



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

# **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA RED DE RIEGO DE SAN RAFAEL (SECTOR 4 CANAL JÚCAR-TURIA)**

AUTOR: JAVIER HURTADO ABELLÁN

TUTOR: JUAN MANZANO JUÁREZ

**Curso Académico: 2016-17**

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

## **AGRADECIMIENTOS**

Es difícil intentar no sobrepasar el límite de lo aburrido y tratar de resumir y expresar en pocas palabras la importancia en la realización de este Trabajo Fin de Grado, de las personas que me rodean o han estado conmigo en cualquier momento de mi vida. Porque realmente, la unión de todos ellos tiene como resultado lo que soy hoy en día. Es por ello, por lo que posiblemente todo lo que escriba de aquí en adelante carezca del valor necesario que se merecen y sea simplemente una ínfima y alejada manifestación de todo aquello que les debo, y que nunca les podré devolver lo suficiente. Aun así, me esforzaré para que quede a la altura.

En primer lugar, me gustaría agradecer enormemente la paciencia y la disponibilidad mostrada a lo largo de todos estos meses a mi tutor Juan Manzano Juárez, receptor indiscutible de mis repetidas y ametralladoras preguntas, y cuya ayuda ha sido imprescindible y determinante para la elaboración de este trabajo.

En segundo lugar y ocupando un papel importantísimo desde hace ya cuatro años, dar las gracias a mi familia valenciana encargados de aguantarme y sufrirme la mayor parte del año. Gracias a Jessica, Carlos, Ana, Belén, Alejandro, Ana M. y Sara por todos los momentos vividos y los que estoy seguro que nos quedan por vivir, por el apoyo incondicional, la ayuda desinteresada y el cariño constante. Siempre estaré para lo que necesitéis sin importar hora, lugar o distancia, porque eternamente tendréis un papel protagonista en mi vida.

Por otro lado, no me puedo olvidar de aquellas personas con las que he crecido y he compartido mi vida de forma inseparable. A todos los "Machacas", por ser los culpables de que me ría prácticamente de cualquier cosa y tenga esa bonita nostalgia ligada a mi constantemente. Gracias por los momentos de desconexión del mundo, la confianza y las vivencias ya incontables.

A mi padres, incansables compañeros en los buenos y malos momentos. Eje principal de mi vida, referentes indiscutibles y responsables de todo aquello que consiga. Por todo el esfuerzo realizado, la constante ayuda, amor y apoyo que siempre demuestran por encima de cualquier cosa, infinitas gracias.

Por último y no por ello menos importante, sino más bien todo lo contrario, darle las gracias a mi hermano, eterna media naranja, consejero a destajo y el 99,9% de lo que soy. Por estos 22 años juntos y los muchos que te quedan por aguantarme.

*"Vive como si fueras a morir mañana, aprende como si fueras a vivir para siempre."*

*Mahatma Gandhi*

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

## **RESUMEN**

Históricamente la red de San Rafael situada en el subsector norte del Sector 4 de Picassent (Valencia), subzona margen izquierda del canal Júcar-Turía, ha presentado dificultades para llevar a cabo un correcto riego de las parcelas de cultivo asociadas a dicha red debido a los grandes desniveles que implican la utilización de bombas de impulsión con el respectivo consumo energético que esto conlleva. De esta manera, la red presenta zonas donde se superan o no se alcanzan los valores críticos de presión o velocidad considerados por los técnicos de la comunidad de regantes, disminuyendo el rendimiento del riego y provocando roturas de los elementos hidráulicos que constituyen la red.

Para comprobar y analizar la situación actual de la red de San Rafael se ha realizado su modelo hidráulico con el programa Epanet 2.0 a partir de los datos proporcionados por los técnicos y los cálculos pertinentes, con el objetivo de llevar a cabo la simulación de este. En base a los resultados obtenidos se han estudiado las áreas más críticas de la red (San Rafael Norte y el este de San Rafael sur), planteado diversas propuestas de mejora a los problemas que presentan y justificando de forma completa cada una ellas mediante los datos obtenidos de sus simulaciones y las comparaciones respecto a la situación inicial de la red.

Para terminar, también se ha realizado una valoración económica de cada una de las opciones planteadas, de forma que queden perfectamente descritas y se pueda emplear como criterio para la elección o el rechazo de las alternativas de mejora en cuanto al aspecto económico se refiere.

**Palabras clave:** Modelo hidráulico, Epanet 2.0, red de riego, propuestas de mejora.

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

## **RESUM**

Històricament la xarxa de Sant Rafael situada en el subsector nord del Sector 4 de Picassent (València), subzona marge esquerre del canal Júcar-Turía, ha presentat dificultats per a dur a terme un correcte reg de les parcel·les de cultiu associades a dita xarxa degut als grans desnivells que impliquen la utilització de bombes d'impulsió amb el respectiu consum energètic que comporta. D'esta manera, la xarxa presenta zones on se superen o no s'aconsegueixen els valors crítics de pressió o velocitat considerats pels tècnics de la comunitat de regants, disminuint el rendiment del reg i provocant ruptures dels elements hidràulics que constitueixen la xarxa.

Per a comprovar i analitzar la situació actual de la xarxa de Sant Rafael s'ha realitzat el seu model hidràulic amb el programa Epanet 2.0 a partir de les dades proporcionades pels tècnics i els càlculs pertinents, amb l'objectiu de dur a terme la simulació d'este. Basant-se en els resultats obtinguts s'han estudiat les àrees més crítiques de la xarxa (Sant Rafael Nord i l'est de Sant Rafael sud), plantejat diverses propostes de millora als problemes que presenten i justificant de forma completa cada una elles per mitjà de les dades obtingudes de les seues simulacions i les comparacions respecte a la situació inicial de la xarxa.

Per a acabar, també s'ha realitzat una valoració econòmica de cada una de les opcions plantejades, de manera que queden perfectament descrites i es puga emprar com a criteri per a l'elecció o el rebuig de les alternatives de millora quant a l'aspecte econòmic es referix.

**Paraules clau:** Model hidràulic, Epanet 2.0, xarxa de reg, propostes de millora.

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

## **ABSTRACT**

Historically, the San Rafael network located in the northern subsector of Sector 4 of Picassent (Valencia), a sub-area on the left bank of the Júcar-Turía canal, has presented difficulties in carrying out right irrigation of the cultivated plots associated with the network due to the large unevenness that imply the use of pumps of impulsion with the respective energetic consumption that entails. In this way, the network presents areas where the critical values of pressure or speed considered by the irrigation community technicians are exceeded or not reached, decreasing irrigation performance and causing ruptures of the hydraulic elements that make up the network.

In order to check and analyze the current situation of the San Rafael network, its hydraulic model has been carried out with the Epanet 2.0 program, based on the data provided by the technicians and the relevant calculations, in order to carry out the simulation of this. Based on the results obtained, the most critical areas of the network (San Rafael North and the east of San Rafael South) have been studied, proposing various proposals for improvement to the problems they present and fully justifying each of them through the data obtained from their simulations and comparisons regarding the initial situation of the network.

Finally, an economic assessment has also been made of each of the options presented, so that they are perfectly described and can be used as a criterion for the choice or rejection of the alternatives for improvement in the economic aspect.

**Keywords:** Hydraulic model, Epanet 2.0, irrigation network, proposal for the improvement.

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

## **ÍNDICE GENERAL**

### **DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG:**

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

DOCUMENTO II: ANEJOS A LA MEMORIA

DOCUMENTO III: PLANOS

DOCUMENTO IV: PRESUPUESTOS

DOCUMENTO V: LISTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO (CD ADJUNTO)

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

# **DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA**

---

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

## **ÍNDICE DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA**

<b>1. MOTIVACIÓN DEL TFG.....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
2.1. Orígenes del Agua de Riego.....	1
2.2. Importancia del Agua en la Agricultura .....	2
2.3. Técnicas de Regadío .....	3
2.4. Regadío en la Comunidad Valenciana .....	4
2.5. Antecedentes.....	5
2.5.1. Localización Geográfica .....	5
2.5.2. Canal Júcar-Turia .....	7
2.5.3. Sector 4 de Picassent.....	9
2.5.3.1 Cultivo Existente .....	11
2.5.4. Modernización en las Técnicas de Riego de Picassent .....	12
2.5.5. Problemas Anteriores.....	13
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>4. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO .....</b>	<b>14</b>
4.1. Situación Actual de la Red de Riego de San Rafael.....	14
4.1.1. Descripción General de la Red.....	14
4.1.1.1. Embalse de San Rafael.....	17
4.1.1.2. Cabezal de San Rafael.....	17
4.1.2. Modelo Hidráulico de la Red .....	19
4.1.2.1. Introducción a Epanet 2.0 .....	19
4.1.2.3. Realización del Modelo Hidráulico .....	20
4.1.2.4. Validación del Modelo .....	22
<b>5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO .....</b>	<b>25</b>

<b>6. PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA RED DE SAN RAFAEL .....</b>	<b>32</b>
6.1. Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro .....	32
6.1.1. Descripción General .....	33
6.1.2. Efecto sobre el Comportamiento Inicial de la Red .....	36
6.2. Colocación de Válvulas Reductoras de Presión (VRP) .....	36
6.2.1. Descripción General .....	38
6.2.2. Efecto sobre el Comportamiento Inicial de la Red .....	40
6.3. Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael .....	45
6.3.1. Descripción General .....	46
6.3.2. Efecto sobre el Comportamiento Inicial de la Red .....	50
6.4. Conexión con la Red de Sagrada Familia .....	55
6.4.1. Descripción General .....	57
6.4.2. Efecto sobre el Comportamiento Inicial de la Red .....	61
<b>7. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS .....</b>	<b>67</b>
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>70</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

## **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Tipos de cultivos y superficie ocupada por cada uno de ellos en la comunidad de regantes del sector 4 de la subzona margen izquierda del canal Júcar-Turía.....	11
<b>Tabla 2.</b> Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 6 de la red de riego de San Rafael.....	23
<b>Tabla 3.</b> Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 19 de la red de riego de San Rafael.....	23
<b>Tabla 4.</b> Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 33 de la red de riego de San Rafael.....	24
<b>Tabla 5.</b> Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 37 de la red de riego de San Rafael.....	24
<b>Tabla 6.</b> Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 47 de la red de riego de San Rafael.....	24
<b>Tabla 7.</b> Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 53 de la red de riego de San Rafael.....	25
<b>Tabla 8.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 00:00, 01:00 y 02:00 hrs de la red de San Rafael.....	27
<b>Tabla 9.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 03:00, 04:00 y 05:00 hrs de la red de San Rafael.....	27
<b>Tabla 10.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 06:00, 07:00 y 08:00 hrs de la red de San Rafael .....	27
<b>Tabla 11.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 09:00, 10:00 y 11:00 hrs de la red de San Rafael.....	28
<b>Tabla 12.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 12:00, 13:00 y 14:00 hrs de la red de San Rafael.....	28
<b>Tabla 13.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 15:00, 16:00 y 17:00 hrs de la red de San Rafael .....	28

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

<b>Tabla 14.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 18:00, 19:00 y 20:00 hrs de la red de San Rafael.....	28
<b>Tabla 15.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 21:00, 22:00 y 23:00 hrs de la red de San Rafael.....	29
<b>Tabla 16.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y el tiempo 24:00h de la red de San Rafael .....	29
<b>Tabla 17.</b> Comparación entre los diámetros interiores de las tuberías antes y después de realizar la sustitución en la red de San Rafael.....	35
<b>Tabla 18.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 00:00, 01:00, 02:00, 03:00 y 04:00 hrs tras la colocación de las válvulas reductoras en red de San Rafael. ...	41
<b>Tabla 19.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 05:00, 06:00, 07:00, 08:00 y 09:00 hrs tras la colocación de las válvulas reductoras en red de San Rafael. ...	41
<b>Tabla 20.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 10:00, 11:00, 12:00, 13:00 y 14:00 hrs tras la colocación de las válvulas reductoras en red de San Rafael. ...	41
<b>Tabla 21.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 15:00, 16:00, 17:00, 18:00 y 19:00 hrs tras la colocación de las válvulas reductoras en red de San Rafael. ...	41
<b>Tabla 22.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 20:00, 21:00, 22:00, 23:00 y 24:00 hrs tras la colocación de las válvulas reductoras en red de San Rafael. ...	42
<b>Tabla 23.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 00:00, 01:00, 02:00, 03:00 y 04:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur y la desconexión de una de las bombas de esta subred.....	50
<b>Tabla 24.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 05:00, 06:00, 07:00, 08:00 y 09:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur y la desconexión de una de las bombas de esta subred.....	50
<b>Tabla 25.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 10:00, 11:00, 12:00, 13:00 y 14:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur y la desconexión de una de las bombas de esta subred.....	51
<b>Tabla 26.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 15:00, 16:00, 17:00, 18:00 y 19:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur y la desconexión de una de las bombas de esta subred.....	51
<b>Tabla 27.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 20:00, 21:00, 22:00, 23:00 y 24:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur y la desconexión de una de las bombas de esta subred.....	51

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

<b>Tabla 28.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 00:00, 01:00, 02:00, 03:00 y 04:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur mediante su unión con la red de Sagrada Familia .....	61
<b>Tabla 29.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 05:00, 06:00, 07:00, 08:00 y 09:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur mediante su unión con la red de Sagrada Familia .....	61
<b>Tabla 30.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 10:00, 11:00, 12:00, 13:00 y 14:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur mediante su unión con la red de Sagrada Familia .....	62
<b>Tabla 31.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 15:00, 16:00, 17:00, 18:00 y 19:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur mediante su unión con la red de Sagrada Familia .....	62
<b>Tabla 32.</b> Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 20:00, 21:00, 22:00, 23:00 y 24:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur mediante su unión con la red de Sagrada Familia .....	62
<b>Tabla 33.</b> Presupuesto base de licitación de cada una de las alternativas presentadas en este trabajo .....	67

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Distribución porcentual por comunidad autónoma y técnica de riego de los volúmenes de agua destinados al regadío en el año 2015 en España.....	5
<b>Figura 2.</b> Mapa de municipios de la Comunidad Valenciana entre los que se encuentra Picassent.....	6
<b>Figura 3.</b> División del territorio en subzona margen derecha y subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia con sus correspondientes sectores.....	7
<b>Figura 4.</b> Mapa representativo de la localización geográfica del canal Júcar-Turia.....	8
<b>Figura 5.</b> Esquema de las conexiones entre las instalaciones en uso del Sector 4, subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia, Picassent .....	10
<b>Figura 6.</b> Distribución Porcentual de cultivos en el Sector 4 de la subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia. ....	11
<b>Figura 7.</b> División en zonas de la red de riego de San Rafael del subsector norte del Sector 4 de Picassent.....	15
<b>Figura 8.</b> Recorrido de la red del subsector norte del Sector 4, subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia, con información cartográfica.....	16
<b>Figura 9.</b> Interior del cabezal de la red de San Rafael en el subsector norte del Sector 4 de Picassent: a) Bombas de impulsión de agua desde el embalse de San Rafael hasta la red ; b) Tubería previa a la red donde se miden los parámetros de funcionamiento y se realizan los tratamiento de filtrado y fertirrigación.....	18
<b>Figura 10.</b> Esquema de la estructura interna del cabezal de la red de San Rafael del Sector 4 de la subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia .....	18
<b>Figura 11.</b> Modelo hidráulico sin tomas y con la numeración de cada hidrante de la red de San Rafael realizado a partir de Epanet 2.0.....	22
<b>Figura 12.</b> Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 15:00h .....	30
<b>Figura 13.</b> Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 23:00h .....	31

<b>Figura 14.</b> Localización en la red de San Rafael de las tuberías que presentan problemas de velocidad, indicando a partir del color el tipo de unión (rojo, tubería red-hidrante; verde, tubería hidrante-toma) .....	34
<b>Figura 15.</b> Corte transversal de una válvula reductora de presión con sus diversas partes numeradas .....	37
<b>Figura 16.</b> Localización de las válvulas reductoras de presión colocadas en la red de San Rafael para mejorar su funcionamiento .....	39
<b>Figura 17.</b> Imagen vía satélite de la red de San Rafael con la marcación geográfica en la que se deber colocar las válvulas reductoras de presión para llevar a cabo la mejora de la red de riego .....	40
<b>Figura 18.</b> Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 15:00h .....	43
<b>Figura 19.</b> Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 23:00h .....	44
<b>Figura 20.</b> Delimitaciones de la zona A y B de San Rafael Sur, diferenciadas por la forma de abastecimiento de agua para riego llevada a cabo en cada una de ellas tras realizar la propuesta desarrollada en este apartado. Fuente: Propia .....	45
<b>Figura 21.</b> Recorrido de la nueva tubería de unión entre el embalse y el este de San Rafael Sur para llevar a cabo un riego por gravedad .....	47
<b>Figura 22.</b> Subred de San Rafael Sur modificada para llevar a cabo el riego por gravedad en la zona este .....	48
<b>Figura 23.</b> Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 15:00h .....	52
<b>Figura 24.</b> Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 23:00h .....	53
<b>Figura 25.</b> Localización de las tuberías cuya velocidad se ha visto modificada por la desviación de caudal hacia la nueva línea destinada al riego por gravedad en la red de San Rafael.....	54

