163,6
225	20,5	32,83	184
250	22,7	40,33	204,6
280	25,4	50,95	229,2
315	28,6	64,3	257,8
355	32,2	81,04	290,6
400	36,3	102,26	327,4
450	40,9	129,24	368,2
500	45,4	159,83	409,2
560	50,8	198,6	458,4
630	57,2	255,31	515,6

Se comprueba (Anexo VI) que no vamos a tener problemas importantes de golpe de ariete.

Se completan los datos y se pone un embalse para probar el sistema. Ejecutando EPANET se comprueba que no aparecen errores. Para seleccionar los diámetros se toma un criterio simple como por ejemplo no superar los 5m/km de pérdidas de carga unitarias.

### Incorporación de un pozo

La incorporación de un pozo requiere una combinación compleja de depósitos, embalses y equipos de bombeo

Para empezar, sabemos que un pozo se comporta como un depósito pequeño (en realidad de diámetro igual al diámetro del pozo y altura igual a toda la profundidad saturada del mismo. Trataremos de reflejar esto en las dimensiones del depósito.

El acuífero se comporta como un embalse ya que su nivel no debería variar. Para simular el aporte desde el acuífero al pozo se coloca una tubería que los una. Variando el diámetro y rugosidad de esta tubería podremos simular el descenso dinámico y la recuperación del nivel tras el tiempo de trabajo.

En pozos es normal colocar una sola bomba de altas prestaciones en altura, pero de pequeño caudal. En este caso se va a poner un pozo, que trabajará durante la noche para llenar una pequeña balsa en superficie. Desde esta balsa se impulsará con un grupo de bombeo durante el día.

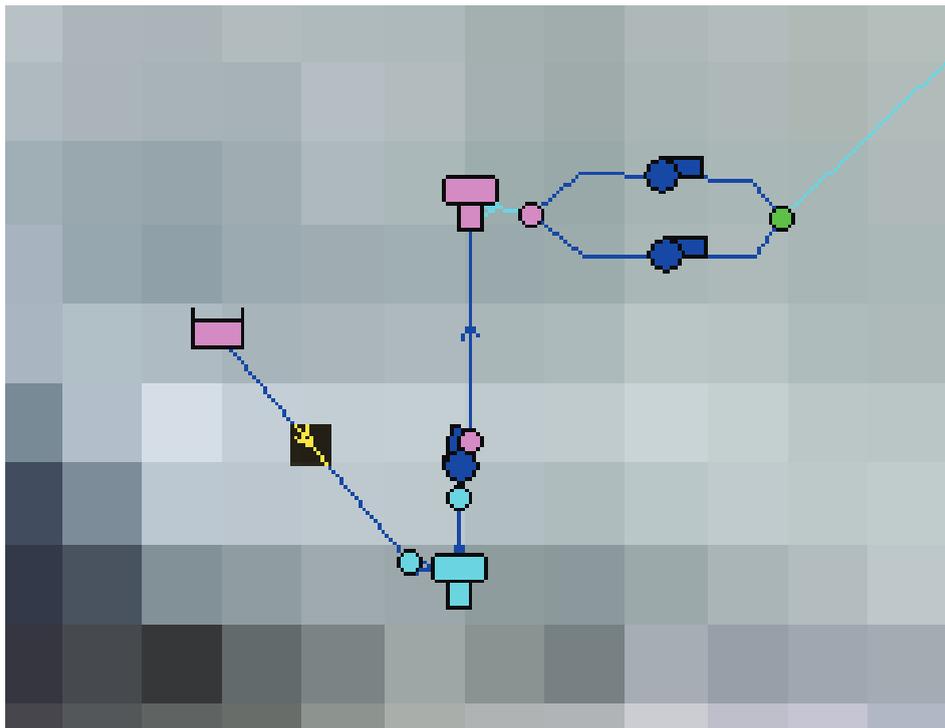


Figura 35. Esquema de un pozo con una pequeña balsa en superficie

El embalse hace las veces de acuífero que aporta agua al depósito (pozo) desde el que se impulsa el agua a una balsa de superficie.

Para que el agua no retorne al pozo una vez que se acaba la impulsión se coloca una válvula anti-retorno entre la bomba y el depósito que hace de pozo. La válvula antirretorno se indica como propiedad de la tubería en cuestión en el campo `estado inicial`.

Para completar el esquema se crea un patrón de funcionamiento consistente en que el equipo funciona desde las 0 h hasta las 8 h, para recoger la opción de bombeo nocturno.

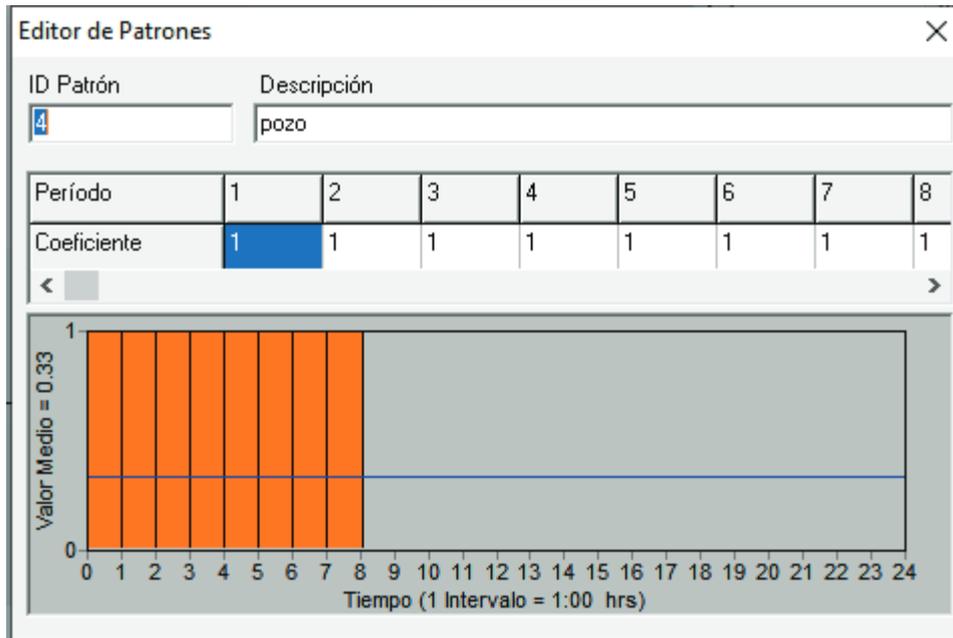


Figura 36. Patrón de funcionamiento del pozo

La tubería de impulsión, al ser vertical debemos colocar su longitud de forma no automática. En este caso se considera que perfora el acuífero en su totalidad. (297-250) =47 m. Se define la curva de la bomba en el apartado “curvas” del menú de datos. Se debe indicar el cada elemento de bombeo qué curva le corresponde, así como la potencia y los precios de la energía si pretendemos evaluar el coste de la operación. Es posible indicarle también el coste del término de potencia y un patrón de precios para que pueda valorar el coste en cada momento del día.

Buscando un catálogo de bombas verticales para pozos encontramos el siguiente.

Tabla 10. Bombas disponibles para pozo con las especificaciones solicitadas

Tipo	Motor											D	A	L		Peso
	kW	HP	l/s	0,0	1,7	2,5	3,3	3,9	4,5	5,0	5,6	mm	mm	mm	G"	(kg)
SQI 7	2,2	3	m.c.a.	45	35	32	30	28	25	22	19	95	701	1202	G 2"	20,2
SQI 10	3	4		55	50	47	44	40	36	33	28	95	905	1466	G 2"	26,2
SQI 14	4	5,5		83	72	66	60	56	50	43	36	95	1220	1821	G 2"	33,2
SQI 18	5,5	7,5		98	89	81	78	71	63	55	46	95	1536	2257	G 2"	41,3
SQI 24	7,5	10		145	130	118	110	104	91	84	72	95	2058	2899	G 2"	59,3

Como queremos que la bomba funcione más o menos con 5 l/s y una elevación de unos 50 mca, podemos escoger el modelo SQI-18 y procedemos a colocar su curva en EPANET.

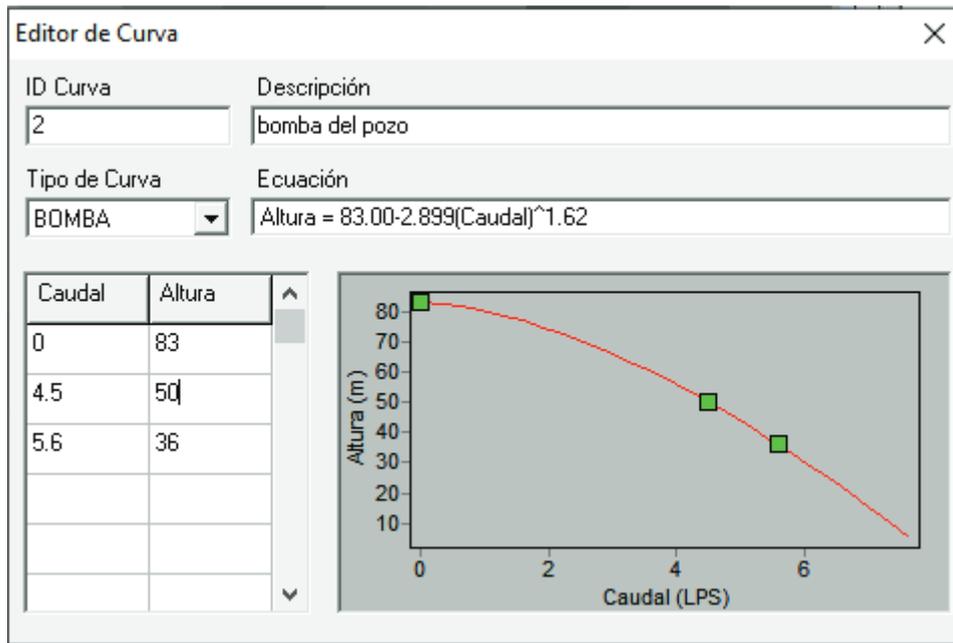


Figura 37. Curva de la bomba de impulsión del pozo

Ahora de vemos configurar una válvula reguladora de caudal con 6 l/s de consigna y para simular el descenso dinámico del acuífero y la recuperación, cambiamos el diámetro del depósito que hace las veces de pozo para que el descenso sea de 4,5 m, tal y como calculábamos en el apartado correspondiente. Para que la recuperación se alcance al final del día se modifica la longitud y el diámetro de la tubería de recarga. Para nuestro sistema esta situación se alcanza para  $L_{19}=4000$  m,  $D_{19}=120$  mm y 5,25 m de diámetro para el deposito que simula el pozo. El perfil de alturas dentro del pozo queda como muestra la Figura 38.



Figura 38. Perfil de altura del agua para el pozo representado por el depósito 21

### Cálculo de los caudales por tramos según calidad de servicio.

Si la red fuese muy grande (más de 20 hidrantes) es necesario reducir el caudal que presumiblemente va a circular por la red.

Caudal real circulante por cada uno de los tramos es variable ya que depende de la probabilidad estadística, p, de coincidencia en el riego de las parcelas a las cuales abastece. Por tanto, serán umbrales superiores que cubran con una garantía impuesta GS (coeficiente U):

$$Q = \sum d_i p_i + U \sqrt{\sum d_i p_i (d_i - d_i p_i)}$$

Ec. 8

- Q caudal en el tramo
- d Dotación del hidrante "i":
- p Probabilidad del hidrante "i" abierto:

$$p_i = \frac{t'}{t''} = \frac{1}{r * GL}$$

Ec. 9

$$d_i p_i = \frac{q * Sp * GL}{r * GL} = q * Sp / r$$

Ec. 10

Coficiente U es una variable estadística al pasar de una distribución binomial a una distribución normal y es función de la garantía de suministro:

Tabla 11 Garantía de suministro

<b>U</b>	1,28	1,65	1,75	1,88	2,33	2,58
<b>GS</b>	90%	95%	96%	97%	99%	99.5%

En nuestro caso, a ser la red muy pequeña prepararemos varios escenarios basados en la probabilidad de que un usuario esté regando en función de su probabilidad de uso. Dado que hemos preparado las dotaciones para un riego semanal, los grados reales de libertad serán 7\*GL y la probabilidad de uso diario será =1/R/GL/7. Si queremos condensar el funcionamiento de la red en un día, lo más razonable será reducir los tiempos disponibles para riego a la séptima parte y preparar más patrones con hora de inicio aleatoria.

En principio se puede pensar que los usuarios regarán desde las 8 de la mañana hasta las 18 h habrá dos duraciones de riego; 2h y 3h. Se ha realizado una asignación aleatoria de estas características y resulta:

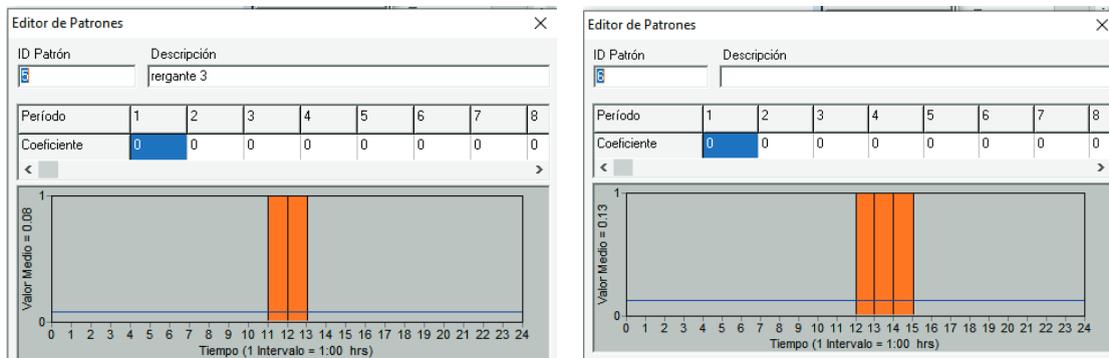


Figura 39. Aspecto de dos patrones de funcionamiento de los hidrantes

Tabla 12. Escenario de funcionamiento de los hidrantes

hidrante	$h_0(h)$	tr(h)	patrón
15	9	2	4
14	15	2	8
13	8	3	3
12	13	2	7
11	16	3	10
16	9	2	4
18	8	2	2
17	12	2	6
2	9	2	4
3	17	2	11
4	9	3	5
5	17	2	11
8	16	2	9
6	13	2	7
9	16	3	10
10	9	3	5

### Sistema de impulsión desde la balsa de superficie

Si colocamos un depósito o embalse con una altura insuficiente el sistema no funcionará. Debemos colocar las máquinas necesarias para que la presión sea suficiente para satisfacer el caudal que vamos a indicar a los hidrantes. Para esta operación hay que crear varios nudos ara que sirvan de conexión entre los elementos.