<b>Figura 26.</b> Delimitaciones de la zona A y B de San Rafael Sur, diferenciadas por la forma de abastecimiento de agua para riego llevada a cabo en cada una de ellas tras realizar la propuesta desarrollada en este apartado.....	56
<b>Figura 27.</b> Unión entre la red de Sagrada Familia y la zona este de San Rafael Sur para llevar a cabo el riego por gravedad y el descenso de las presiones que tienen lugar en esta área .....	58
<b>Figura 28.</b> Modelo hidráulico para la simulación de la alternativa "Conexión con la red de Sagrada Familia" realizada en base a las modificaciones sobre el modelo de la situación actual de la red de San Rafael.....	59
<b>Figura 29.</b> Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 15:00h .....	64
<b>Figura 30.</b> Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 23:00h .....	65
<b>Figura 31.</b> Localización de las tuberías en las cuales varía la velocidad del agua al realizar la propuesta "Conexión con la red de Sagrada Familia" .....	66

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

## 1. MOTIVACIÓN DEL TFG

Durante mi segundo año de universidad cursando el Grado en Ingeniería Química, tuve la suerte de encontrarme con la asignatura "Mecánica de Fluidos". En ella se estudiaba las características de los fluidos, su comportamiento, las fuerzas que aplicaban a las distintas superficies, además de introducir conceptos básicos sobre redes hidráulicas, los elementos que las constituyen (válvulas, bombas, depósitos, etc) y sus parámetros de dimensionamiento y análisis, como son: La presión, cota, longitud, diámetro, etc. Esto inmediatamente despertó mi interés sobre la hidráulica y sobre los diferentes ámbitos y espacios donde esta cobra un papel imprescindible. Ya en mi tercer año, puede ampliar mis conocimientos a partir de la asignatura "Máquinas de Fluidos" sobre los distintos equipos empleados en la circulación, regulación, impulsión y aprovechamiento de fluidos con distintos fines, como son por ejemplo: Bombas, válvulas, turbinas, etc.

Por todo esto, decidí dar un paso más y centrar mi futuro TFG en aquello que había llamado tanto mi atención. De manera que contacte con mi antiguo profesor de "Máquinas de Fluidos", Juan Manzano, quien me ofreció el estudio de optimización que se desarrollará a continuación.

Por consiguiente, este Trabajo Fin de Grado además de ser una increíble oportunidad para poner en práctica todo lo aprendido durante el Grado en Ingeniería química, me permitirá trabajar sobre una problemática real existente en la red de San Rafael (perteneciente al Sector 4 de Picassent), y plantear diversas alternativas de mejora sobre el comportamiento hidráulico que aseguren la prosperidad de la red. Traduciéndose así, en un reto tanto personal como académico.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. Orígenes del Agua de Riego

Dependiendo de su procedencia pueden ser aguas subterráneas o superficiales. Estas últimas hacen referencia a las corrientes de agua (ríos y arroyos) o lagos. Son muy vulnerables a la contaminación aunque esta puede ser fácilmente detectada y corregida. Por otro lado, las subterráneas (acuíferos) se originan como consecuencia de la permeabilidad del terreno que permite la filtración de las aguas superficiales, y de la impermeabilidad de algunas capas del suelo que retienen el agua.

No siempre es necesario la construcción de infraestructuras para llevar a cabo la captación de agua, como es el caso de los manantiales. Sin embargo, en muchas otras ocasiones para la extracción de aguas subterráneas se suelen realizar galerías, zanjas, drenes o pozos, mientras que para el aprovechamiento de las aguas superficiales se realizan canales de derivación y presas (Cabrera y col., 2009). Por otro lado, también se suelen construir embalses que almacenan el agua proveniente de las precipitaciones junto con la obtenida de la captación de aguas superficiales y subterráneas, para posteriormente a través de tuberías y bombas distribuirla a las diversas parcelas de cultivo y dar lugar a la red de regadío.

Otra alternativa emergente durante los últimos años que nace como respuesta al incesante aumento de la demanda de agua y la sobrexplotación, es la desalación de aguas salobres o agua de mar a partir de una primera ósmosis inversa y un tratamiento final para adecuar el agua a los requerimientos de uso. Aunque se trata de una técnica cada vez más atractiva para el regadío de cultivos cercanos a la costa, solo existe constancia de que se haya sido probada con esta finalidad en países como Israel o España (Martínez y Martín, 2014).

Durante el año 2015 en España, el 75,4% del agua destinada a riego procedía de captaciones superficiales, el 22,8% de subterráneas y un 1,8% de otras fuentes, como por ejemplo de la desalación de agua (INE, 2017).

## 2.2. Importancia del Agua en la Agricultura

El agua junto con los elementos presentes en la tierra y en el aire constituye en mayor porcentaje la composición de las plantas (del 60% al 95%). Además, también es el vehículo que permite que lleguen a esta los minerales necesarios para su nutrición.

Es por ello, que para que exista un crecimiento económico y social en un país es necesario la aplicación del agua en los suelos agrícolas. Los primeros registros se remontan al año 6000 a.C. en Mesopotamia y Egipto, donde las riadas que tenían lugar entre los meses de Julio y Diciembre del río Nilo o del Tigris y Éufrates, eran desviadas hacia los campos durante unos 40 ó 60 días. Cuando finalizaba este periodo de tiempo se drenaba el agua. En el 1650 a.C. los caldeos y asirios llevaron a cabo la unión del Tigris y Éufrates mediante un canal principal y un conjunto de canales secundarios y terciarios. Al mismo tiempo, dichas técnicas se propagaron hacia Europa y África del Norte debido a las expansiones, conquistas y amistades que efectuaban las distintas civilizaciones (Montero, 1999). Por lo que la continua transferencia de conocimiento sobre el regadío entre las distintas etnias y las aportaciones realizadas por cada una de ellas a lo largo del tiempo, sentó las bases de la hidráulica en la agricultura y representó una evolución interrumpida en las técnicas de riego.

Sin embargo, el consumo de agua no puede ser excesivo ya que se trata de un recurso natural escaso, por lo que es esencial realizar proyectos de riego y perfeccionar los ya

existentes, con el fin de garantizar el mínimo consumo y la continuidad en la productividad de los terrenos regados (Gurovich, 1985; Sierra, 1977). En España, el consumo de agua de regadío ha sufrido una tendencia prácticamente decreciente durante los últimos años, destinándose 14.945 millones de m<sup>3</sup> en 2015 (INE, 2017).

### 2.3. Técnicas de Regadío

El riego es el suministro artificial de agua al suelo que tiene lugar debido al desequilibrio entre la evapotranspiración de las plantas y las precipitaciones, con el propósito de diluir las sales existentes en el terreno, aportar la humedad necesaria y crear un ambiente favorable para el correcto crecimiento y desarrollo de los cultivos (Pascual, 2008).

Las diferentes técnicas de regadío que existen son:

- Riego por gravedad: También denominado riego por superficie. Consiste en la filtración del agua en el terreno a medida que avanza por la parcela regada. Debe existir un equilibrio entre el avance y la infiltración del agua, y su utilización se limita a superficies con pendientes suaves y suelos profundos, por lo que conlleva unos costes de instalación y conservación escasos. En cambio, como inconvenientes cabe destacar la dificultad para aplicar dosis bajas de riego (elevado consumo), la necesaria presencia del agricultor durante el regadío y las pérdidas que se producen debido a la cantidad de agua que se evapora, se propaga libremente sobre la superficie del terreno sin filtrarse (escorrentía superficial) o se filtra más allá de las raíces y no puede ser utilizada por la planta (percolación profunda).

Se puede realizar mediante el riego por surcos (el agua fluye filtrándose por el fondo y costados de los surcos paralelos) o riego a manta (el agua moja toda la parcela) (Fuentes, 2003).

- Riego por aspersión: En esta técnica el agua se aplica uniformemente a modo de lluvia sobre la superficie, por medio de unos aspersores alimentados por agua a presión. Se puede realizar un riego individual, en el que existe un aprovechamiento particular de una fuente de suministro de agua, o colectivo, donde se proporciona en unas tomas de riego situadas en distintas explotaciones agua a presión (Fuentes, 2003).

Presenta numerosas ventajas al poder ser móvil, semifijo o fijo, adaptándose a cualquier situación o necesidad, menor consumo de agua que el riego por gravedad y por lo tanto menores costes, y además, en los últimos años se ha llevado a cabo su mecanización permitiendo que los emisores rieguen a la vez que se desplazan. Como inconveniente cabe remarcar que la mano de obra necesaria para el transporte en el riego por aspersión móvil o semifijo son significativos, elevando de esta manera los costes (Palomino, 2009).

- **Riego localizado:** Consiste en la aplicación del agua en zonas restringidas, por lo que no se moja la totalidad del suelo, se utilizan caudales pequeños a baja presión y el agua se aplica con alta frecuencia. Se pueden distinguir dos tipos: Riego por goteo, en el que el agua se suministra mediante dispositivos que la vierten gota a gota o mediante un flujo continuo, y el riego por microaspersión, donde el agua se aplica en forma de lluvia fina.

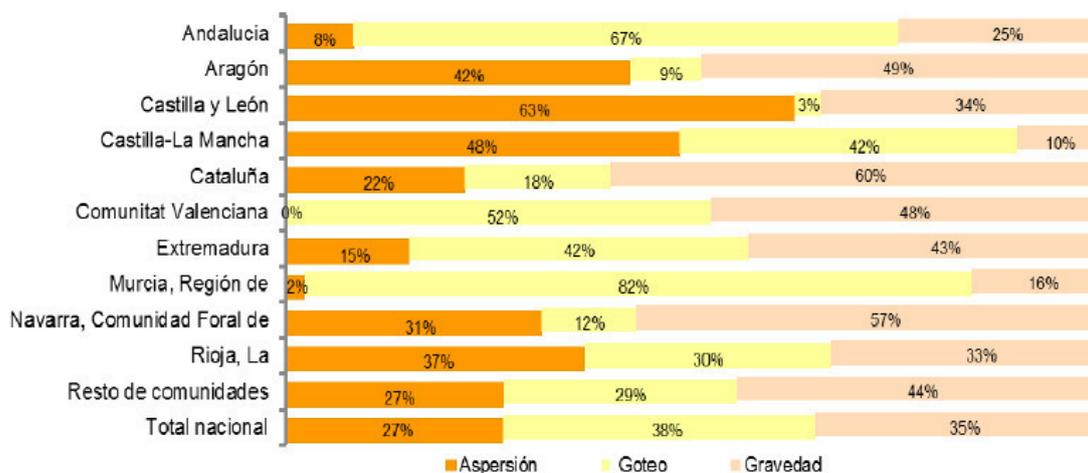
Esta última técnica de riego presenta numerosas ventajas, como son: Un claro ahorro de agua, una mayor facilidad para absorberla por parte de la planta y por lo tanto un menor número de pérdidas (mayor eficiencia de riego), menores costes en mano de obra ya que suele tratarse de sistemas permanentes o semipermanentes, y posibilidad de aplicación simultánea de fertilizantes y agua (fertirrigación). Además, permite una organización del sistema de riego por turnos o a demanda (al igual que el riego por aspersión) y permite llevar a cabo un control automático mediante una o varias válvulas que se abren o se cierran cuando se alcanzan valores predeterminados de tiempo, volumen, etc (Fuentes, 2003; Palomino, 2009).

En España en 2015, el 38,4% del riego se realizaba por goteo, el 34,8% por gravedad y finalmente el 26,8% restante mediante aspersión. Pudiéndose observar un claro descenso del 4,6% respecto al año 2014 en el riego por gravedad y un aumento del 1,1% y 0,1% en el riego por goteo (riego localizado) y aspersión respectivamente (INE, 2017).

## 2.4. Regadío en la Comunidad Valenciana

La Comunidad Valenciana está constituida por tres provincias: Alicante, Valencia y Castellón. Debido a su situación geográfica predomina un clima mediterráneo aunque con variantes en algunas localidades. La agricultura de la comunidad valenciana radica principalmente en el regadío, ya que el 44% de las plantaciones están regadas, predominando el cultivo de cítricos, entre los que destacan los limones, naranjas, mandarinas y pomelos. Su riego se lleva a cabo a partir de las precipitaciones que se producen a lo largo del año y de las técnicas de riego desarrolladas. Se basa a diferencia de otras comunidades en el riego por gravedad y el riego por goteo (como se puede observar en la figura 1), debido al tipo de cultivo y a la tradición existente de regadío (INE, 2017; MAPA, 2003).

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)



**Figura 1.** Distribución porcentual por comunidad autónoma y técnica de riego de los volúmenes de agua destinados al regadío en el año 2015 en España. Fuente: INE (2017)

El agua destinada a riego en la comunidad valenciana es elevada debido a la escasez de las precipitaciones y concentración de estas en determinadas estaciones, obligando por lo tanto que durante el resto del año el aporte de agua necesario para el desarrollo óptimo de la planta sea proporcionando casi en su totalidad, por las formas de riego anteriormente mencionadas.

## 2.5. Antecedentes

### 2.5.1. Localización Geográfica

Picassent es un municipio de la Comunidad Valenciana (España) con 20.498 habitantes. Perteneciente a la provincia de Valencia y más específicamente a la comarca de la Huerta Sur, se sitúa a 17 km de la capital valenciana y presenta una superficie de 85,9 km<sup>2</sup>. Limita al este con los municipios de Silla y Almussafes; al norte con los términos de Alcàsser y Torrent; al oeste con Montserrat y Llombai, y por último con los municipios de Benifaió y Alfarb al sur.





## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

Posteriormente, la sobreexplotación de los acuíferos suscitó a la búsqueda de alternativas para la captación de agua de riego. Es este el motivo por el que se construye el canal Júcar-Turía. Dicho canal presenta un caudal máximo de  $32 \text{ m}^3/\text{s}$  y una longitud de 60,5 kilómetros. Tiene su origen en el sur, en el pantano de Tous, a una cota de 82,5 metros. Continúa por el túnel de la Escala, seguidamente atraviesa las comarcas de la Huerta sur y la Ribera Alta, y finalmente termina desembocando en el río Turia, al norte del término de Manises, a una cota de 55,8 metros.



**Figura 4.** Mapa representativo de la localización geográfica del canal Júcar-Turía. Fuente: Martínez (2006)

El agua procedente del canal ha sido utilizada desde principios de la década de 1980 para el regadío de cultivos en Picassent debido al menor coste de captación, conectando los pozos a la red para utilizarlos como alternativa de auxilio en épocas de escasez. Además de destinarse al riego, también se ha utilizado para el abastecimiento de agua potable (tras pasar por las plantas potabilizadoras de Picassent y Manises) en la ciudad de Valencia, pueblos de la Huerta y Sagunto.

El canal Júcar-Turía da lugar a dos subzonas situadas a ambos lados del canal: La subzona margen izquierda constituida por siete comunidades de regantes y la subzona margen derecha formada por catorce comunidades (Martínez, 2006).

### 2.5.3. Sector 4 de Picassent

La comunidad de regantes del Sector 4 se construyó el 20 de junio de 1997, cuenta con 2.000 socios y se expande principalmente por el término de Picassent, constituyendo de esta manera el espacio de riego más extenso de este municipio con 3.040,98 hectáreas, de las cuales el 60,8% son regadas a partir de las infraestructuras del canal (Serra, 2016).

La captación de agua destinada al riego de las parcelas de esta comunidad de regantes es de origen mixto, debido a que aunque mayoritariamente proceda de agua superficiales gracias al canal Júcar-Turía, en épocas de escasez se recurre a las aguas subterráneas provenientes de los viejos sondeos (Casquero, 2016). Además, debido a que el Sector 4 se encuentra a una mayor cota que el canal, se utilizan bombas para llevar a cabo la elevación del agua.

Las instalaciones que forman este sector son:

- 3 Tomas de agua en el canal Júcar-Turía: Pla de L'Aljub, Creueta y Sagrada Familia.
- 6 Estaciones de bombeo: Pla de L'Aljub, Creueta, Sagrada Familia, La Serra, Clot de L'Hedra y Vallivana.
- 10 Balsas de acumulación/regulación: Milagrosa, Purísima, Cotino, La Serra, Progreso, Caseta Carrillo, Pi del Rosari, Creueta, Sagrada Familia y San Rafael.
- 14 Cabezales de riego comunitario: Morredondo I, Morredondo II, Morredondo III, L'Almud, La Serra, Cotino/San Blai, Progreso, Momberri, Pi Elevación, Pi Gravedad, Caseta Carrillo, Creueta, Sagrada Familia y San Rafael.
- 15 Sondeos de agua subterránea: Purísima, Milagrosa, La Serra, L'Almud, CGUCJT, Cor de Jesús, El Progreso, Santa Rita, Sant Martí, Sant Miguel, Clot de L'Hedra, Verge del Carmen, San Rafael, La Pedrera, L'Esperanza y Verge Remei.
- 2 Centros de control

Además se divide en dos subsectores: Subsector norte (911,79 hectáreas) y subsector sur (2.129,19 hectáreas), tomando la carretera CV-415 Silla-Turís como línea divisoria. De esta forma, el subsector norte en el que radica el interés y objetivo de este estudio queda formado por el sistema de San Rafael y Sagrada Familia, mientras que en el sur se encuentra el sistema de Cotino, La Serra, Milagrosa-Purísima, Progreso, Pi del Rosari, Carrillo y La Creueta (Serra, 2016).

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

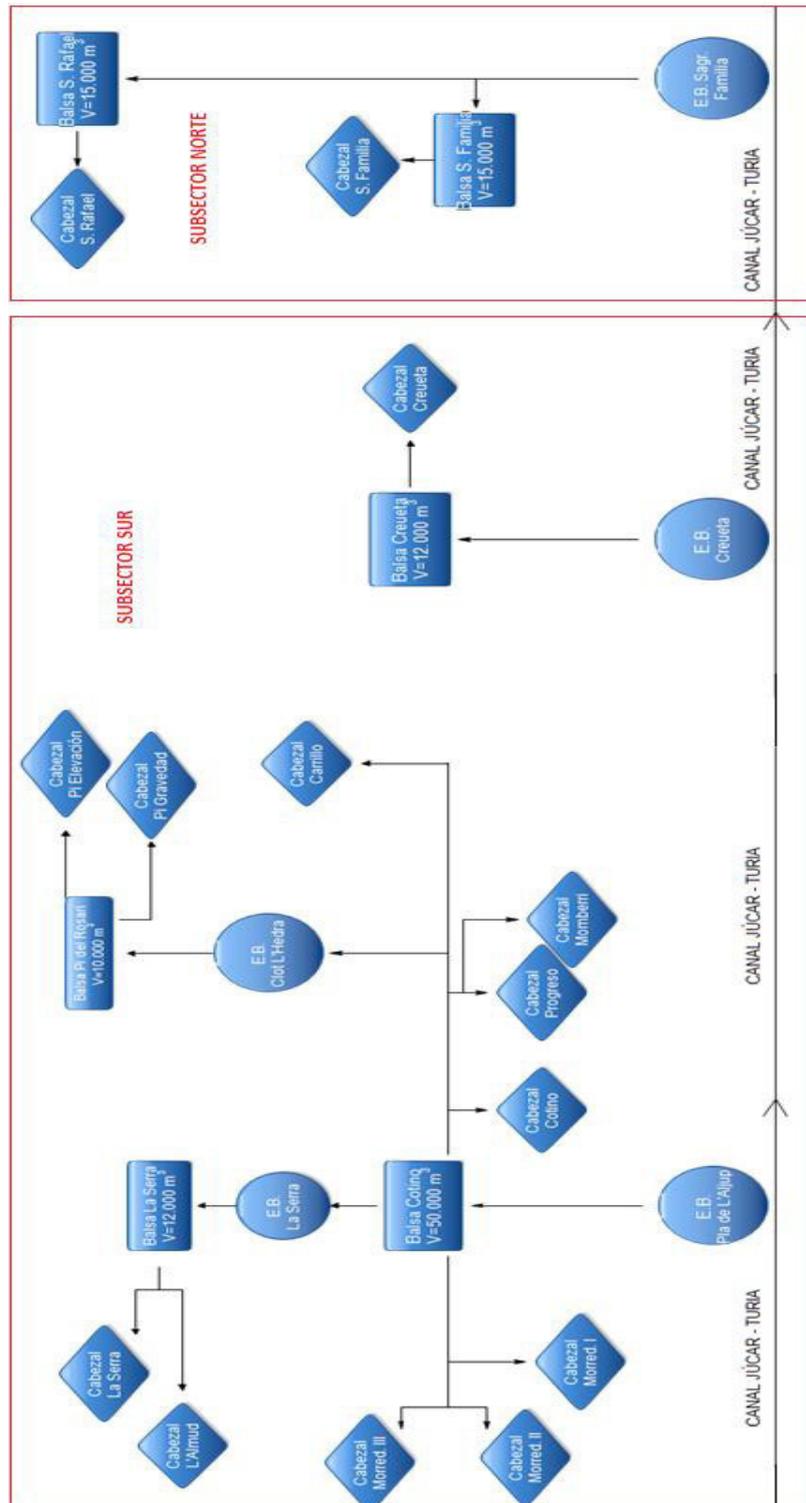


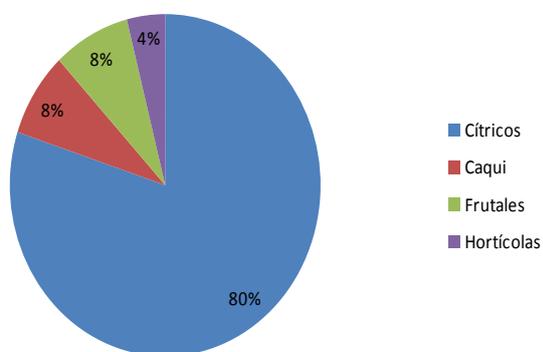
Figura 5. Esquema de las conexiones entre las instalaciones en uso del Sector 4, subzona margen izquierda del canal Júcar-Turía, Picassent. Fuente: Casquero (2016)

### 2.5.3.1 Cultivo Existente

El cambio de la agricultura en Picassent provocó la evolución de las plantaciones de secano a cultivos de regadío. En la actualidad, Picassent es líder en la comarca de la Huerta y cuarta de la Comunidad Valenciana (por detrás de Sagunto, Alzira y Oriola) en cultivo de cítricos. Estos ocupan alrededor del 80% del terreno agrario del Sector 4, mientras que el 20% restante se divide: 8% Caqui, 8% otros frutales y 4% hortícolas (Martínez, 2006).

**Tabla 1.** Tipos de cultivos y superficie ocupada por cada uno de ellos en la comunidad de regantes del sector 4 de la subzona margen izquierda del canal Júcar-Turía. Fuente: Serra (2016)

Cultivos	%	Superficie Sector 4 (has)
Cítricos	80	2.432,78
Caqui	8	243,28
Frutales	8	243,28
Hortícolas	4	121,64
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>3.040,98</b>



**Figura 6.** Distribución Porcentual de cultivos en el Sector 4 de la subzona margen izquierda del canal Júcar-Turía. Fuente: Serra (2016)

#### 2.5.4. Modernización en las Técnicas de Riego de Picassent

La técnica de riego utilizada históricamente en Picassent era por inundación o a manta. Esta forma de regadío presenta diversos inconvenientes (reflejados en el apartado 2.3), que han dado lugar con el paso de los años y junto con el avance y desarrollo de nuevas técnicas y mejoras de las ya existentes, a una forma de riego bastante ineficiente. Por esta razón, con el objetivo de progresar en la gestión del agua destinada a regadío, se ha llevado a cabo durante un gran periodo de tiempo la modernización de la técnica de riego empleada hasta entonces en los diferentes sectores, mediante la implantación del riego localizado (por goteo) de alta frecuencia (Martínez, 2006). Este proceso de evolución se ha realizado con la ayuda de las distintas instituciones públicas y a través de numerosos convenios y proyectos. Específicamente en el subsector norte del Sector 4 de Picassent:

- "Proyecto de Modernización del Sistema de San Rafael-Sagrada Familia de la Zona Norte, Sector 4 Margen Izquierda del canal Júcar-Turia" en febrero de 2004.
- "Convenio regulador para la Construcción y Explotación de las Obras de Modernización y Consolidación de los Regadíos de La Comunidad de Regantes Canal Júcar-Turia, Sector 4 Margen Izquierda Picassent (Valencia)" en octubre de 2005.
- Proyecto de "Obras de Modernización y Consolidación de los Regadíos de la Comunidad de Regantes del Sector 4 Margen Izquierda del Canal Júcar-Turia, Zona Norte Sistema de San Rafael y Sagrada Familia del término municipal de Picassent (Valencia)" en diciembre de 2005.

En septiembre de 2006 las obras de modernización del subsector norte del Sector 4 fueron adjudicadas a la Sociedad Estatal de Infraestructuras Agrarias (SEIASA), y dieron comienzo en abril de 2007. Finalmente finalizaron en la campaña 2010-2011.

En la actualidad en el Sector 4 coexisten dos formas de organizar el sistema de riego localizado como consecuencia de la escalonada modernización que se ha llevado a cabo. En un primer momento, se estableció una organización del riego por demanda, pero a medida que se fue expandiendo el riego localizado a lo largo del Sector 4 se empezó a emplear una distribución de riego por turnos con el objetivo de abastecer a todos los agricultores, al mismo tiempo que se reducen los costes buscando la disposición horaria de regadío de las distintas plantaciones para el menor gasto energético (Guaita, 2013).

### 2.5.5. Problemas Anteriores

El continuo desarrollo y transformación de las redes de riego de las diversas comunidades de regantes que constituyen Picassent, han tenido como resultado una clara evolución y mejora tanto en la eficiencia como en el rendimiento de la red. Aún así, las diversas modificaciones realizadas han tenido también repercusiones negativas debido a la necesidad inminente de abastecer a los cultivos, provocando la reducción de tiempos a la hora de tomar decisiones y llevar a cabo el correcto planteamiento de la situación de la red a largo plazo. Es por esto, por lo que paralelamente a los proyectos de modernización y obras de la red se han realizado otros con el objetivo de solucionar todos aquellos problemas que surgen de los diversos cambios.

El territorio de estudio de este trabajo, subsector norte del Sector 4 de la subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia, ha presentado numerosas dificultades históricamente al tratarse de una superficie con bastante desnivel, dificultando la circulación de agua por la red y obligando a la utilización de bombas de impulsión, con el consumo energético que ello conlleva. Todo esto ha originado problemas de caudal y presión en muchos puntos de la red, y un gran gasto energético.

La literatura existente proporciona algunas soluciones para evitar la sobrepresión en los puntos con menor cota de la red, como puede ser la colocación de elementos de valvulería o desconexión de ciertos equipos de bombeo, así como modificar los turnos de riego o las potencias contratadas para reducir el consumo y con ello el coste energético (Guaita, 2013). Los resultados obtenidos del planteamiento de estas alternativas han sido positivos consiguiendo una optimización de la red hidráulica, por lo que a partir de la información encontrada y el análisis de las conclusiones alcanzadas por otros autores en redes con problemas similares, se presentarán en este trabajo diversas propuestas de mejora y perfeccionamiento ante el estudio de la situación actual de la red de riego de San Rafael.

## 3. OBJETIVOS

Como se ha comentado en la introducción, a lo largo de los años el regadío en Picassent ha sufrido diversos cambios como consecuencia de los procesos de modernización y mejora de la red, así como por la necesidad de adaptación a las exigencias de demanda existentes en cada época. Todo ello, ha supuesto la construcción de nuevas obras respetando en gran medida las instalaciones preestablecidas, dando lugar a algunos problemas de funcionamiento en la red que se han traducido en un peor comportamiento hidráulico y un aumento de las pérdidas para los agricultores.

Ante esta situación, este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo llevar a cabo el análisis detallado de la red de San Rafael (situada en el subsector norte del Sector 4 de la subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia) a partir de la información proporcionada por la comunidad de regantes de este sector y la realización del modelo hidráulico mediante el software Epanet 2.0. Además, se llevará a cabo la propuesta de diversas alternativas que optimicen el funcionamiento y subsanen los inconvenientes encontrados en la red de riego, realizando también una evaluación económica de cada una de ellas. De esta forma, se podrá seleccionar la opción más viable en base al coste de inversión y la mejora observada en los resultados obtenidos del estudio.

Este trabajo podrá ser utilizado como punto de partida para el planteamiento de soluciones a problemas similares de otras subredes de riego situadas en los diferentes sectores que constituyen el municipio de Picassent, facilitando en gran medida los futuros posibles trabajos de optimización que se lleven a cabo, reduciendo por lo tanto el tiempo de elaboración de estos.

Por otra parte, el objetivo académico de este TFG es adquirir un mayor conocimiento sobre las redes de riego, los fundamentos y la influencia de los parámetros que afectan en la circulación de agua por tuberías (como la velocidad, presión, etc.), así como el perfeccionamiento en el manejo de programas empleados para la representación y análisis de redes. Además, permitirá llevar a cabo la aplicación de los conocimientos adquiridos durante el Grado de Ingeniería Química realizado en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), mejorando la capacidad de autoaprendizaje y toma de decisiones.

## **4. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO**

### **4.1. Situación Actual de la Red de Riego de San Rafael**

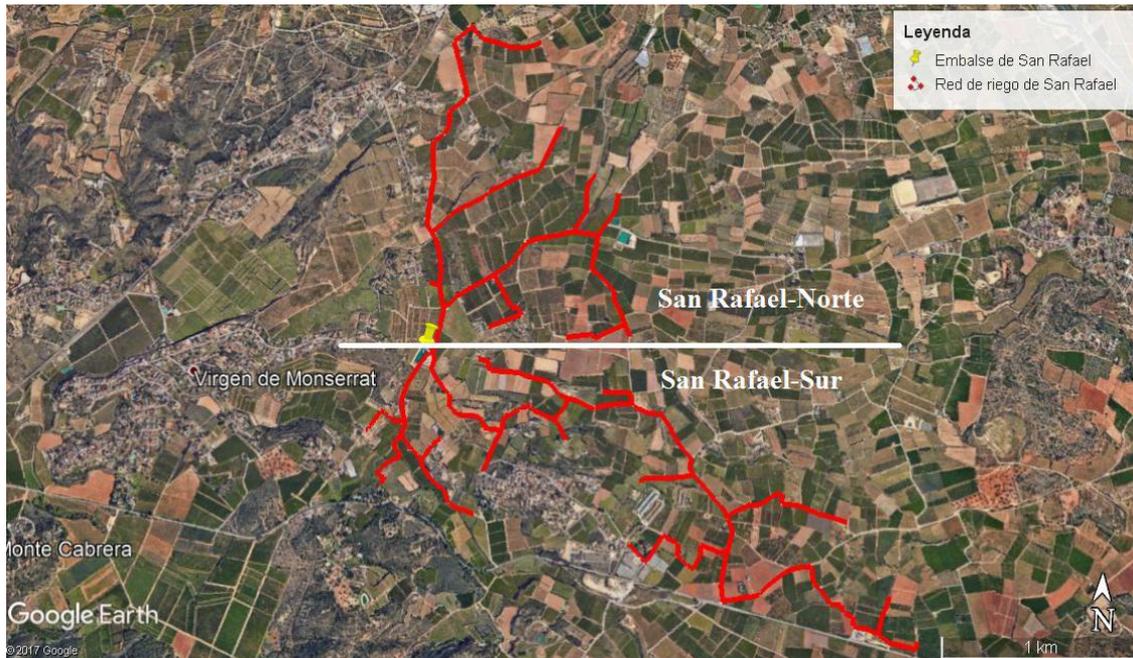
#### **4.1.1. Descripción General de la Red**

La red de riego de San Rafael es de tipo ramificada (ver anexo 2) y se encuentra situada en el subsector norte del Sector 4 de la subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia, en Picassent. Más específicamente al oeste del subsector norte de esta comunidad de regantes.

En los proyectos iniciales se había diseñado el subsector norte del Sector 4 con cinco cabezales de riego comunitario: San Rafael norte, sur y balsa; Sagrada Familia y Consuelo. Pero finalmente se agruparon en los cabezales de Sagrada Familia y San Rafael. Este último recoge el interés del trabajo que se va a llevar a cabo.