Buscaremos en catálogo una bomba que eleve la altura necesaria, aunque el caudal sea insuficiente ya que siempre podemos colocar varios elementos en paralelo. Deberemos obtener la curva de Altura/caudal de estos elementos e incorporarlas como curva en el modelo.

Como deseamos dar a los usuarios una presión aproximada de 2 bar y teniendo en cuenta las cotas de los hidrantes, así como unas pérdidas de carga razonables y teniendo en cuenta que queremos poner un sistema en paralelo, buscaremos un modelo que eleve unos 27 mca con un caudal de unos 4,5 l/s.

Tabla 13. Bombas disponibles en catálogo de las características fijadas

Tipo			l/s	1,67	2,50	3,33	5,00	5,83	6,67	7,50	8,33
		Motor	l/min	100	150	200	300	350	400	450	500
	kw	HP	m3/h	6	9	12	18	21	24	27	30
STE 150T	1,1	1,5	Mca	24	23,5	22	18	15	12	8	4
STE 150M	1,1	1,5		24	23,5	22	18	15	12	8	4
STE 200T	1,5	2		28	27	25,5	21,4	18,6	15,8	12	8
STE 200M	1,5	2		28	27	25,5	21,4	18,6	15,8	12	8
STE 300T	2,2	3		32	31	29,5	26	23	20	17	14

Probaremos con el modelo STE-300T y trasladamos su curva al modelo EPANET.

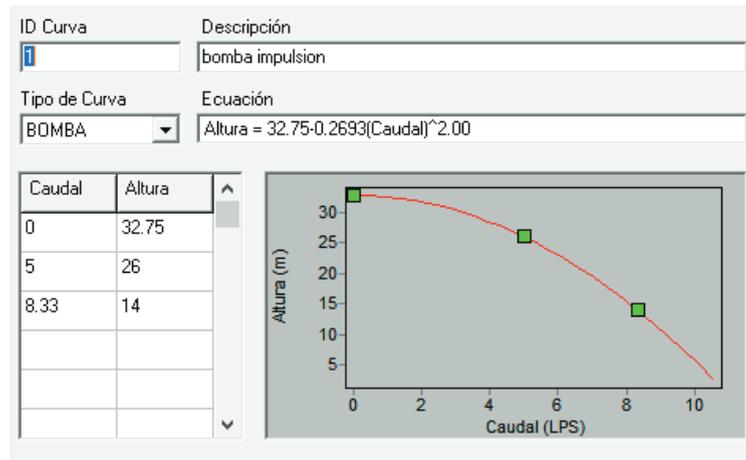


Figura 40. Aspecto de la curva de la bomba a incorporar

Cuando insertemos la bomba debemos indicar qué curva tiene asociada. Podemos indicar una curva diferente para cada bomba.

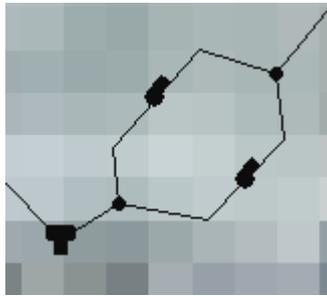


Figura 41. Disposición de dos bombas en paralelo

Cada vez que incorporemos un elemento deberíamos probar que el sistema sigue funcionando y no aparece algún error inesperado.

Para la impulsión desde la balsa de superficie se ha escogido un sistema de dos bombas en paralelo. (en general es una manera de realizar impulsiones con necesidades e caudal variables). Se observa cómo se han preparado vértices auxiliares para hacer visibles las conexiones.

Se debe tener cuidado de que las bombas tengan una orientación (punto inicio-punto final) adecuada al sentido que tendrá la impulsión.

Se debe indicar el cada elemento de bombeo qué curva le corresponde, así como la potencia y los precios de la energía si pretendemos evaluar el coste de la operación. Es posible indicarle también el coste del término de potencia y un patrón de precios para que pueda valorar el coste en cada momento del día. También podemos definir patrones de funcionamiento para optimizar el riego. En este caso las bombas funcionarían entre las 8 y las 18 h.

Si no coinciden exactamente algunos patrones es posible que aparezcan mensajes de error en las horas en conflicto.

### Resultados del programa EPANET

Una vez configurado, el modelo genera una serie de salidas gráficas y numéricas de interés.

De los nudos de la red puede saberse en cada instante la cota, la demanda base, la demanda en esa hora, la cota y la presión.

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 1	297	0	0.00	328.49	31.49
Conexión 2	301	0.75	0.75	327.89	26.89
Conexión 3	300	1.25	0.00	327.66	27.66
Conexión 4	300	1.25	1.25	327.49	27.49
Conexión 5	299	1.25	0.00	327.47	28.47
Conexión 6	299	1.25	0.00	327.45	28.45
Conexión 7	300	0	0.00	327.38	27.38
Conexión 8	300	1.25	0.00	327.34	27.34
Conexión 9	300	1.25	0.00	327.23	27.23
Conexión 10	298	1.75	1.75	327.04	29.04
Conexión 11	305	1.25	0.00	326.30	21.30
Conexión 12	305	1.25	0.00	326.53	21.53
Conexión 13	302	1.25	1.25	327.13	25.13
Conexión 14	304	1.25	0.00	326.90	22.90
Conexión 15	305	1.25	1.25	326.69	21.69
Conexión 16	306	1.25	1.25	326.10	20.10
Conexión 17	301	1.25	0.00	327.68	26.68
Conexión 18	302	1.25	1.25	327.51	25.51
Conexión 19	301	0	0.00	328.20	27.20
Conexión 22	250	0	0.00	276.09	26.09
Conexión 23	250	0	0.00	276.09	26.09
Conexión 25	297	0	0.00	298.04	1.04

Figura 42. Características de todos los nudos a las 8h

También es posible comprobar la evolución para el día completo de un nudo concreto.



Figura 43. Perfil de presiones para el nudo 2

Se puede observar que pueden aparecer valores extraños en momentos en los que el nudo no está activo.

De los depósitos y embalses se puede obtener la evolución temporal de algunas variables, por ejemplo, la presión o el volumen.