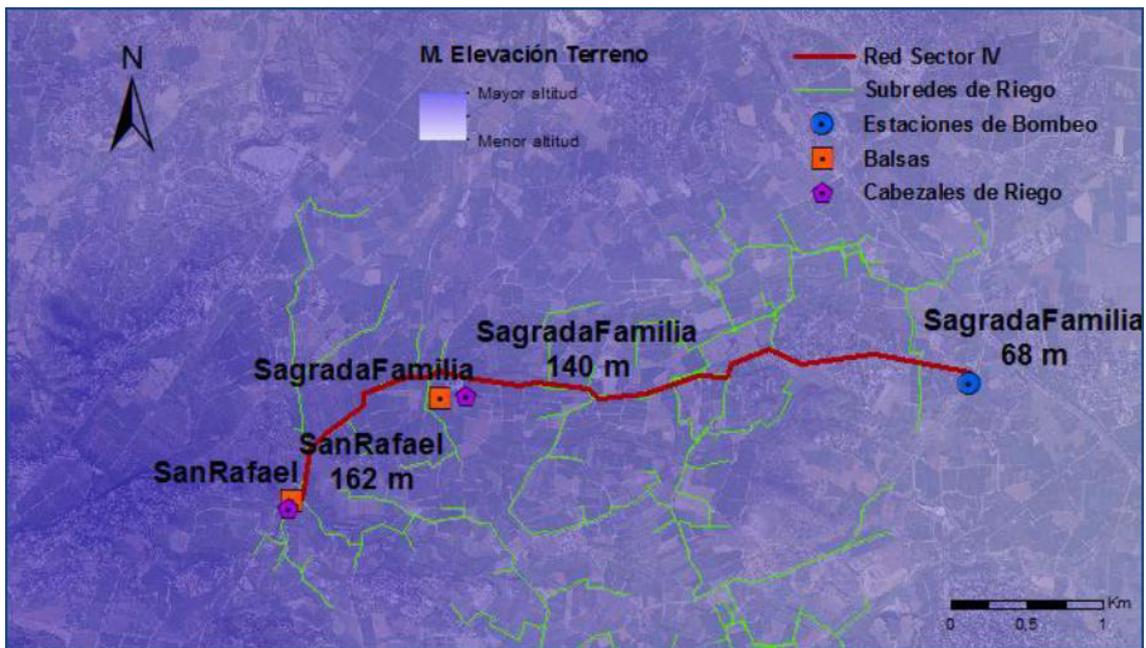
## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

La red de San Rafael se caracteriza por poseer 54 hidrantes de tipo multiusuario que conectan la red colectiva con las explotaciones agrícolas particulares a través de sus respectivas tomas, en una superficie regable de 510,49 hectáreas (Guaita, 2013). Dentro de esta red podemos diferenciar San Rafael Norte y San Rafael Sur (figura 7). Ambas zonas de riego poseen sus respectivos equipos de bombeo, filtrado, fertirrigación, etc., pero pueden interconectarse si fuera necesario.



**Figura 7.** División en zonas de la red de riego de San Rafael del subsector norte del Sector 4 de Picassent.  
Fuente: Propia

El agua que se emplea para el riego de los cultivos pertenecientes a la red de San Rafael procede del canal Júcar-Turía. Este agua de riego llega a la red conducida a través de numerosas tuberías que desembocan en el embalse de San Rafael (15.000 m<sup>3</sup>), para posteriormente ser impulsada desde el embalse al resto de la red de riego a partir del cabezal de San Rafael. También se podría hacer llegar el agua del canal por medio de una conducción por gravedad a partir de la unión entre la red de Sagrada Familia y la parte este de San Rafael Sur (gracias a la diferencia de cota).



**Figura 8.** Recorrido de la red del subsector norte del Sector 4, subzona margen izquierda del canal Júcar-Turía, con información cartográfica. Fuente: Casquero (2016)

Como se ha comentado en apartados anteriores y se puede observar en la figura 8, se emplea la estación de bombeo de Sagrada Familia junto con distintos grupos de bombeo situados en los cabezales de San Rafael y Sagrada familia para impulsar el agua del canal Júcar-Turía por toda la red y subredes de regadío que forman el subsector norte, como consecuencia de la diferencia de cota que aumenta en dirección al oeste, adquiriendo sus valores máximos en la red de riego de San Rafael. Dentro de esta subred de riego se pueden encontrar puntos con una cota elevada en las parcelas situadas más al oeste (cercasas al cabezal de la red), mientras que las que se encuentran al norte y al sur presentan en su mayoría una menor elevación.

Por otra parte, tanto en la red de Sagrada Familia como en la red de interés de este TFG, San Rafael, el riego por goteo se produce por turnos, es decir, cada agricultor posee unos intervalos de tiempo preestablecidos para realizar el regadío de su cultivo, de acuerdo con la comunidad de regantes del Sector 4 y en consonancia con la cantidad de agua destinada al riego indicada para dicho sector por la Confederación Hidrológica del Júcar.

#### *4.1.1.1. Embalse de San Rafael*

El embalse de San Rafael es uno de los pocos que sigue en activo en el Sector 4. La pérdida de función de algunas balsas es el resultado del cambio en el método de captación del agua (de agua subterránea a agua superficial a partir del canal Júcar-Turia). En un primer momento, los embalses se empleaban tanto para almacenar el agua de los pozos como para la regulación de la distribución de agua en la red. Pero debido al desuso de los sondeos y la progresiva incorporación del riego a goteo, se dejaron de utilizar parte de los embalses de este sector, llevando a cabo la distribución de agua aprovechando la presión con la que ya circula tras salir de la toma del canal Júcar-Turia (que en muchas ocasiones ya supera los 20 mca), y ahorrando en el consumo energético de las bombas de los cabezales.

En la actualidad, los embalses que se siguen empleando tienen como única función regular la disponibilidad del agua ante la demanda, ya que en muchas ocasiones no coincide el caudal requerido para el riego de cultivos con el que llega a la red desde el canal (Casquero, 2016).

#### *4.1.1.2. Cabezal de San Rafael*

El cabezal es el encargado de distribuir el fluido por las redes primarias y secundarias, hasta llegar a los hidrantes y posteriormente a las tomas particulares situadas en las parcelas. Existen dos tipos de cabezales en el Sector 4 de Picassent, cabezales que funcionan por gravedad o mediante una presurización a través de bombas. El cabezal de San Rafael es de esta segunda clase, por lo que cuenta para distribuir el agua por cada zona de la red con un par de bombas en paralelo (del tipo Marelli 125-400 para la zona norte y Marelli 125-315 para el sur) y dos filtros de malla (modelo SAF 4500) también en paralelo, para eliminar la materia orgánica a partir de una red de drenaje. Además existen cuatro depósitos en el cabezal (tres de 20.000 litros y uno de 5.000) para realizar por medio de bombas pistón la inserción de abono a la red junto con agua (fertirrigación). Finalmente, existe un medidor de caudal y de presión que enviará esta información al ordenador central.

El cabezal de riego está automatizado y gestionado a partir de un software específico. De esta forma, se gestiona el encendido y apagado, así como la velocidad de giro de las bombas dependiendo de la demanda en cada momento del día, al igual que la apertura y cierre de las válvulas que constituyen el sistema de San Rafael. Esto permite regular los parámetros de presión y caudal de la red dentro de los valores deseados para el correcto funcionamiento de la misma (Guaita, 2013).

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

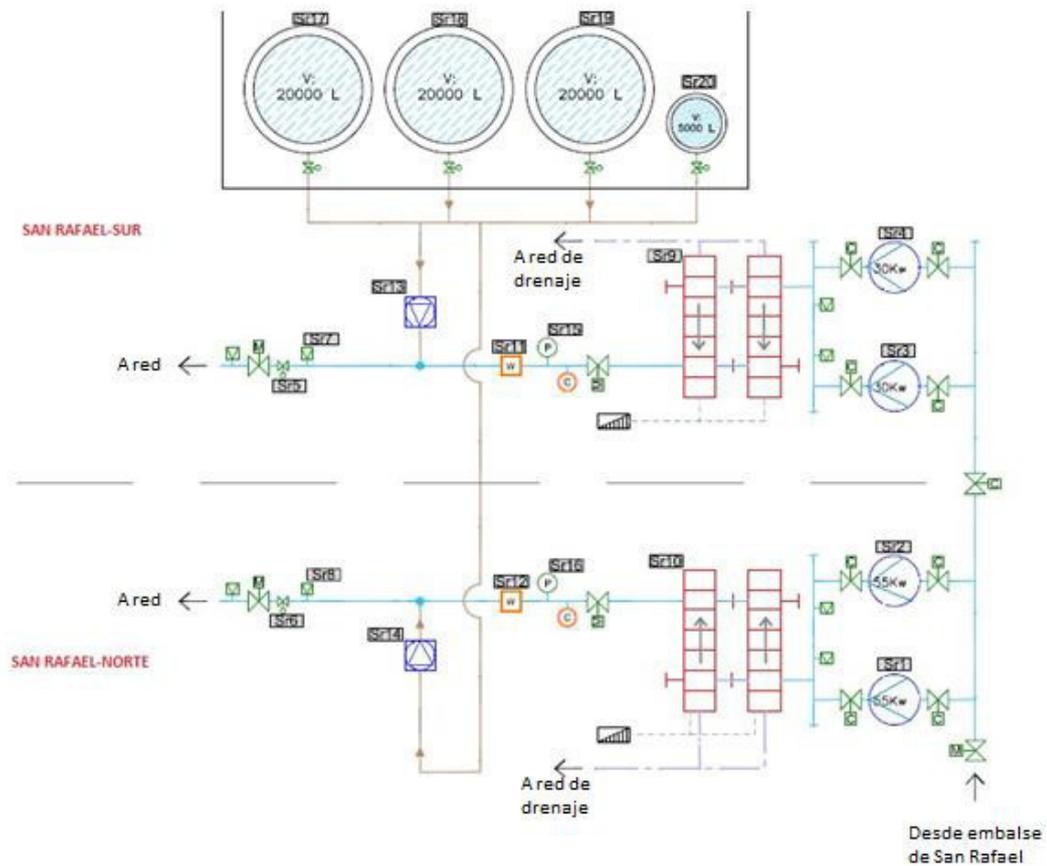
a)



b)



**Figura 9.** Interior del cabezal de la red de San Rafael en el subsector norte del Sector 4 de Picassent: a) Bombas de impulsión de agua desde el embalse de San Rafael hasta la red ; b) Tubería previa a la red donde se miden los parámetros de funcionamiento y se realizan los tratamiento de filtrado y fertirrigación. Fuente: Propia



**Figura 10.** Esquema de la estructura interna del cabezal de la red de San Rafael del Sector 4 de la subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia. Fuente: Propia

#### 4.1.2. Modelo Hidráulico de la Red

El modelo hidráulico es la creación digital de una red de distribución de agua que permite a partir de una simulación informática: Prever el funcionamiento de la red, llevar a cabo su estudio y observar los distintos problemas que esta presenta para aportar en base a ellos diversas soluciones que optimicen la actividad del riego. Todo ello con un coste mínimo, por lo que resulta imprescindible en proyectos de gran magnitud donde los presupuestos con los que se trabajan son elevados.

El modelo hidráulico será realizado en primer lugar de la situación actual de la red de San Rafael, y posteriormente de las hipótesis de mejora que se presentan para aumentar la eficiencia en su funcionamiento, con el fin de comparar los resultados obtenidos y justificar la viabilidad de las opciones manifestadas.

Para desarrollar el modelo se empleará el software libre Epanet 2.0, el cual puede ser utilizado tanto para confeccionar modelos hidráulicos como modelos de calidad del agua (F. Martínez, 2001).

##### 4.1.2.1. Introducción a Epanet 2.0

Epanet es un software para Windows que permite realizar en redes de suministro a presión, simulaciones para largos periodos de tiempo tanto de la calidad del agua (a partir del modelo de calidad de agua) como del comportamiento hidráulico (a partir del modelo hidráulico). Para ello, este programa lleva a cabo un seguimiento del nivel de los depósitos, la presión de los nodos, el caudal de las tuberías y la concentración de diversas sustancias químicas en el agua. Pudiendo visualizar todos los resultados obtenidos en una gran variedad de formatos, como son: tablas numéricas, gráficas, mapas, etc.

Por otro lado, presenta numerosas prestaciones para la creación con garantías de modelos, que reflejen con la mayor exactitud posible el caso que se quiere analizar.

Es utilizado tanto para investigación como para los estudios previos en proyectos, ya que permite conocer el comportamiento de la red y la evolución de las especies químicas sin necesidad de realizar ningún tipo de obra ni inversión. Aumentado de esta manera la probabilidad de éxito de cualquier trabajo (F. Martínez, 2001).

#### 4.1.2.3. Realización del Modelo Hidráulico

Para realizar un modelo en Epanet 2.0 es necesario seguir los siguientes pasos (F. Martínez, 2001):

1. Trazar la red de distribución de agua o importarla parcialmente desde un fichero de texto ya existente.
2. Modificar las características de los elementos que forman el modelo.
3. Indicar el modo de operación del modelo.
4. Marcar las opciones de cálculo.

En base a este procedimiento, se ha llevado a cabo el modelo hidráulico de la red de San Rafael situada en el subsector norte del Sector 4, subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia.

En primer lugar se introduce como fondo en el software Epanet 2.0 un plano de la red. A partir de dicho plano que proporciona información sobre la distribución y la forma de la red, indicando la localización de los distintos embalses, hidrantes, tomas, cabezales, etc., se dibuja la red de riego introduciendo los diversos elementos hidráulicos (ver punto 3.2 del anexo 3). Al mismo tiempo, se establece por defecto las unidades (para este caso se ha seleccionado la opción de "LPS", unidades de litro por segundo para caudal; metros para la cota, presión y longitud; milímetros para los diámetros y rugosidad, y metros por segundo para la velocidad), y algunas propiedades hidráulicas de cálculo, como es la ecuación de pérdidas de carga continuas que se empleará. En este caso será la de Darcy- Weisbach (ver apartado 1.3 del anexo 1).

Posteriormente se etiquetará cada uno de los hidrantes con una referencia específica, de forma que sean fácilmente distinguidos, y se introducirán los datos necesarios de cada elemento para que queden correctamente definidos. Cabe decir, que al no disponer previamente de información sobre las cotas de los hidrantes de la red, estas han sido obtenidas de forma suficientemente aproximada mediante el programa Google Earth (ver tabla A.3 de los anexos), pudiendo contrastar la cota de la captación con la información suministrada por los técnicos. La longitud de las tuberías (ver tabla A.5 de anexos) han sido conocidas a partir de los planos de la red de San Rafael realizados en AutoCAD y facilitados por la comunidad de regantes del Sector 4. Dicho modelo también presentaba información sobre el diámetro externo de cada tubería de PVC, por lo que se podrá obtener el diámetro interno (ver punto 4.4 del anexo 4) empleando la tabla A4 de los anexos. Para finalizar, la rugosidad se ha considerado igual para todas las tuberías con un valor de 0,02 mm, y la demanda de cada toma ha sido calculada a partir del dato de superficie (ir a apartado 4.3 de los anexos), mediante las recomendaciones realizadas por parte de los técnicos de la instalación. El listado

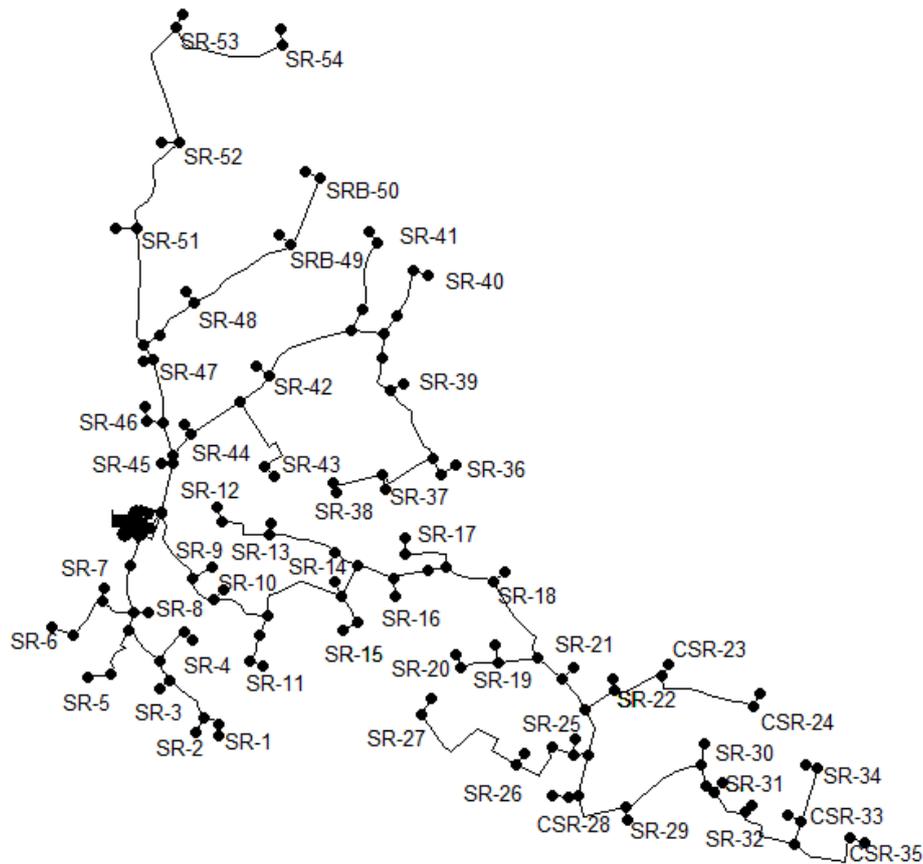
de superficies y el de intervalos de riego de cada toma ha sido proporcionando también por los técnicos de la red en formato PDF.