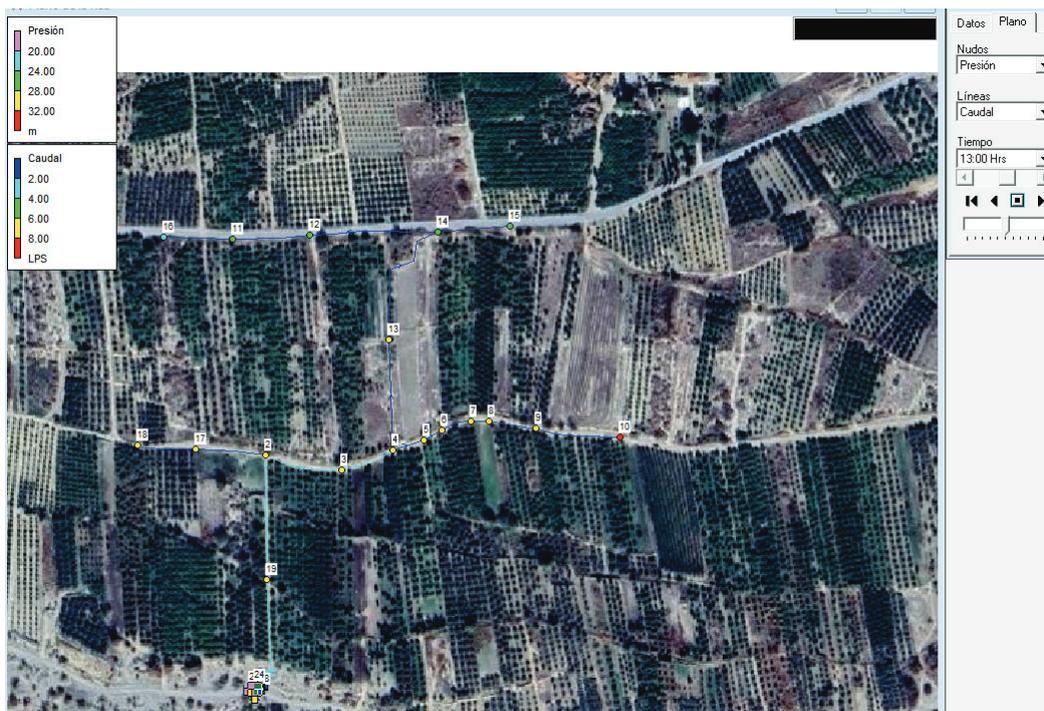
Figura 44. Evolución temporal de la presión en un depósito

De las bombas y de las tuberías se puede obtener una tabla con las características de todas las incluidas en el sistema o bien gráficas/tabla de la evolución individual de alguna variable en el periodo simulado.



Figura 45. Evolución del caudal en una tubería

También podemos indicar una escala de color para alguna propiedad de los nudos o de las tuberías y visualizarla en una hora determinada o incluso ver una sucesión de imágenes a modo de animación.



## Optimización de la red

Si se ejecuta el programa se puede chequear la bondad de las soluciones escogidas. En este paso se irán mejorando los diámetros de las tuberías hasta conseguir pérdidas unitarias del orden de 2-3 m/km en el momento de máxima exigencia, con velocidades entre 1 y 2 m/s.

Para la tubería principal este momento es a las 8 am y las 10 am, en este escenario escogido. Se cambian los diámetros y conseguimos un diseño más barato con los siguientes datos.

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Factor de Fricción
Tubería 1	93.75	130.8	0.001	8.75	0.65	3.07	0.019
Tubería 2	101.32	130.8	0.001	8.75	0.65	3.07	0.019
Tubería 3	57.42	61.4	0.001	1.25	0.42	3.61	0.024
Tubería 4	47.38	61.4	0.001	1.25	0.42	3.61	0.024
Tubería 5	63.78	114.6	0.001	6.75	0.65	3.64	0.019
Tubería 6	45.24	114.6	0.001	6.75	0.65	3.64	0.019
Tubería 7	26.29	90	0.001	1.75	0.28	1.06	0.025
Tubería 8	17.08	90	0.001	1.75	0.28	1.05	0.025
Tubería 9	25.79	73.6	0.001	1.75	0.41	2.75	0.023
Tubería 10	14.72	73.6	0.001	1.75	0.41	2.75	0.023
Tubería 11	38.73	73.6	0.001	1.75	0.41	2.75	0.023
Tubería 12	69.17	73.6	0.001	1.75	0.41	2.75	0.023
Tubería 13	90.10	90	0.001	3.75	0.59	4.06	0.021
Tubería 14	113.47	90	0.001	2.50	0.39	1.98	0.023
Tubería 15	58.18	61.4	0.001	1.25	0.42	3.61	0.024
Tubería 16	104.92	61.4	0.001	1.25	0.42	3.61	0.024
Tubería 17	62.55	61.4	0.001	1.25	0.42	3.61	0.024
Tubería 18	56.31	61.4	0.001	1.25	0.42	3.61	0.024
Tubería 19	4000	130.8	0.001	4.60	0.34	0.98	0.021
Tubería 20	1.24	290.6	0.001	0.00	0.00	0.00	0.000
Tubería 23	0.79	290.6	0.001	4.60	0.07	0.02	0.028
Tubería 24	0.90	290.6	0.001	8.75	0.13	0.06	0.020
Tubería 25	45	204.6	0.01	0.00	0.00	0.00	0.000

Figura 46. Dimensionamiento de las tuberías para este escenario

Vemos que las velocidades son bajas, pero si las aumentamos la pérdida unitaria crecerá y no deseamos este efecto.

## Estudio de costes

Con los parámetros de energía considerados se obtiene el coste diario de la operación de distribución.

Bomba	Porcentaje Utilización	Rendimiento Medio	kW·h /m <sup>3</sup>	Potencia Media (kW)	Potencia Máx. (kW)	Coste /día
21	50.00	75.00	0.11	0.77	1.58	0.83
22	50.00	75.00	0.11	0.77	1.58	0.83
26	33.33	75.00	0.14	3.06	3.06	2.21
Coste Total						3.87
Término de Potencia						49.45

Figura 47. Estimación del coste en energía de cada día de operación

## Elementos singulares de la red

Una vez que se dispone del trazado, es preciso colocar también elementos de control y regulación a lo largo de la red. Tales elementos son:

### Hidrantes

Son los puntos de suministro establecidos. Los hidrantes consistirán en armarios de hormigón prefabricado, colocado sobre encachado de piedra y solera de hormigón perforada para drenaje. Cada armario contará con puerta de chapa lacada y cerradura para candado. Se instalarán dos tipos de armarios, con uno o dos colectores, en función del número de balsas a las que abastezcan. La valvulería a instalar en cada una de los armarios de los hidrantes es la siguiente:

- Ventosa trifuncional con válvula de esfera
- Válvula de mariposa
- Filtro cazapiedras
- Manómetro
- Válvula hidráulica con solenoide, limitadora de caudal y reductora de presión
- Colector realizado en polipropileno
- Contador de chorro múltiple con emisor de pulsos

### Válvulas

Las válvulas ventosas son dispositivos básicos que realizan el control de bolsas de aire en las conducciones, con el fin de evitar problemas destructivos y funcionales que se derivan del comportamiento del aire acumulado en el interior de redes hidráulicas. Se instalarán en los puntos altos del trazado (y en puntos intermedios cada 400m), para evitar la formación de bolsas de aire. También se instalarán en pozos

Las válvulas trifuncionales combinan el funcionamiento de válvulas de alta y baja presión ó efectos automáticos y cinéticos. Este tipo de ventosas poseen dos orificios, uno de admisión y otro de evacuación de aire, con un flotador. Así durante el llenado de la tubería el aire acumulado va siendo evacuado cinéticamente, con el orificio automático también abierto durante este proceso. Cuando la tubería se llena completamente y una vez que la instalación ha alcanzado la presión normal de funcionamiento, el aire acumulado en la válvula ventosa es evacuado automáticamente por los orificios.

En casos de presiones negativas o posibles depresiones durante el vaciado de la tubería, el orificio "cinético" que permanecía cerrado se abre para permitir la admisión de aire, evitando de esta forma el colapso de la conducción.

Terminado el momento de descarga de la tubería, el orificio cinético estará nuevamente preparado para la evacuación de aire durante los procesos de llenado de la tubería, iniciando nuevamente el ciclo.

La "trifuncionalidad" de ventosa está claramente reflejada en los tres momentos en los que actúa, durante el llenado de la tubería, cuando ésta está completamente llena, y durante la descarga de la misma.

En los momentos de baja presión, llenado y descarga, funciona el orificio cinético, admitiendo o evacuando de aire, y en la etapa de alta presión cuando la tubería está completamente llena ejerce su función el orificio automático, purgando aire.

#### Distribución de las ventosas

Las ventosas, también llamadas purgadores o de doble efecto han sido distribuidas en la red hidráulica atendiendo a los siguientes criterios:

- En tramos largos de pendiente uniforme. Son tramos que presentan una pendiente uniforme y constante respecto la gradiente hidráulica. En estos tramos debe ser instalada una válvula ventosa cada 500 (m) como mínimo
- Pasos elevados. Se recomienda poner una válvula ventosa en tramos donde la tubería se eleve por encima del suelo porque la topografía del terreno así lo obligue
- Cambios de pendiente de la tubería. Se recomienda la instalación de válvulas trifuncionales en los lugares de cambio de pendiente de la tubería con respecto a la horizontal del terreno. Se evita la acumulación de aire, y permite la entrada de aire en casos de depresión por el relieve del terreno (puntos elevados...)
- Contadores de agua. La presencia de aire en el interior de la tubería provoca en contadores errores en precisión y medición, y desgaste de los mecanismos propios. Se recomienda instalar una válvula ventosa antes del mismo
- En salida de los grupos de bombeo, en un punto elevado antes de la válvula de retención
- A la salida de válvulas reductoras de presión
- Detrás de una válvula de corte

En nuestro caso se colocarán 5, una a la salida del grupo de bombeo y una al extremo de cada línea principal de distribución.

#### Sensores de presión, calidad, etc.

Contadores. Se instalará un contador tipo Woltmann (con emisor de pulsos) a la salida del sondeo, así como a la salida del embalse

#### Telecontrol y automatismos

La automatización y el control remoto de este tipo de instalaciones proporciona grandes ventajas a la hora de la explotación y supone un gran avance al ofrecer la posibilidad de detección de fugas en la conducción, la regulación de caudales de entrega y los niveles en el embalse de forma remota desde una sola estación central de control, evitando así grandes desplazamientos.

## Presupuesto

### Mediciones

Los elementos necesarios para la parte hidráulica del proyecto son

Tabla 14. Elementos del presupuesto. Mediciones

elemento	tipo	ud	nº
<b>1 acometida</b>			
Acometida		75 n	16
Hidrante		75 n	16
<b>2 tuberías</b>			
Tubería		75 m	386,76
Tubería		90 m	148,41
Tubería		110 m	246,94
Tubería		140 m	109,02
Tubería		160 m	195,32
Tubería		250 m	45,00
Tubería		355 m	2,14
<b>2 accesorios</b>			
Ventosas		1" n	5
Contadores		65 n	2
<b>2 Grupo de bombeo</b>			
Bomba centrífuga	STE-300T	n	2
Bomba vertical	SQI-18	n	1
<b>3 Balsa de materiales sueltos</b>			
Plástico geotextil		m2	1500
Excavación		m3	3773
Movimiento de tierra		m3	8300

Para un proyecto completo serían necesarias otras partidas como por ejemplo la línea eléctrica que alimentará al sondeo y a la impulsión, así como un camino de acceso o una pequeña oficina de control. Estos elementos se salen de los objetivos docentes de la ingeniería hidráulica y se reservan para otras monografías.

Vamos a elaborar un presupuesto simplificado de coste de los materiales para evaluar la bondad de la solución escogida. Los precios descompuestos se obtendrán de algún programa con la base de datos de precios descompuestos actualizada. En este caso, por simplificar, se obtendrán de la página de precios CYPE [https://generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Instalaciones.html](https://generadordeprecios.info/obra_nueva/Instalaciones.html)

## Precios descompuestos

### Acometida

**URA010 Ud Acometida a la red de riego.**

Acometida enterrada a la red de riego de 2 m de longitud, formada por tubo de polietileno PE 80, de 75 mm de diámetro exterior, PN=10 atm y 5,6 mm de espesor y llave de corte alojada en arqueta prefabricada de polipropileno.

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		<b>Materiales</b>			
mt10hmf010tLc	m <sup>3</sup>	Hormigón HM-20/P/20/X0, fabricado en central.	0.185	81.80	15.13
mt11arp100c	Ud	Arqueta de polipropileno, 55x55x55 cm.	1.000	165.00	165.00
mt11arp050i	Ud	Tapa de PVC, para arquetas de fontanería de 55x55 cm, con cierre hermético al paso de los olores mefíticos.	1.000	194.06	194.06
mt01ara010a	m <sup>3</sup>	Arena con granulometría de 0 a 5 mm de diámetro, limpia.	0.243	14.30	3.47
mt37tpa010s	m	Acometida de polietileno PE 80, de 75 mm de diámetro exterior, PN=10 atm y 5,6 mm de espesor, según UNE-EN 12201-2, incluso accesorios de conexión y piezas especiales.	2.000	7.64	15.28
mt37sve030h	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 2 1/2", con mando de cuadrado.	1.000	90.77	90.77
mt37www110m	Ud	Collarín de toma en carga, de fundición dúctil con recubrimiento de resina epoxi, para tubos de polietileno o de PVC de 200 mm de diámetro exterior, con toma para conexión embridada de 2 1/2" de diámetro, PN=16 atm, con juntas elásticas de EPDM.	1.000	599.46	599.46
<b>Subtotal materiales:</b>					<b>1083.17</b>
2		<b>Mano de obra</b>			
mo041	h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0.150	23.10	3.47
mo087	h	Ayudante construcción de obra civil.	0.150	21.94	3.29
mo008	h	Oficial 1ª fontanero.	5.500	23.74	130.57
mo107	h	Ayudante fontanero.	1.375	21.90	30.11
<b>Subtotal mano de obra:</b>					<b>167.44</b>
3		<b>Costes directos complementarios</b>			
	%	Costes directos complementarios	4.000	1250.61	50.02
<b>Coste de mantenimiento decenal: 273,13€ en los primeros 10 años.</b>					<b>1300.63</b>
<b>Costes directos (1+2+3):</b>					<b>1300.63</b>

**URE010 Ud Boca de riego.**

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
Boca de riego de fundición, con racor de salida roscado macho de 1 1/2" de diámetro.					
1		Materiales			
mt48wwg100a	Ud	Boca de riego, formada por cuerpo y tapa de fundición con cerradura de cuadrado, brida de entrada, llave de corte y racor de salida roscado macho de latón de 1 1/2" de diámetro.	1.000	132.67	132.67
mt37tpj023fe	Ud	Collarín de toma de PP con cuatro tornillos, para tubo de 63 mm de diámetro exterior, con toma para conexión roscada de 1 1/2" de diámetro, PN=16 atm, con juntas elásticas de EPDM, según UNE-EN ISO 15874-3.	1.000	5.63	5.63
mt37tpa030da	m	Tubo de polietileno PE 40 de color negro con bandas de color azul, de 40 mm de diámetro exterior y 5,5 mm de espesor, PN=10 atm, según UNE-EN 12201-2.	1.000	4.09	4.09
				<b>Subtotal materiales:</b>	<b>142.39</b>
2		Mano de obra			
mo008	h	Oficial 1º fontanero.	0.300	23.74	7.12
mo107	h	Ayudante fontanero.	0.300	21.90	6.57
				<b>Subtotal mano de obra:</b>	<b>13.69</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	156.08	3.12
Coste de mantenimiento decenal: 65,27€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>	<b>159.20</b>