Por otro lado, cabe destacar que cada una de las tomas ha sido enumerada de forma característica con el objetivo de facilitar el estudio de los resultados obtenidos de la simulación. De esta forma, se enumeran con cuatro dígitos, los dos primeros correspondientes al hidrante y los otros dos a la toma. El resto de nudos o líneas (tuberías, bombas, etc.) se han enumerado de forma correlativa partiendo desde el uno.

La representación del cabezal se ha podido realizar a partir de la visita a la instalación, mediante la cual además de poder recoger información necesaria para la creación del modelo hidráulico, como puede ser: Características de las bombas del cabezal, hidrantes, filtros, etc., se pudo visualizar el montaje de la instalación. De esta manera, el cabezal de la red ha sido modelado en Epanet 2.0 colocando dos sistemas independientes constituidos cada uno de ellos por un par de bombas en paralelo unidas a un embalse y a una válvula, la cual simula las pérdidas de carga provocadas por los filtros de mallas (modelo SAF 4500 de la casa Amiad) al asociarle una curva de pérdidas que se mantiene constante en 5 m.c.a para cualquier caudal (se supone el caso más desfavorable). La válvula conecta cada sistema con la subred a la que suministra el agua, San Rafael Norte o San Rafael Sur. Además, a cada una de las bombas se le ha asociado una curva característica determinada (ver apartado 4.5 del anexo 4).

Para analizar el caso más crítico se ha asociado a cada toma el mayor periodo de tiempo de riego entre los distintos días de la semana entre los que se produce el regadío de dichas tomas, simulando el día de mayor demanda (día punta) que en este caso es el miércoles.

Por último, puesto que en cada una de las tomas que componen cada hidrante multiusuario existe una electroválvula, ha sido conveniente desarrollar el modelo hidráulico hasta toma, puesto que la sectorización realizada por los técnicos se realiza hasta nivel de toma individual. Sin embargo, en el siguiente modelo hidráulico realizado de la red de distribución de agua de San Rafael se han omitido para una mayor claridad:



**Figura 11.** Modelo hidráulico sin tomas y con la numeración de cada hidrante de la red de San Rafael realizado a partir de Epanet 2.0. Fuente: Propia

#### 4.1.2.4. Validación del Modelo

No se ha llevado a cabo una campaña de medición para realizar una calibración estricta del modelo; sin embargo, se poseen valores de presión de ciertos hidrantes obtenidos en visitas de campo, que permiten comparar los resultados de la simulación del modelo hidráulico de la situación actual de la red de San Rafael (realizada a partir del software Epanet 2.0 en base a la información proporcionada por los técnicos de la red) con los datos reales tras la medición en ciertas horas.

La validez del modelo hidráulico realizado dependerá de la diferencia entre los datos de presión real y los obtenidos a partir del modelo. Por lo tanto, en las tablas que se presentan a continuación se ha calculado el error relativo de los datos proporcionados a partir de la simulación respecto a los reales que tienen lugar en la instalación para comprobar si se podrá llegar a conclusiones fehacientes en las diversas simulaciones que tendrán lugar en los posteriores apartados.

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

El error relativo se calcula como:

$$Error(\%) = \left| \frac{presión_{real} - presión_{modelo}}{presión_{real}} \right| * 100 \text{ (ec.1)}$$

**Tabla 2.** Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 6 de la red de riego de San Rafael. Fuente: Propia

Hidrante 6			
Hora	Presión Real (m.c.a)	Presión Modelo (m.c.a)	Error (%)
06:00	34,08	35,81	5,06
07:00	34,08	35,97	5,53
08:00	34,08	36,34	6,62
10:00	35,12	37,64	7,18
11:00	35,12	37,46	6,67
12:00	35,12	37,64	7,18

**Tabla 3.** Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 19 de la red de riego de San Rafael. Fuente: Propia

Hidrante 19			
Hora	Presión Real (m.c.a)	Presión Modelo (m.c.a)	Error (%)
6:00	65,07	66,10	1,58
7:00	65,07	66,97	2,92
8:00	65,07	69,10	6,19
10:00	69,20	69,11	0,13
11:00	69,20	67,25	2,82
12:00	69,20	70,32	1,61

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

**Tabla 4.** Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 33 de la red de riego de San Rafael. Fuente: Propia

<b>Hidrante 33</b>			
<b>Hora</b>	<b>Presión Real (m.c.a)</b>	<b>Presión Modelo (m.c.a)</b>	<b>Error (%)</b>
6:00	88,83	87,35	1,66
7:00	88,83	88,33	0,56
8:00	88,83	89,88	1,19
10:00	78,50	79,73	1,57
11:00	78,50	75,15	4,27
12:00	78,50	86,66	10,40

**Tabla 5.** Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 37 de la red de riego de San Rafael. Fuente: Propia

<b>Hidrante 37</b>			
<b>Hora</b>	<b>Presión Real (m.c.a)</b>	<b>Presión Modelo (m.c.a)</b>	<b>Error (%)</b>
06:00	54,74	54,53	0,39
07:00	54,74	54,76	0,03
08:00	54,74	58,29	6,48
10:00	77,47	74,68	3,60
11:00	77,47	74,59	3,71
12:00	77,47	74,85	3,38

**Tabla 6.** Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 47 de la red de riego de San Rafael. Fuente: Propia

<b>Hidrante 47</b>			
<b>Hora</b>	<b>Presión Real (m.c.a)</b>	<b>Presión Modelo (m.c.a)</b>	<b>Error (%)</b>
06:00	44,41	40,73	8,29
07:00	44,41	47,06	5,96
08:00	44,41	40,94	7,82
10:00	64,04	60,79	5,07
11:00	64,04	60,61	5,35
12:00	64,04	60,73	5,17

**Tabla 7.** Cálculo del error entre los valores de presión obtenidos a partir del modelo hidráulico y los recogidos mediante mediciones para ciertas horas del día en el hidrante 53 de la red de riego de San Rafael. Fuente: Propia

<b>Hidrante 53</b>			
<b>Hora</b>	<b>Presión Real (m.c.a)</b>	<b>Presión Modelo (m.c.a)</b>	<b>Error (%)</b>
06:00	58,87	54,69	7,11
07:00	58,87	61,62	4,66
08:00	58,87	53,60	8,96
10:00	77,47	76,80	0,86
11:00	77,47	76,46	1,30
12:00	77,47	76,57	1,16

Como se puede observar, el error entre los valores de presión obtenidos en la visita realizada a la instalación y los proporcionados por el modelo de la red para los hidrantes estudiados es inferior al 11%, suponiendo una diferencia máxima de 8 m.c.a. Esta diferencia además de que sucede para una única hora en un solo hidrante, no supone un valor excesivo al tratarse de un parámetro como la presión. En cuanto al resto, la variación suele estar entre 2-4 m.c.a o menos, por lo que se puede admitir que el modelo hidráulico realizado es suficientemente válido como para reproducir el comportamiento de la red de estudio de este trabajo.

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO

Tras la ejecución del modelo hidráulico se realiza el análisis de los resultados obtenidos de la simulación llevada a cabo por el programa Epanet 2.0. Dicha simulación se ha realizado para el día miércoles ya que es el día en el que todas las tomas presentan una demanda de agua (situación más crítica).

Al tratarse de una red de agua a presión, la velocidad del agua en el interior de las tuberías no debe ser elevada en comparación con los valores de presión con los que se trabaja; debido a que ambos parámetros presentan una relación inversamente proporcional, es decir, si existen altas presiones se dará lugar a bajas velocidades y viceversa. Examinando los resultados obtenidos y comparándolos con la información proporcionada por los técnicos de la red, se ha podido comprobar que el principal problema reside tanto en la velocidad del agua en las tuberías como en la presión de las distintas tomas e hidrantes.

Los problemas de presión en redes de distribución de agua implican numerosos problemas para los agricultores, tanto por el coste que supone el arreglo de los desperfectos causados por las sobrepresiones generadas, como por la falta de riego provocada por las bajas

presiones que llegan a los terminales, impidiéndose de esta manera por cualquiera de ambas razones que el funcionamiento del riego sea óptimo. Esto repercute directamente en el cultivo (tamaño, forma, calidad, etc.) y por lo tanto en el beneficio que obtendrán los dueños de las parcelas tras la recogida y venta, que se verá drásticamente descendido.

Por otro lado, la velocidad de circulación del agua también cobra un papel importante en el correcto funcionamiento de la red. Velocidades muy altas provocarían la rotura de los distintos elementos que constituyen la red hidráulica, mientras que todo lo contrario daría lugar al sedimento de los abonos procedentes de la fertirrigación y el estancamiento del agua, repercutiendo directamente en la calidad de esta.

Por ello, las medidas de optimización que se van a llevar a cabo en este TFG sobre la red de San Rafael, van a basarse en mejorar las presiones en diversos puntos e intentar establecerlas dentro del intervalo de 30-60 m.c.a, franja de presiones idónea según los técnicos, y evitando que se den presiones críticas menores de 20 m.c.a, con las cuales no se puede llevar a cabo el riego, o mayores de 70 m.c.a ya que provocan roturas tanto en los elementos de la red como en los goteros situados para el regadío de los cultivos en las parcelas. En el caso de las velocidades, los técnicos aconsejan que se encuentren comprendidas entre 2,5 m/s y 0,5 m/s, provocándose roturas a velocidades mayores de 4 m/s y problemas de estancamiento a menores de 0,05 m/s.

Los valores obtenidos de presión, demanda y velocidad a partir del modelo hidráulico de la red de San Rafael han sido recogidos en el punto 1 del documento "Listados del modelo". Además han sido marcadas aquellos valores críticos que se encuentran fuera de los valores óptimos de presión y velocidad, y que constituyen el objeto de este estudio.

Como se puede observar en las tablas de dicho anexo, existen para las diferentes horas del día una gran cantidad de puntos con sobrepresión, así como tramos con velocidades no deseadas. En primer lugar y centrandó el análisis en la presión de los nudos, cabe remarcar que no existe ningún punto donde las presiones sean inferiores a 20 m.c.a, a excepción del embalse por tratarse de una lámina libre, y los nudos 146 y 149 ya que se encuentran justo antes del grupo de bombeo y después del embalse. En dichos puntos no existe realmente problemas de cavitación; las presiones negativas obtenidas son debidas a que la diferencia de cota entre el embalse y el grupo de bombeo es pequeña y para facilitar la realización del modelo se puso que se encontraban a la misma cota. En cambio, sí se puede visualizar un gran número de puntos con elevada presión repartidos por toda la red debido en gran medida a que la cota del embalse de San Rafael está por debajo de la cota máxima de la red, implicando la presencia necesaria de un grupo de bombeo en el cabezal de forma que la presión pueda lograr en esos puntos de máxima cota el valor de la presión de diseño requerida. Provocando finalmente, excesos de presión en aquellas zonas de la red con menor elevación.

Por otro lado, en lo referente a la velocidad se ha detectado tramos de tuberías con velocidades excesivas que pueden provocar averías en la instalación, y otros donde la velocidad llega a ser incluso nula debido a que no existe demanda en las tomas suministradas

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

por esas conducciones en ese intervalo de tiempo, reflejando un estancamiento en varias zonas de la red. Esto además de provocar la sedimentación de los abonos, es una de las causas de sobrepresión en los terminales de las zonas de la red con un mayor desnivel.

En las siguientes tablas se muestran el valor máximo, mínimo y promedio de velocidad y presión para cada hora estudiada; omitiendo los valores de presión de los nudos previos al grupo de bombeo ya que serían igual a cero por tratarse de una lámina libre y no se obtendrían conclusiones verídicas sobre las mínimas presiones de la red a lo largo del día:

**Tabla 8.** Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 00:00, 01:00 y 02:00 hrs de la red de San Rafael. Fuente: Propia

	Hora: 00:00h		Hora: 01:00h		Hora: 02:00h	
	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)
<b>Max</b>	93,41	8,03	91,95	8,03	85,88	8,03
<b>Min</b>	28,26	0,00	27,79	0,00	24,76	0,00
<b>Promedio</b>	63,98	0,33	61,13	0,41	56,54	0,47

**Tabla 9.** Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 03:00, 04:00 y 05:00 hrs de la red de San Rafael. Fuente: Propia

	Hora: 03:00h		Hora: 04:00h		Hora: 05:00h	
	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)
<b>Max</b>	84,24	8,03	88,68	8,03	90,62	8,03
<b>Min</b>	24,31	0,00	24,74	0,00	26,39	0,00
<b>Promedio</b>	54,71	0,50	56,02	0,49	58,25	0,45

**Tabla 10.** Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 06:00, 07:00 y 08:00 hrs de la red de San Rafael. Fuente: Propia

	Hora: 06:00h		Hora: 07:00h		Hora: 08:00h	
	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)
<b>Max</b>	90,53	8,03	91,43	8,03	92,74	8,03
<b>Min</b>	26,79	0,00	26,93	0,00	27,94	0,00
<b>Promedio</b>	58,48	0,44	60,47	0,42	60,25	0,41

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

**Tabla 11.** Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 09:00, 10:00 y 11:00 hrs de la red de San Rafael. Fuente: Propia

	Hora: 09:00h		Hora: 10:00h		Hora: 11:00h	
	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)
<b>Max</b>	91,93	8,03	92,60	6,00	90,02	6,00
<b>Min</b>	27,94	0,00	28,58	0,00	28,38	0,00
<b>Promedio</b>	59,78	0,42	65,53	0,15	64,30	0,18

**Tabla 12.** Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 12:00, 13:00 y 14:00 hrs de la red de San Rafael. Fuente: Propia

	Hora: 12:00h		Hora: 13:00h		Hora: 14:00h	
	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)
<b>Max</b>	93,84	6,00	93,96	6,00	95,40	6,00
<b>Min</b>	28,67	0,00	28,69	0,00	28,85	0,00
<b>Promedio</b>	66,70	0,13	67,12	0,12	67,66	0,11

**Tabla 13.** Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempo 15:00, 16:00 y 17:00 hrs de la red de San Rafael. Fuente: Propia

	Hora: 15:00h		Hora: 16:00h		Hora: 17:00h	
	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)
<b>Max</b>	96,53	6,00	92,10	6,00	85,43	6,00
<b>Min</b>	29,03	0,00	27,70	0,00	25,68	0,00
<b>Promedio</b>	68,36	0,10	64,97	0,27	61,12	0,32

**Tabla 14.** Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 18:00, 19:00 y 20:00 hrs de la red de San Rafael. Fuente: Propia

	Hora: 18:00h		Hora: 19:00h		Hora: 20:00h	
	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)
<b>Max</b>	91,00	6,00	91,31	6,00	89,38	6,00
<b>Min</b>	27,83	0,00	27,82	0,00	27,96	0,00
<b>Promedio</b>	64,11	0,26	64,24	0,23	63,29	0,19

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

**Tabla 15.** Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y los tiempos 21:00, 22:00 y 23:00 hrs de la red de San Rafael. Fuente: Propia

	Hora: 21:00h		Hora: 22:00h		Hora: 23:00h	
	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)
<b>Max</b>	89,91	6,00	93,02	6,00	95,52	6,00
<b>Min</b>	28,22	0,00	28,60	0,00	28,87	0,00
<b>Promedio</b>	63,83	0,16	66,24	0,13	67,26	0,11

**Tabla 16.** Valor máximo, mínimo y promedio de los parámetros de estudio velocidad y presión para la situación actual y el tiempo 24:00h de la red de San Rafael. Fuente: Propia