Tuberías

URD010		m	Tubería de abastecimiento y distribución.			
Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo de polietileno PE 80 de color negro con bandas de color azul, de 75 mm de diámetro exterior y 5,6 mm de espesor, PN=10 atm, enterrada. El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1						
Materiales						
mt01ara010a		m <sup>3</sup>	Arena con granulometría de 0 a 5 mm de diámetro, limpia.	0.106	14.30	1.52
mt37tpa040cgc		m	Tubo de polietileno PE 80 de color negro con bandas de color azul, de 75 mm de diámetro exterior y 5,6 mm de espesor, PN=10 atm, según UNE-EN 12201-2, con el precio incrementado el 10% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1.000	8.40	8.40
				Subtotal materiales:		<b>9.92</b>
2						
Mano de obra						
mo041		h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0.066	23.10	1.52
mo087		h	Ayudante construcción de obra civil.	0.066	21.94	1.45
				Subtotal mano de obra:		<b>2.97</b>
3						
Costes directos complementarios						
		%	Costes directos complementarios	2.000	12.89	0.26
Coste de mantenimiento decenal: 1,45€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		13.15

URD010		m	Tubería de abastecimiento y distribución.			
Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo de polietileno PE 80 de color negro con bandas de color azul, de 90 mm de diámetro exterior y 6,7 mm de espesor, PN=10 atm, enterrada. El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1						
Materiales						
mt01ara010a		m <sup>3</sup>	Arena con granulometría de 0 a 5 mm de diámetro, limpia.	0.110	14.30	1.57
mt37tpa040chc		m	Tubo de polietileno PE 80 de color negro con bandas de color azul, de 90 mm de diámetro exterior y 6,7 mm de espesor, PN=10 atm, según UNE-EN 12201-2, con el precio incrementado el 10% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1.000	12.08	12.08
				Subtotal materiales:		<b>13.65</b>
2						
Mano de obra						
mo041		h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0.070	23.10	1.62
mo087		h	Ayudante construcción de obra civil.	0.070	21.94	1.54
				Subtotal mano de obra:		<b>3.16</b>
3						
Costes directos complementarios						
		%	Costes directos complementarios	2.000	16.81	0.34
Coste de mantenimiento decenal: 1,89€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		17.15

*Red de Distribución de Agua para Riego. Un caso de estudio*

URD010		m	Tubería de abastecimiento y distribución.			
Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo multicapa de polietileno PE 100 RC, PN=10 bar, SDR17, serie 8, de 110 mm de diámetro exterior y 6,6 mm de espesor, enterrada. El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1						
Materiales						
mt01ara010a		m <sup>3</sup>	Arena con granulometría de 0 a 5 mm de diámetro, limpia.	0.114	14.30	1.63
mt37abn940ge		m	Tubo multicapa de polietileno PE 100 RC, PN=10 bar, SDR17, serie 8, de 110 mm de diámetro exterior y 6,6 mm de espesor, según UNE-EN 12201-2 y DIN PAS 1075, con capa exterior resistente a la fisuración y al punzonamiento, de color negro RAL 9004 con bandas de color azul RAL 5015 y capa interior resistente a los procesos de desinfección con protección frente a las incrustaciones y tratamiento antimicrobiano de color azul RAL 5015, suministrado en barras de 5,8 m de longitud, con el precio incrementado el 20% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1.000	15.77	15.77
				Subtotal materiales:		<b>17.40</b>
2						
Mano de obra						
mo041		h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0.074	23.10	1.71
mo087		h	Ayudante construcción de obra civil.	0.074	21.94	1.62
				Subtotal mano de obra:		<b>3.33</b>
3						
Costes directos complementarios						
		%	Costes directos complementarios	2.000	20.73	0.41
Coste de mantenimiento decenal: 2,33€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		21.14

URD010		m	Tubería de abastecimiento y distribución.			
Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo multicapa de polietileno PE 100 RC, PN=10 bar, SDR17, serie 8, de 125 mm de diámetro exterior y 7,4 mm de espesor, enterrada. El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1						
Materiales						
mt01ara010a		m <sup>3</sup>	Arena con granulometría de 0 a 5 mm de diámetro, limpia.	0.118	14.30	1.69
mt37abn940he		m	Tubo multicapa de polietileno PE 100 RC, PN=10 bar, SDR17, serie 8, de 125 mm de diámetro exterior y 7,4 mm de espesor, según UNE-EN 12201-2 y DIN PAS 1075, con capa exterior resistente a la fisuración y al punzonamiento, de color negro RAL 9004 con bandas de color azul RAL 5015 y capa interior resistente a los procesos de desinfección con protección frente a las incrustaciones y tratamiento antimicrobiano de color azul RAL 5015, suministrado en barras de 5,8 m de longitud, con el precio incrementado el 20% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1.000	19.80	19.80
				Subtotal materiales:		<b>21.49</b>
2						
Mano de obra						
mo041		h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0.078	23.10	1.80
mo087		h	Ayudante construcción de obra civil.	0.078	21.94	1.71
				Subtotal mano de obra:		<b>3.51</b>
3						
Costes directos complementarios						
		%	Costes directos complementarios	2.000	25.00	0.50
Coste de mantenimiento decenal: 2,81€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		25.50

*Red de Distribución de Agua para Riego. Un caso de estudio*

<b>URD010</b>		<b>m</b>	<b>Tubería de abastecimiento y distribución.</b>			
Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo multicapa de polietileno PE 100 RC, PN=10 bar, SDR17, serie 8, de 160 mm de diámetro exterior y 9,5 mm de espesor, enterrada. El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>						
Materiales						
mt01ara010a		m <sup>3</sup>	Arena con granulometría de 0 a 5 mm de diámetro, limpia.	0.124	14.30	1.77
mt37abn940je		m	Tubo multicapa de polietileno PE 100 RC, PN=10 bar, SDR17, serie 8, de 160 mm de diámetro exterior y 9,5 mm de espesor, según UNE-EN 12201-2 y DIN PAS 1075, con capa exterior resistente a la fisuración y al punzonamiento, de color negro RAL 9004 con bandas de color azul RAL 5015 y capa interior resistente a los procesos de desinfección con protección frente a las incrustaciones y tratamiento antimicrobiano de color azul RAL 5015, suministrado en barras de 5,8 m de longitud, con el precio incrementado el 20% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1.000	31.96	31.96
				Subtotal materiales:		<b>33.73</b>
<b>2</b>						
Mano de obra						
mo041		h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0.084	23.10	1.94
mo087		h	Ayudante construcción de obra civil.	0.084	21.94	1.84
				Subtotal mano de obra:		<b>3.78</b>
<b>3</b>						
Costes directos complementarios						
		%	Costes directos complementarios	2.000	37.51	0.75
Coste de mantenimiento decenal: 4,21€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>38.26</b>

<b>URD010</b>		<b>m</b>	<b>Tubería de abastecimiento y distribución.</b>			
Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo multicapa de polietileno PE 100 RC, PN=10 bar, SDR17, serie 8, de 250 mm de diámetro exterior y 14,8 mm de espesor, enterrada. El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>						
Materiales						
mt01ara010a		m <sup>3</sup>	Arena con granulometría de 0 a 5 mm de diámetro, limpia.	0.131	14.30	1.87
mt37abn940ne		m	Tubo multicapa de polietileno PE 100 RC, PN=10 bar, SDR17, serie 8, de 250 mm de diámetro exterior y 14,8 mm de espesor, según UNE-EN 12201-2 y DIN PAS 1075, con capa exterior resistente a la fisuración y al punzonamiento, de color negro RAL 9004 con bandas de color azul RAL 5015 y capa interior resistente a los procesos de desinfección con protección frente a las incrustaciones y tratamiento antimicrobiano de color azul RAL 5015, suministrado en barras de 5,8 m de longitud, con el precio incrementado el 20% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1.000	76.04	76.04
				Subtotal materiales:		<b>77.91</b>
<b>2</b>						
Mano de obra						
mo041		h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0.091	23.10	2.10
mo087		h	Ayudante construcción de obra civil.	0.091	21.94	2.00
				Subtotal mano de obra:		<b>4.10</b>
<b>3</b>						
Costes directos complementarios						
		%	Costes directos complementarios	2.000	82.01	1.64
Coste de mantenimiento decenal: 9,20€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>83.65</b>

*Red de Distribución de Agua para Riego. Un caso de estudio*

<b>URD010</b>		<b>m</b>	<b>Tubería de abastecimiento y distribución.</b>			
Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo multicapa de polietileno PE 100 RC, PN=10 bar, SDR17, serie 8, de 355 mm de diámetro exterior y 21,1 mm de espesor, enterrada. El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1			Materiales			
mt01ara010a		m <sup>3</sup>	Arena con granulometría de 0 a 5 mm de diámetro, limpia.	0.123	14.30	1.76
mt37abn940pe		m	Tubo multicapa de polietileno PE 100 RC, PN=10 bar, SDR17, serie 8, de 355 mm de diámetro exterior y 21,1 mm de espesor, según UNE-EN 12201-2 y DIN PAS 1075, con capa exterior resistente a la fisuración y al punzonamiento, de color negro RAL 9004 con bandas de color azul RAL 5015 y capa interior resistente a los procesos de desinfección con protección frente a las incrustaciones y tratamiento antimicrobiano de color azul RAL 5015, suministrado en barras de 5,8 m de longitud, con el precio incrementado el 20% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1.000	149.84	149.84
				Subtotal materiales:		<b>151.60</b>
2			Mano de obra			
mo041		h	Oficial 1ª construcción de obra civil.	0.083	23.10	1.92
mo087		h	Ayudante construcción de obra civil.	0.083	21.94	1.82
				Subtotal mano de obra:		<b>3.74</b>
3			Costes directos complementarios			
		%	Costes directos complementarios	2.000	155.34	3.11
Coste de mantenimiento decenal: 17,43€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		158.45

Accesorios

<b>IFW050</b>		<b>Ud</b>	<b>Purgador.</b>			
Purgador automático de aire de gran capacidad con boya y rosca de 1" de diámetro, cuerpo y tapa de fundición GG25, para una presión máxima de trabajo de 25 bar y una temperatura máxima de 90°C.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>						
Materiales						
mt37sgl025b		Ud	Purgador automático de aire de gran capacidad con boya y rosca de 1" de diámetro, cuerpo y tapa de fundición GG25, para una presión máxima de trabajo de 25 bar y una temperatura máxima de 90°C.	1.000	251.16	251.16
mt37www010		Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1.000	1.40	1.40
				Subtotal materiales:		<b>252.56</b>
<b>2</b>						
Mano de obra						
mo008		h	Oficial 1ª fontanero.	0.107	23.74	2.54
mo107		h	Ayudante fontanero.	0.107	21.90	2.34
				Subtotal mano de obra:		<b>4.88</b>
<b>3</b>						
Costes directos complementarios						
				2.000	257.44	5.15
Coste de mantenimiento decenal: 44,64€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>262.59</b>

<b>IFC090</b>		<b>Ud</b>	<b>Contador de agua.</b>			
Contador de agua Woltmann, caudal nominal 40 m³/h, diámetro nominal 65 mm, longitud 200 mm, conexiones embridadas, temperatura máxima 50°C, presión máxima 16 bar, con tapa, batería de alimentación, contrabridas y precinto.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>						
Materiales						
mt37cic115f		Ud	Contador de agua woltmann, caudal nominal 40 m³/h, diámetro nominal 65 mm, longitud 200 mm, conexiones embridadas, temperatura máxima 50°C, presión máxima 16 bar, con tapa, batería de alimentación, contrabridas y precinto.	1.000	248.29	248.29
mt38www012		Ud	Material auxiliar para instalaciones de calefacción y A.C.S.	1.000	2.10	2.10
				Subtotal materiales:		<b>250.39</b>
<b>2</b>						
Mano de obra						
mo004		h	Oficial 1ª calefactor.	0.820	23.74	19.47
				Subtotal mano de obra:		<b>19.47</b>
<b>3</b>						
Costes directos complementarios						
				2.000	269.86	5.40
Coste de mantenimiento decenal: 315,14€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>275.26</b>

Balsa de materiales sueltos

<b>NIB010</b>		<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Impermeabilización de balsa o pequeño embalse, con geotextil y geomembrana</b>			
Impermeabilización de balsa o pequeño embalse de agua no potable, con geomembrana homogénea de policloruro de vinilo plastificado (PVC-P), con resistencia a la intemperie, de 1,2 mm de espesor, color gris, con una densidad de 1240 kg/m <sup>3</sup> según UNE-EN ISO 1183, resistencia CBR a punzonamiento de 1,8 kN según UNE-EN ISO 12236 y una resistencia al desgarro superior a 40 kN/m, colocada con solapes, sin adherir al soporte, sobre geotextil no tejido sintético, termosoldado, de polipropileno, con una resistencia a la tracción longitudinal de 8,0 kN/m, una resistencia a la tracción transversal de 10,1 kN/m, una apertura de cono al ensayo de perforación dinámica según UNE-EN ISO 13433 inferior a 40 mm, resistencia CBR a punzonamiento 0,3 kN y una masa superficial de 120 g/m <sup>2</sup> .						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1			Materiales			
mt14gso030aaae		m <sup>2</sup>	Geotextil no tejido sintético, termosoldado, de polipropileno, con una resistencia a la tracción longitudinal de 8 kN/m, una resistencia a la tracción transversal de 10,1 kN/m, una apertura de cono al ensayo de perforación dinámica según UNE-EN ISO 13433 inferior a 40 mm, resistencia CBR a punzonamiento 0,3 kN y una masa superficial de 120 g/m <sup>2</sup> , según UNE-EN 13252.	1.100	1.06	1.17
mt15dag020a		m <sup>2</sup>	Geomembrana homogénea de policloruro de vinilo plastificado (PVC-P), con resistencia a la intemperie, de 1,2 mm de espesor, color gris, con una densidad de 1240 kg/m <sup>3</sup> según UNE-EN ISO 1183, resistencia CBR a punzonamiento de 1,8 kN según UNE-EN ISO 12236 y una resistencia al desgarro superior a 40 kN/m, suministrada en rollos de 2,05 m de anchura y 150 m de longitud.	1.100	6.10	6.71
				Subtotal materiales:		<b>7.88</b>
2			Mano de obra			
mo029		h	Oficial 1 <sup>a</sup> aplicador de láminas impermeabilizantes.	0.176	23.10	4.07
mo067		h	Ayudante aplicador de láminas impermeabilizantes.	0.176	21.94	3.86
				Subtotal mano de obra:		<b>7.93</b>
3			Costes directos complementarios			
		%	Costes directos complementarios	2.000	15.81	0.32
Coste de mantenimiento decenal: 0,81€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>16.13</b>