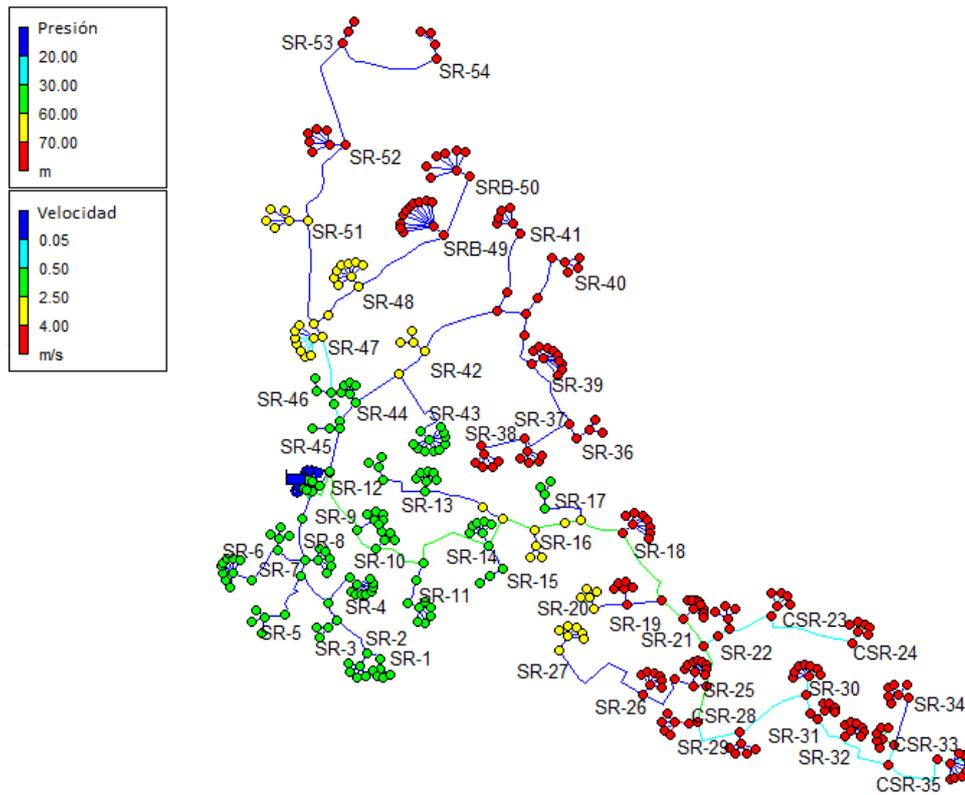
	Hora: 24:00h	
	Presión (m.c.a)	Velocidad (m/s)
<b>Max</b>	93,41	8,03
<b>Min</b>	28,26	0,00
<b>Promedio</b>	63,98	0,33

A partir de las tablas anteriores se pueden observar presiones máximas de incluso 96,53 m.c.a (a las 15:00h), superando con creces las presiones recomendadas y siendo insoportables para los elementos hidráulicos de la red. En cambio, la presión mínima que se puede encontrar a lo largo del día es de 24,31 m.ca (a las 03:00h), superando el valor establecido como crítico de 20 m.c.a. Todo esto tiene como consecuencia que el valor promedio obtenido sea bastante elevado, encontrándose fuera del intervalo recomendado por los técnicos en la mayoría de horas.

En cuanto a la velocidad como ya se ha comentado anteriormente, se pueden observar que el mínimo para cualquier hora del día es de 0 m/s, ya que las tomas no funcionan de forma continua sino que lo hacen por turnos. Este estancamiento del agua en algunas zonas hace que el valor promedio para la velocidad disminuya en gran medida. Además de estos problemas de la red, existen velocidades que llegan hasta los 8,03 m/s (desde las 00:00h hasta las 09:00h, y a las 24:00h), sobrepasando los 4 m/s que se establecen como límite para evitar roturas causadas por la velocidad del agua.

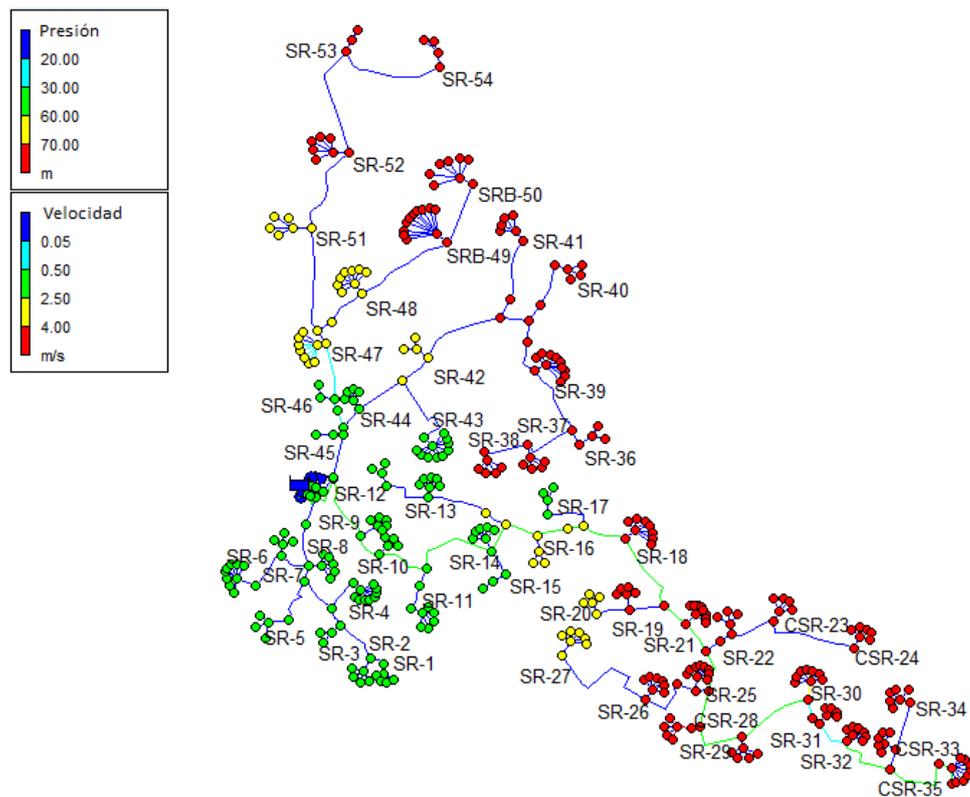
A continuación, se presentará el diagrama de la red de San Rafael en las horas más críticas (15:00h y 23:00h), mostrando de forma orientativa a partir de colores asociados a determinados intervalos, el valor de las presiones y velocidades para cada nudo y línea de la red de alta presión:

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)



**Figura 12.** Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 15:00h. Fuente: Propia

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)



**Figura 13.** Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 23:00h. Fuente: Propia

A partir de los anteriores diagramas, se puede concluir que el principal problema de la red son la sobrepresiones presentes en la zona este de San Rafael Sur y prácticamente todo San Rafael Norte. La explicación reside en que ambas áreas constituyen las cotas más bajas de la red (ver figura 8), por lo que cuando circula el agua esta llegará con demasiada presión, como consecuencia además del equipo de bombeo presente en el cabezal de la red; mientras que por el contrario, cuando permanece estancada dará lugar también a sobrepresiones en los terminales, magnificadas por el desnivel. Es por esto, por lo que las medidas de optimización que se propondrán en los próximos apartados van a focalizarse en dichas secciones, intentado solucionar por completos todas las causas de ineficiencia detectadas en este apartado relacionadas principalmente con la sobrepresión y los problemas de velocidad del agua.

## **6. PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA RED DE SAN RAFAEL**

En base a la literatura encontrada relacionada con el tema que se está tratando en este TFG y los conocimientos adquiridos a lo largo de toda la carrera, se plantearán a continuación diversas alternativas a los problemas que presenta la red de San Rafael con el objetivo de mejorar el comportamiento hidráulico de esta. Dichas propuestas se realizarán de forma independiente para un estudio más exhaustivo y minucioso, aunque se podrían aplicar en conjunto y llevar a cabo una mejora completa del funcionamiento de la red de San Rafael. Además, por otro lado se llevará a cabo la valoración económica de cada una de las alternativas y se escogerá aquella que posea una mejor relación coste-eficacia-amortización, justificando la decisión en base a las conclusiones derivadas del estudio de la red y de los términos económicos que suponen cada una de ellas.

### **6.1. Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro**

Como ya se ha comentado en el análisis de los resultados realizado en el punto anterior, la red presenta zonas con problemas de velocidad para determinadas horas del día. Una posible solución para el estancamiento de agua sería cambiar los turnos de riego de forma que no exista ninguna área de la red sin movimiento de agua, es decir, se podría planificar la apertura de tomas de forma que se garantice la circulación de agua por toda la red, o que el tiempo de estancamiento sea el menor posible. Aún así, para llevar a cabo un mejor análisis de este problema sería necesario realizar un modelo de calidad a partir de Epanet 2.0, para estudiar la importancia del efecto que tiene sobre el agua y poder actuar en base a las conclusiones obtenidas.

Por otra parte, existen tramos con bajas velocidades (aunque superan el mínimo crítico) que podrían mejorarse disminuyendo el diámetro de la tubería y por lo tanto la sección. Sin embargo, en este apartado se va a tratar las velocidades excesivas que tienen lugar en la red de San Rafael y que requieren una solución de urgencia. Tras llevar a cabo el análisis de los resultados de la simulación (ver apartado 1 del documento "Listados del modelo"), se ha podido comprobar que los excesos de velocidad tienen lugar en algunas tuberías de unión entre la red y los hidrantes, y por consiguiente, entre los hidrantes y las tomas. Por ello, en este apartado se propondrá la sustitución de las tuberías que presenten elevadas velocidades, buscando diámetros superiores a los ya existentes.

### 6.1.1. Descripción General

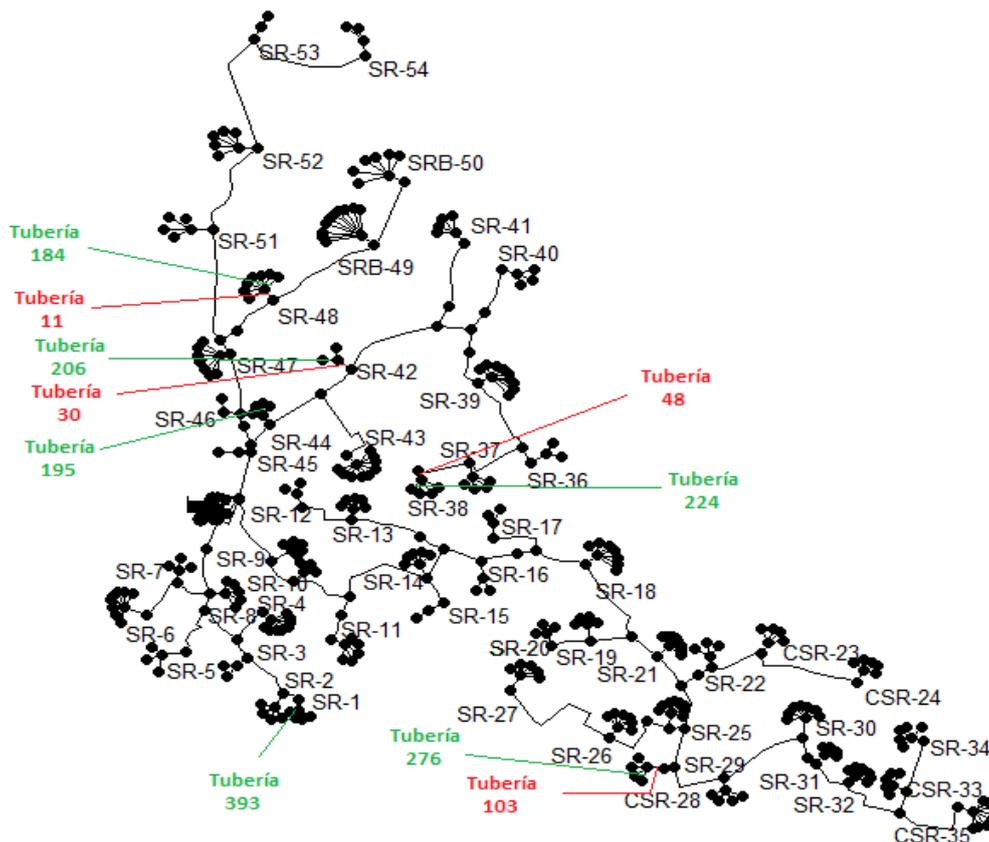
La relación que existe entre la velocidad y caudal de un fluido, y el área de la tubería por la cual circulan, ha sido explicado de forma detallada en el apartado 1.1 del anexo 1. A partir de lo comentado en dicho apartado, se puede observar una relación directamente proporcional entre la velocidad y el caudal de agua, e inversamente proporcional entre la velocidad y la sección de la tubería. En base a esto, se puede explicar los problemas de exceso de velocidad (mayores a 4 m/s) que presenta la red de de San Rafael, atendiendo a que el caudal de agua que circula por la tubería es elevado en comparación con la sección de la conducción. La forma más sencilla y económica de solucionar este problema sería reorganizar las tomas abiertas, pero los técnicos del Sector 4 prefieren no ajustar esta sectorización, puesto que es fruto de la negociación con los usuarios y el equilibrado de las demandas. De esta manera, como no se puede variar el caudal ya que es necesario abastecer las demandas de las distintas tomas, se justifica la sustitución de dichas tuberías por otras de mayor diámetro, disminuyendo así la velocidad.

Analizando las tablas del apartado 2.1 del documento "Listados del modelo", donde quedan recogidos todos los tramos problemáticos y sus correspondientes velocidades y caudales en las distintas horas del día para el cual se ha realizado la simulación antes de llevar a cabo la propuesta de mejora (marcado en rojo las velocidades excesivas), se puede concluir que la tubería más crítica en cuanto a velocidad es la 206, en la cual se llegan a alcanzar velocidades de 8,03 m/s. Esto se debe a que la toma unida mediante esta tubería al hidrante posee una gran demanda (28,99 l/s) durante el periodo de tiempo en el que se encuentra abierta. Además, como se puede observar las conducciones no presentan problemas de velocidad durante todo el día, ya que el riego se realiza por turnos y al tratarse de tuberías entre red-hidrante o hidrante-toma, el caudal de agua solo circula por ellas durante ciertas horas.

A continuación, se aportará información de cada una de las tuberías y se indicarán su localización en la red de San Rafael:

- Tubería 11: Unión entre la red y el hidrante 48.
- Tubería 30: Unión entre la red y el hidrante 42.
- Tubería 48: Unión entre la red y el hidrante 38.
- Tubería 103: Unión entre la red y el hidrante 28.
- Tubería 184: Unión entre el hidrante 48 y la toma 1.
- Tubería 195: Unión entre el hidrante 44 y la toma 4.
- Tubería 206: Unión entre el hidrante 42 y la toma 5.

- Tubería 224: Unión entre el hidrante 38 y la toma 2.
- Tubería 276: Unión entre el hidrante 28 y la toma 6.
- Tubería 393: Unión entre el hidrante 1 y la toma 5.



**Figura 14.** Localización en la red de San Rafael de las tuberías que presentan problemas de velocidad, indicando a partir del color el tipo de unión (rojo, tubería red-hidrante; verde, tubería hidrante-toma). Fuente: Propia

Una vez conocido el lugar donde se encuentran las tuberías que poseen velocidades críticas, se procede a su sustitución por otras de mayor sección con el objetivo de acercar al máximo el valor de las velocidades al intervalo recomendado por los técnicos de la instalación. Al tratarse de tramos cortos asociados a hidrantes y no a la red de distribución, la sustitución será fácil. Para dicha labor se han tenido en cuenta los siguientes puntos:

- Se debe tener precaución ya que la velocidad en la tubería red-hidrante, a diferencia de la de hidrante-toma, no se mantiene constante mientras exista demanda ya que depende del número de tomas abiertas; de manera que se deberá disminuir la

velocidad excesiva que tiene lugar en determinados momentos en dichos tramos, sin provocar velocidades por debajo del mínimo en otras horas del día.

- Se ha tenido en cuenta la nueva presión de los hidrantes y las tomas, ya que con la disminución de la velocidad también se debería producir un aumento de la presión como consecuencia de la disminución de las pérdidas de carga continuas en dichos tramos. Aún así, el cambio ha sido mínimo independientemente del diámetro seleccionado ya que la longitud de las tuberías es pequeña, por lo que la presión es prácticamente igual a la del nudo donde se unen el hidrante y la red.
- El diámetro de la tubería red-hidrante deber ser mayor que la sus correspondientes hidrante-toma, para que el fluido vaya adquiriendo cierta velocidad.
- Reducir los costes económicos eligiendo las tuberías de menor sección que cumplan los requisitos de la red de riego.