<b>ACE015</b>		<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Excavación de tierras a cielo abierto bajo rasante, con medios mecánicos.</b>			
Excavación a cielo abierto bajo rasante, en tierra blanda, de hasta 4 m de profundidad máxima, con medios mecánicos, y carga a camión. El precio incluye la formación de la rampa provisional para acceso de la maquinaria al fondo de la excavación y su posterior retirada, pero no incluye el transporte de los materiales excavados.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1			Equipo y maquinaria			
mq01ret020b		h	Retrocargadora sobre neumáticos, de 70 kW.	0.047	41.71	1.96
				Subtotal equipo y maquinaria:		<b>1.96</b>
2			Mano de obra			
mo087		h	Ayudante construcción de obra civil.	0.031	21.94	0.68
				Subtotal mano de obra:		<b>0.68</b>
3			Costes directos complementarios			
		%	Costes directos complementarios	2.000	2.64	0.05
				<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>2.69</b>

<b>ACP010</b>		<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Perfilado y refino de taludes, con medios mecánicos.</b>			
---------------	--	----------------------	---	--	--	--

Perfilado y refino de taludes de terraplén, de entre 3 y 6 m de altura, en tierra, con medios mecánicos.						
Código		Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1			Equipo y maquinaria			
mq01exc010c		h	Retroexcavadora sobre cadenas, de 113 kW.	0.006	60.08	0.36
				Subtotal equipo y maquinaria:		<b>0.36</b>
2			Costes directos complementarios			
		%	Costes directos complementarios	2.000	0.36	0.01
				<b>Costes directos (1+2):</b>		<b>0.37</b>

## Resumen del presupuesto

*Tabla 15. Resumen del presupuesto de ejecución material*

Elemento	tipo	ud	nº	precio/ud	total
Acometida	75	n	16	1300.63	20810.08
Hidrante	75	n	16	159.20	2547.20
Tubería	75	m	386.76	13.15	5085.89
Tubería	90	m	148.41	17.15	2545.23
Tubería	110	m	246.94	21.14	5220.31
Tubería	140	m	109.02	25.50	2780.01
Tubería	160	m	195.32	38.26	7472.94
Tubería	250	m	45.00	83.65	3764.25
Tubería	355	m	2.14	158.45	339.08
Ventosas	1"	n	5	262.59	1312.95
Contadores	65	n	2	275.26	550.52
Bomba centrífuga	STE-300T	n	2	1148.58	2297.16
Bomba vertical	SQL-18	n	1	732.39	732.39
Plástico geotextil		m <sup>2</sup>	1500	16.13	24195.00
Excavación		m <sup>3</sup>	3773	2.69	10149.37
Movimiento de tierra		m <sup>3</sup>	8300	0.37	3071.00
<b>Total</b>					<b>92873.39</b>

## Pliego de condiciones

### Capítulo 1 Acometida

#### UNIDAD DE OBRA URA010: ACOMETIDA A LA RED DE RIEGO

##### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Acometida enterrada a la red de riego de 2 m de longitud, que une la red general de distribución de agua de riego de la empresa suministradora con la red de abastecimiento y distribución interior, formada por tubo de polietileno PE 80, de 75 mm de diámetro exterior, PN=10 atm y 5,6 mm de espesor, colocada sobre lecho de arena de 15 cm de espesor, en el fondo de la zanja previamente excavada, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando hasta los riñones y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería; collarín de toma en carga colocado sobre la red general de distribución que sirve de enlace entre la acometida y la red; llave de corte de 2 1/2" de diámetro con mando de cuadradillo colocada mediante unión roscada, situada fuera de los límites de la propiedad, alojada en arqueta prefabricada de polipropileno de 55x55x55 cm, colocada sobre solera de hormigón en masa HM-20/P/20/X0 de 15 cm de espesor. Incluso accesorios, y conexión a la red. Sin incluir la rotura y restauración del firme existente, la excavación ni el posterior relleno principal.

##### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón: Código Estructural.

Instalación: Normas de la compañía suministradora.

##### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.

##### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA DEL SOPORTE.**

Se comprobará que el trazado de las zanjas corresponde con el de Proyecto. Se comprobarán las separaciones mínimas de la acometida con otras instalaciones.

##### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

###### **FASES DE EJECUCIÓN.**

Replanteo y trazado de la acometida, coordinado con el resto de instalaciones o elementos que puedan tener interferencias. Vertido y compactación del hormigón en formación de solera. Colocación de la arqueta prefabricada. Vertido de la arena en el fondo de la zanja. Colocación de la tubería. Montaje de la llave de corte sobre la acometida. Colocación de la tapa. Ejecución del relleno envolvente. Empalme de la acometida con la red general del municipio. Comprobación de su correcto funcionamiento.

###### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

La red permanecerá cerrada hasta su puesta en servicio, no presentará problemas en la circulación y tendrá una evacuación rápida.

###### **CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Se protegerá frente a golpes.

##### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

#### UNIDAD DE OBRA URE010: BOCA DE RIEGO

##### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Boca de riego, formada por cuerpo y tapa de fundición con cerradura de cuadradillo, brida de entrada, llave de corte y racor de salida roscado macho de latón de 1 1/2" de diámetro, enterrada. Incluso accesorios de conexión a la tubería de abastecimiento y distribución.

##### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.

##### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA DEL SOPORTE.**

Se comprobará que su situación se corresponde con la de Proyecto.

**PROCESO DE EJECUCIÓN**

**FASES DE EJECUCIÓN.**

Instalación en el terreno y conexión hidráulica a la tubería de abastecimiento y distribución. Relleno de la zanja. Limpieza hidráulica de la unidad. Realización de pruebas de servicio.

**CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

Tendrá una adecuada conexión a la red.

**PRUEBAS DE SERVICIO.**

Prueba de estanqueidad y funcionamiento.

Normativa de aplicación: NTE-IFR. Instalaciones de fontanería: Riego

**CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Se protegerá frente a golpes.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

## Capítulo 2 Tuberías

### UNIDAD DE OBRA URD010: TUBERÍA DE ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Tubería de abastecimiento y distribución de agua de riego, formada por tubo de polietileno PE 80 de color negro con bandas de color azul, PN=10 atm, enterrada, colocada sobre lecho de arena de 10 cm de espesor, debidamente compactada y nivelada con pisón vibrante de guiado manual, relleno lateral compactando hasta los riñones y posterior relleno con la misma arena hasta 10 cm por encima de la generatriz superior de la tubería. Incluso accesorios de conexión.

**NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución: NTE-IFR. Instalaciones de fontanería: Riego.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.

**CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA DEL SOPORTE.**

Se comprobará que su situación y recorrido se corresponden con los de Proyecto, y que hay espacio suficiente para su instalación.

**PROCESO DE EJECUCIÓN**

**FASES DE EJECUCIÓN.**

Replanteo y trazado. Vertido de la arena en el fondo de la zanja. Colocación de la tubería. Conexión y comprobación de su correcto funcionamiento. Ejecución del relleno envolvente.

**CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

La tubería tendrá resistencia mecánica. El conjunto será estanco.

**CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Se protegerá frente a golpes.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá la longitud realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.

**CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA**

El precio no incluye la excavación ni el relleno principal.