Los nuevos diámetros para las tuberías estudiadas se han elegido empleando la tabla A.4 de los anexos, y son los siguientes:

**Tabla 17.** Comparación entre los diámetros interiores de las tuberías antes y después de realizar la sustitución en la red de San Rafael. Fuente: Propia

	Diámetro Antiguo (mm)	Diámetro Nuevo (mm)
Tubería 11	81,4	115,4
Tubería 30	81,4	147,6
Tubería 48	81,4	115,4
Tubería 103	81,4	129,2
<b>Tubería 124</b>	<b>84,4</b>	<b>104,6</b>
Tubería 184	67,8	101,6
Tubería 206	67,8	129,2
Tubería 224	67,8	101,6
Tubería 276	67,8	115,4
Tubería 393	70,4	84,4

A pesar de que en la mayoría de tuberías se ha podido reducir la velocidad aumentando el diámetro de la conducción, para la tubería 195 (hidrante-toma) no se ha podido llevar a cabo debido a que era necesario sustituir la tubería anterior (red-hidrante) por otra también de mayor tamaño; pero la velocidad en ella quedaba por debajo de la velocidad crítica. Por lo que finalmente ha sido imposible aumentar la sección de la tubería 195 y disminuir la velocidad que presentaba. Por otra parte, aunque en la tubería 124 (señalada en rojo en la tabla 20; unión entre la red y el hidrante 1) la velocidad no era mayor de 4 m/s en ninguna hora del día (presentaba un máximo de velocidad de 3,54 m/s), se ha remplazado por otra de mayor

diámetro para disminuir escasamente la velocidad que presentaba y poder sustituir la tubería crítica 393 (unión entre el hidrante 1 y la toma 5) por otra de mayor sección.

### 6.1.2. Efecto sobre el Comportamiento Inicial de la Red

Una vez realizada la sustitución de las tuberías que presentaban problemas de exceso de velocidad del fluido, se ha simulado el modelo hidráulico y los resultados obtenidos de la mejora realizada en la red de San Rafael se encuentran en el punto 2.2 del documento "Listados del Modelo".

Analizando los resultados obtenidos a partir de las tablas anteriores se puede observar una clara mejora de las velocidades de las tuberías. Con la realización de esta propuesta se ha conseguido disminuir todas las velocidades, situándolas dentro del intervalo recomendado por los técnicos de la comunidad de regantes (0,5-2,5 m/s) o próximos a él; evitando posibles roturas de los elementos de la red de riego provocados por las excesivas velocidades. Sin embargo, ha sido imposible remplazar la tubería 195 por una de mayor tamaño, por lo que continúa existiendo problemas de velocidad en dicho tramo en determinadas horas del día. Por otro lado, cabe decir que los valores de la velocidad para la tubería 124 (modificado para poder remplazar la tubería 393) sigue cumpliendo los criterios establecidos por los técnicos.

Para terminar, los problemas que siguen existiendo de presión pueden tratarse a partir de cualquier alternativa de las que se presentan a continuación, mejorando de forma completa el funcionamiento de la red de riego.

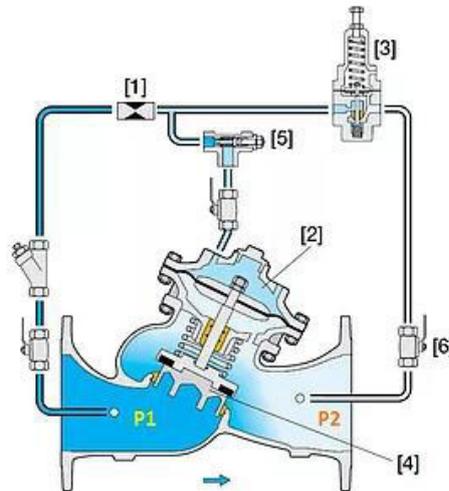
### 6.2. Colocación de Válvulas Reductoras de Presión (VRP)

Esta segunda propuesta está destinada a subsanar los problemas de sobrepresión de ciertos nudos, colocando en diferentes puntos estratégicos de la red de San Rafael diversas válvulas reductoras de presión. Este tipo de válvulas son dispositivos auxiliares unidireccionales que permiten regular y reducir las presiones aguas abajo de su localización en base a un valor prefijado, dentro de unos amplios márgenes de caudal y presión aguas arriba.

En general, no se deben admitir reducciones de presión del 50% o más, colocando si fuera necesario dos válvulas reductoras en serie, de manera que la primera realice una primera reducción y sea la segunda la que ajuste finalmente la presión al valor de consigna (Soriano y Pancorbo, 2012).

Las partes de una válvula reductora de presión como se puede observar en la figura 15, son (Ingeniería de Fluidos, 2016):

- (1): Restricción que facilita la apertura de la válvula.
- (2): Cámara superior que permite el movimiento del diafragma.
- (3): Piloto que controla el funcionamiento de la válvula a partir de un muelle de regulación.
- (4): Disco y asiento que permiten el cierre de la válvula.
- (5): Válvula de aguja encargada de disminuir o aumentar la velocidad de cierre de la válvula principal en base a unas determinadas condiciones, restringiendo el flujo de agua hacia la cámara superior.
- (6): Válvula de seccionamiento manual ubicada aguas abajo de la válvula que permite llevar a cabo el cierre de la válvula principal.



**Figura 15.** Corte transversal de una válvula reductora de presión con sus diversas partes numeradas. Fuente: Ingeniería de Fluidos (2016)

El funcionamiento se basa en el cierre o apertura de la válvula a partir de un piloto encargado de que el diafragma suba o baje en función de la presión aguas abajo de la válvula. En primer lugar se marca la presión deseada de aguas abajo girando el tornillo superior del piloto. Una vez regulado pueden darse dos casos:

- Si la presión del agua que entra por la válvula ( $P_1$ ) aumenta, la presión aguas abajo ( $P_2$ ) también aumentará, siendo mayor que la presión preestablecida y provocando el cierre del piloto. Esto hace que aumente la presión en la cámara superior y que el diafragma descienda, aumentando las pérdidas de carga del caudal entrante y disminuyendo  $P_2$ . De esta forma, cuando  $P_2$  sea igual a la presión de consigna el piloto dejará de cerrarse y el diafragma de bajar.

- Si por el contrario P1 disminuye, P2 será menor que la presión establecida, provocando la apertura del piloto y el descenso de la presión en la cámara superior; esto hace que el diafragma suba, disminuyendo así las pérdidas de carga realizadas al fluido entrante y aumentando P2. Cuando P2 sea igual a la presión de consigna el piloto dejará de abrirse y el diafragma de subir.

La ventaja de esta alternativa es el bajo coste de inversión que conlleva, la fácil instalación y la necesidad de obras mínimas, provocando escasas molestias a los agricultores que forman parte de la red de San Rafael. Son resistentes, seguras y sencillas por lo que no requieren de un gran mantenimiento. Además, no presentan consumo energético y tienen una vida útil de más de 25 años.

Como inconveniente cabe destacar que es necesario llevar a cabo revisiones periódicas durante las primeras semanas para comprobar el comportamiento de la válvula en la instalación, las posibles roturas provocarían que aguas abajo se diesen elevadas presiones, y por lo tanto posibles daños en los elementos hidráulicos que constituyen la red, y además, se trata de un elemento disipativo de energía (la cual ha sido suministrada previamente con los equipos de bombeos), por lo que supone una pérdida y gasto de energía claro (Rocamora y col., 2011).

### 6.2.1. Descripción General

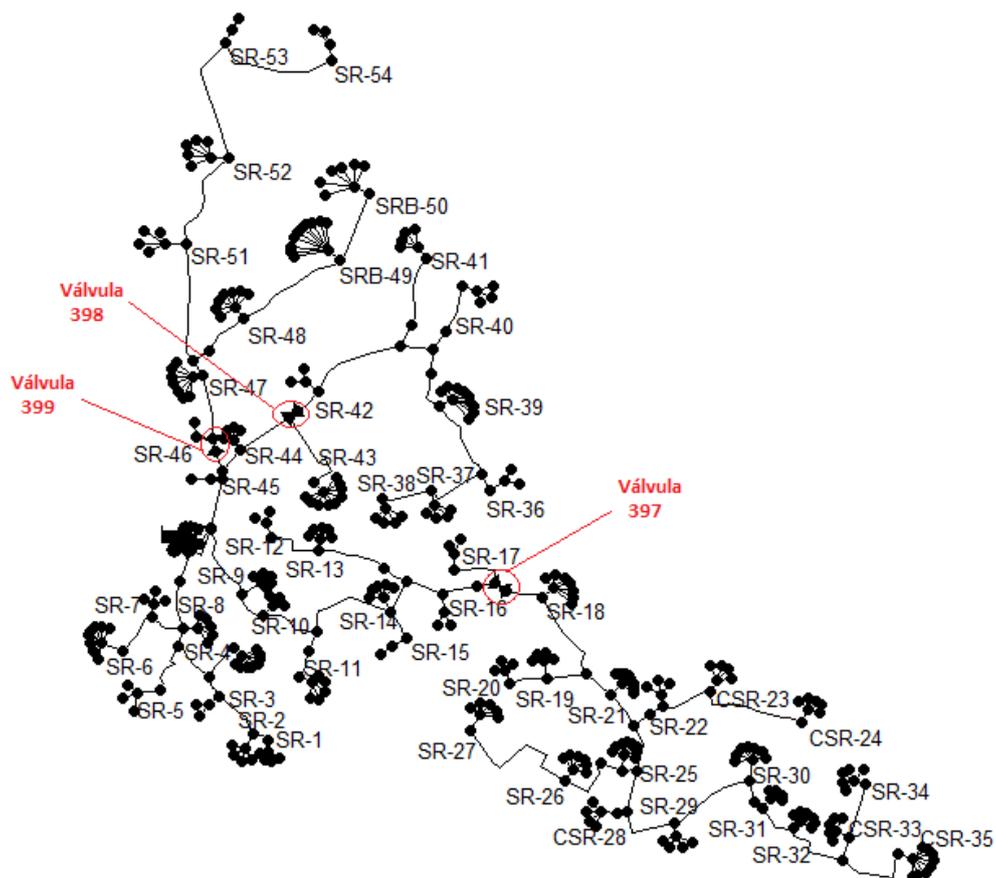
El criterio utilizado para llevar a cabo la colocación de las válvulas reductoras de presión en la red de San Rafael se ha basado en cuatro puntos:

- Las válvulas se han colocado de forma que los nudos aguas abajo de esta siempre se encuentren a menor cota. De esta manera, se ha podido seleccionar un valor de consigna cercano al intervalo sugerido por los técnicos de la red, y que debido al descenso de la elevación la presión fuera aumentando hasta encontrarse entre los valores deseados.
- Se han situado las válvulas justo antes de nudos con elevada presión, con el fin de reducir esa sobrepresión al valor de consigna asignado. De esta manera, se intenta que la disipación de energía se lleve a cabo solamente en aquellos puntos donde sea realmente necesario.
- Entre las distintas alternativas en cuanto a la colocación de las válvulas, se ha seleccionado aquella que presentaba un mejor funcionamiento de la red, analizando el parámetro de presión.

- La tarea de optimización de la red se ha tratado de realizar colocando el menor número de válvulas reductoras de presión posible, con el objetivo de disminuir los costes y las molestias que se puedan derivar de las obras de instalación.

Con este criterio se han colocado finalmente en el modelo hidráulico de la red tres válvulas, dos de ellas en San Rafael Norte y una en San Rafael Sur. Las válvulas situadas en San Rafael Norte son la válvula 399 y la válvula 398, con una presión de consigna de 31 m.c.a y 36 m.c.a respectivamente. Mientras que en San Rafael Sur se encuentra la válvula 397 con una presión de consigna de 35 m.c.a.

Las presiones de consigna de cada una de las válvulas reductoras de presión ha sido seleccionada tras probar con diferentes datos y observar la repercusión que tenían sobre los posteriores nudos de la red. Es por esto, por lo que tras estudiar las distintas opciones se han tomado los valores citados anteriormente.



**Figura 16.** Localización de las válvulas reductoras de presión colocadas en la red de San Rafael para mejorar su funcionamiento. Fuente: Propia

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

A partir de la fotografía satelital del terreno proporcionada por el programa Google Earth, se ha localizado las diferentes zonas de la red en las que se deberían realizar las obras para la colocación de las válvulas reductoras de presión según el estudio realizado:



**Figura 17.** Imagen vía satélite de la red de San Rafael con la marcación geográfica en la que se deber colocar las válvulas reductoras de presión para llevar a cabo la mejora de la red de riego. Fuente: Propia

### 6.2.2. Efecto sobre el Comportamiento Inicial de la Red

La propuesta realizada supone la mejora del comportamiento hidráulico de la red, debido a que se ha reducido enormemente las elevadas presiones que tenían lugar a lo largo de las distintas horas. Es decir, se ha solucionado en gran medida los problemas de sobrepresión a partir de la colocación de estas válvulas reductoras (VRP).

En las tablas que se muestran a continuación realizadas a partir de los resultados de la simulación del modelo hidráulico obtenidos mediante la utilización de Epanet 2.0 (ver punto 3 del documento "Listado del modelo"), se pueden analizar los cambios producidos en la red en cuanto a valores de presión se refiere comparando dichos datos con los obtenidos de la situación actual (ver apartado 5 de este documento):

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

**Tabla 18.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 00:00, 01:00, 02:00, 03:00 y 04:00 hrs tras la colocación de las válvulas reductoras en red de San Rafael. Fuente: Propia

Presión (m.c.a)					
	00:00h	01:00h	02:00h	03:00h	04:00h
<b>Max</b>	66,04	63,99	63,41	62,56	64,78
<b>Min</b>	27,58	26,88	24,76	24,30	24,74
<b>Promedio</b>	48,27	47,09	45,30	44,52	45,41

**Tabla 19.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 05:00, 06:00, 07:00, 08:00 y 09:00 hrs tras la colocación de las válvulas reductoras en red de San Rafael. Fuente: Propia

Presión (m.c.a)					
	05:00h	06:00h	07:00h	08:00h	09:00h
<b>Max</b>	64,76	64,54	64,89	63,88	63,52
<b>Min</b>	26,39	26,79	26,93	27,94	27,94
<b>Promedio</b>	46,27	46,41	47,21	46,95	46,49

**Tabla 20.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 10:00, 11:00, 12:00, 13:00 y 14:00 hrs tras la colocación de las válvulas reductoras en red de San Rafael. Fuente: Propia

Presión (m.c.a)					
	10:00h	11:00h	12:00h	13:00h	14:00h
<b>Max</b>	67,98	67,71	67,71	67,98	67,98
<b>Min</b>	28,00	27,12	28,00	28,00	28,00
<b>Promedio</b>	48,14	47,32	49,06	49,42	49,70

**Tabla 21.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 15:00, 16:00, 17:00, 18:00 y 19:00 hrs tras la colocación de las válvulas reductoras en red de San Rafael. Fuente: Propia

Presión (m.c.a)					
	15:00h	16:00h	17:00h	18:00h	19:00h
<b>Max</b>	67,98	65,79	65,79	66,48	67,59
<b>Min</b>	28,00	27,70	25,68	27,83	27,82
<b>Promedio</b>	50,18	48,14	45,84	47,45	47,39

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

**Tabla 22.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 20:00, 21:00, 22:00, 23:00 y 24:00 hrs tras la colocación de las válvulas reductoras en red de San Rafael. Fuente: Propia

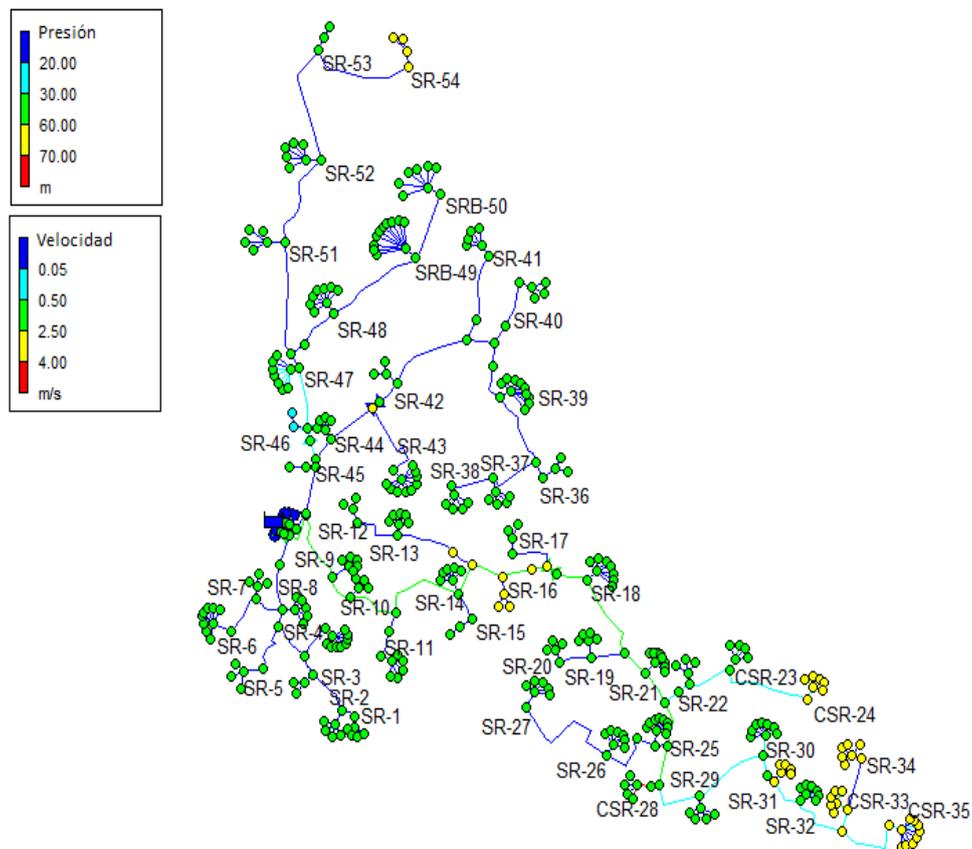
	Presión (m.c.a)				
	20:00h	21:00h	22:00h	23:00h	24:00h
Max	67,77	67,98	67,98	67,98	66,04
Min	25,90	26,20	28,00	28,00	27,58
Promedio	46,80	47,11	48,79	49,32	48,27

Para la realización de las tablas anteriores se omitieron los valores de presión del embalse y de los nudos previos al grupo de bombeo del cabezal de San Rafael , ya que no darían lugar a datos representativos de la red.

Analizando los resultados se puede observar una clara disminución de las presiones de la red de San Rafael, evitando por completo los problemas de sobrepresión que tenían lugar antes de llevar a cabo esta alternativa. A diferencia de las altas presiones que se alcanzaban en la red, llegando incluso a los 96,56 m.c.a, la presión máxima que se alcanza a lo largo del día de simulación tras la colocación de las válvulas reductoras de presión (VRP) es de 67,98 m.c.a; suponiendo una disminución de casi el 30 %. En cuanto a las presiones mínimas de cada una de las horas, el valor más bajo que se alcanza es de 24,30 m.c.a a las 03:00h, de manera que en ningún momento la presión en los nudos queda por debajo de los 20 m.c.a necesarios para llevar a cabo el riego de los cultivos, y se acercan a los 30 m.c.a recomendados por los técnicos de la instalación. Finalmente, los valores promedio de la presión para cada hora siempre rondan valores comprendidos entre 40-50 m.c.a, reflejando la efectividad de esta medida en la eliminación de las sobrepresiones.

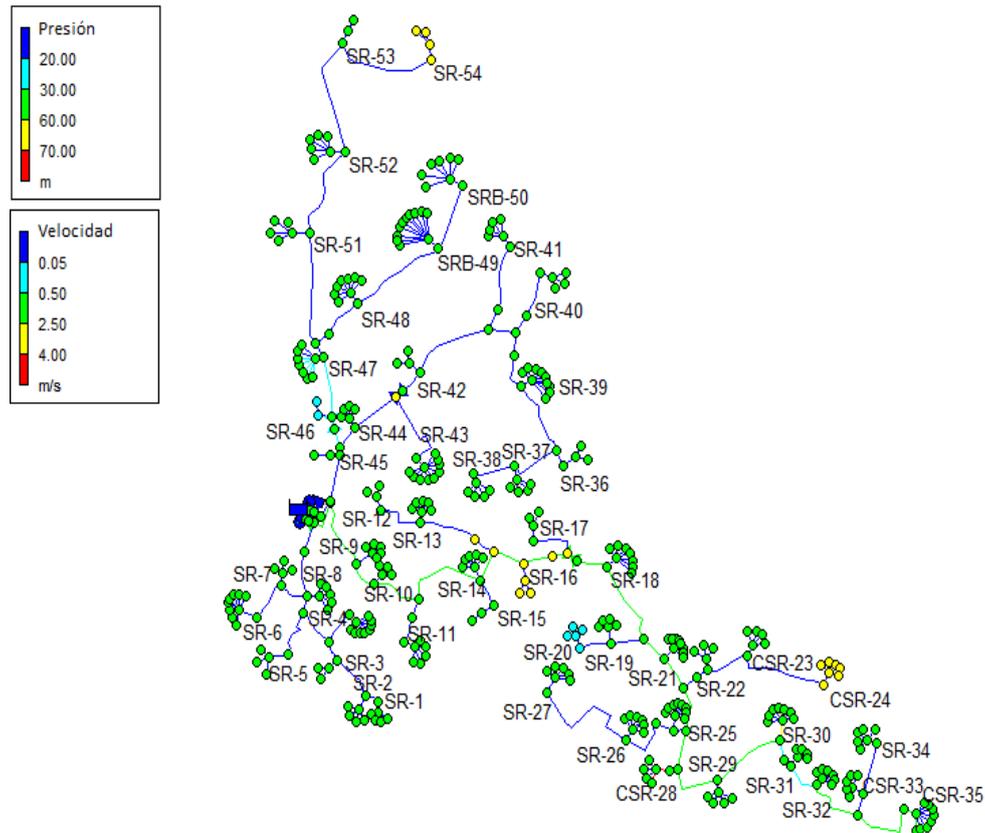
A continuación se presentará el diagrama de la red de San Rafael en las horas más críticas (15:00h y 23:00h), mostrando de forma orientativa a partir de colores asociados a determinados intervalos, el valor de las presiones y velocidades para cada nudo y línea de la red de alta presión:

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)



**Figura 18.** Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 15:00h. Fuente: Propia

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)



**Figura 19.** Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 23:00h. Fuente: Propia

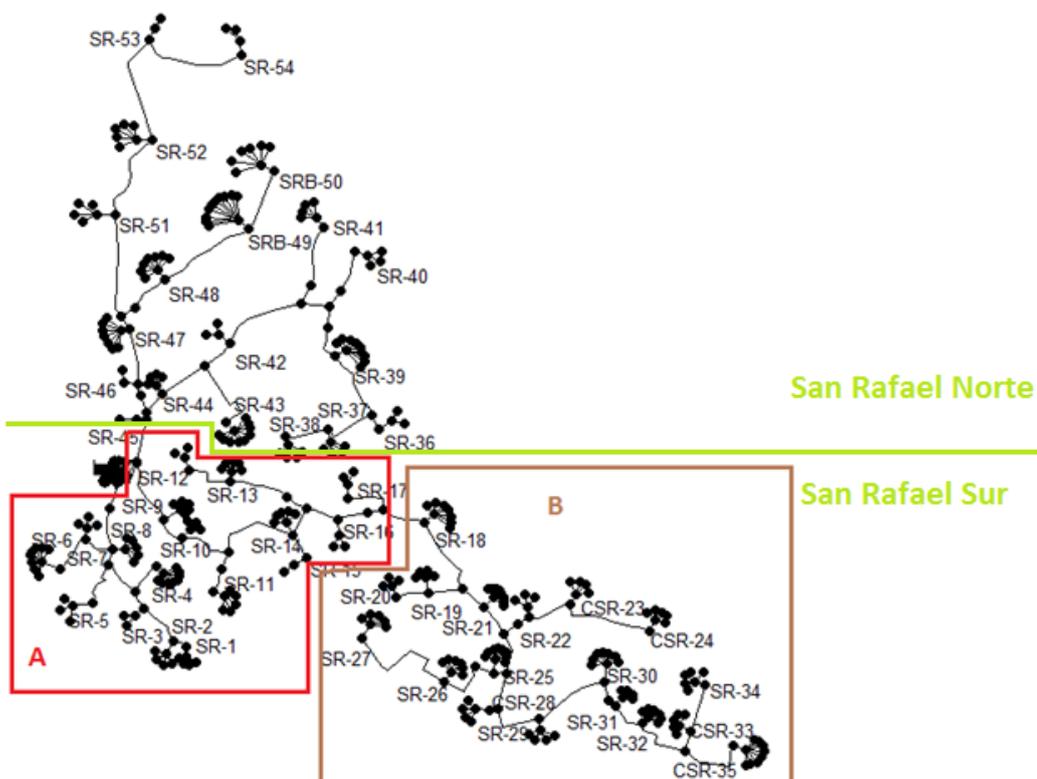
Las figuras anteriores son una clara representación de lo comentado anteriormente. Se puede observar cómo se han hecho desaparecer las sobrepresiones de la red y se ha mejorado en gran medida el riego en las zonas más críticas, es decir, aquellas que presentan una mayor diferencia de cota con los puntos más elevados de la red. De esta manera, el problema de presión que presentaba prácticamente todo San Rafael Norte ha sido solucionado, siendo el hidrante 54 el que mayor presión presenta al cabo del día con 67,98 m.c.a, y el hidrante 46 el que menos con 28 m.c.a; mientras que la mayor presión que presenta el este de San Rafael Sur es de 64,94 m.c.a en el hidrante 24, y la que menos en el hidrante 27 con 24,85 m.c.a.

A pesar de los óptimos resultados obtenidos al llevar a cabo esta segunda alternativa, los problemas de velocidad no han sido solucionados, por lo que sería necesario recurrir a la primera propuesta de mejora para la red de San Rafael (desarrollada en el apartado 6.1), para dar lugar a un completo proyecto de optimización del funcionamiento de la red .

### 6.3. Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael

El principal problema que presenta la red de San Rafael como ya se ha explicado en apartados anteriores, es que el aumento de presión provocado por los equipos de bombeo del cabezal junto con el gran desnivel que existe en el terreno, da lugar a sobrepresiones en los hidrantes y tomas de menor cota, generando roturas continuas y enormes costes económicos destinados a reparar dichos daños. Esta situación queda reflejada en el este de San Rafael Sur (como se puede ver en las figuras 12 y 13), haciendo que sea una de las zonas más críticas de la red. Es por esto, por lo que la propuesta que se desarrollará en este punto se centrará en eliminar las sobrepresiones de dicha zona.

Para realizar esta alternativa se eliminará una bomba del grupo de bombeo de San Rafael Sur y se realizará un riego por gravedad aprovechando la diferencia de cota por medio de una nueva tubería, del este de San Rafael Sur hasta la balsa de la red de estudio. De esta manera, la subred de San Rafael Sur presentará dos formas de suministro del agua de riego: Un riego por bombeo en la zona A y un riego por gravedad en la zona B (ver figura 20); constituyendo así, la única área de todo San Rafael regada sin presurización.



**Figura 20.** Delimitaciones de la zona A y B de San Rafael Sur, diferenciadas por la forma de abastecimiento de agua para riego llevada a cabo en cada una de ellas tras realizar la propuesta desarrollada en este apartado. Fuente: Propia

Las ventajas de esta alternativa son: Reducción del consumo energético ya que se deja de utilizar una de las bombas y la restante estará menos tiempo en funcionamiento (se le ha quitado zona de abastecimiento de agua), no es necesario llevar a cabo revisiones periódicas, se podría sustituir el riego por turnos a un riego a demanda en la zona B, bajo mantenimiento de la nueva tubería y gran vida útil de esta (más de 50 años). Además, puede fusionarse con la propuesta realizada en el apartado 6.2 colocando dos válvulas reductoras en San Rafael Norte para llevar a cabo la mejora completa de la red.

Los inconvenientes que presenta son: Grandes obras en la red de San Rafael para unir el embalse con el hidrante deseado (con las molestias a los agricultores que ello conlleva), elevado coste de inversión, bajada de velocidad en la zona A debido a la división del caudal y al sobredimensionamiento generado, y desaprovechamiento de la bomba parada.

### 6.3.1. Descripción General

El criterio utilizado para llevar a cabo la unión del embalse con la zona este de San Rafael Sur se basa en los siguiente puntos que se muestran a continuación:

- Se debe llevar a cabo de forma que siempre exista una disminución de la cota en la circulación del agua en la tubería. Para que no sea necesario ningún tipo de bomba y se pueda realizar el riego por gravedad.
- La diferencia de cota entre el embalse y el punto de unión debe ser elevada, de forma que el agua adquiera la presión necesaria para el riego de los cultivos.
- La nueva tubería se tratará de hacer pasar por caminos, evitando en todo lo posible invadir los terrenos de usuarios particulares con el fin de reducir al mínimo las molestias provocadas por las obras.
- Dentro de las distintas opciones, se escogerá aquella que suponga una menor distancia, para disminuir los costes relacionados con la instalación de las tuberías.
- Entre las distintas opciones se escogerá aquella que presente unos valores de presión y velocidad más adecuados para el correcto funcionamiento de la red de San Rafael.

El recorrido seleccionado para la nueva línea teniendo en cuenta todos los puntos anteriores es:

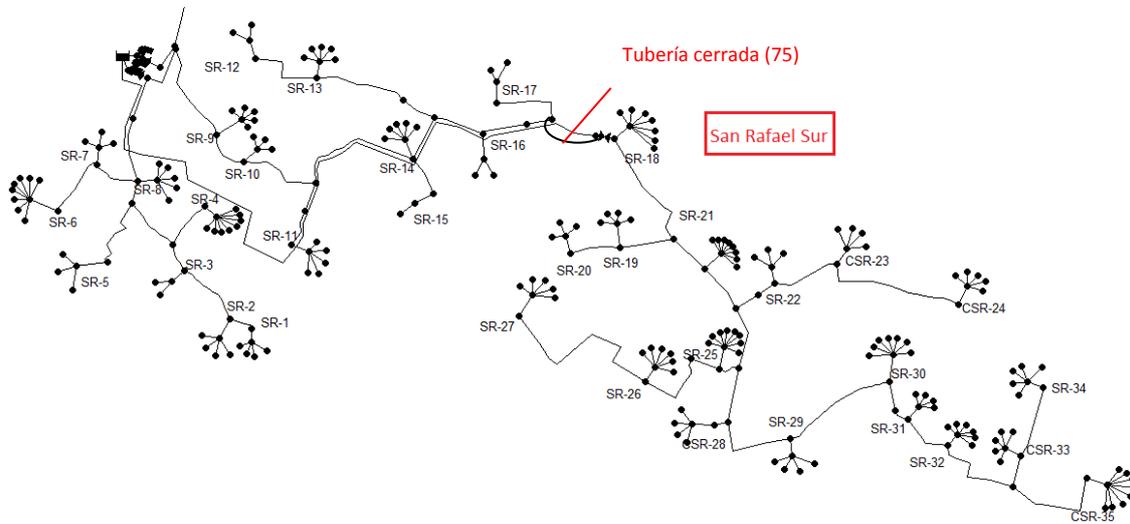


**Figura 21.** Recorrido de la nueva tubería de unión entre el embalse y el este de San Rafael Sur para llevar a cabo un riego por gravedad. Fuente: Propia

En base a los criterios establecidos y al camino marcado en la figura 21, se ha realizado en el modelo hidráulico la unión del embalse de San Rafael con el nudo que conecta el hidrante 18 a la red. Las cotas que presentan cada uno son de 162 m para el embalse y de 117 m para el punto de unión con el este de San Rafael Sur, generando una suficiente diferencia de cota (45 m) para que se alcancen las presiones deseadas en las parcelas de cultivo regadas por gravedad a partir de la instalación de la nueva tubería. Además, se ha cerrado la tubería 75 para evitar el paso de agua suministrada mediante bombeo a la nueva zona de riego por gravedad (área B), se ha desconectado la bomba 142 dejando en funcionamiento una sola bomba del grupo de bombeo que abastecía a la subred de San Rafael Sur, y se ha colocado el equipo de filtración simulado mediante una válvula al final de la nueva tubería (justo antes de la zona de riego por gravedad) para que el agua llegue con suficiente presión, de forma que no existan problemas de cavitación, y se pueda llevar a cabo su limpieza automática (requiere una presión entre 20 y 25 m.c.a). En la realidad, los filtros serán situados en una caseta de bloques de hormigón de 5x4m<sup>2</sup>.

El modelo hidráulico de la subred de San Rafael Sur tras llevar a cabo las distintas modificaciones para representar de forma lo más exacta posible la alternativa planteada en este apartado, es:

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)



**Figura 22.** Subred de San Rafael Sur modificada para llevar a cabo el riego por gravedad en la zona este. Fuente: Propia

Para poder llevar a cabo la simulación con el software Epanet 2.0 es necesario además, introducir las características (longitud, diámetro y rugosidad) de la nueva tubería destinada al riego por gravedad. La longitud ha sido obtenida mediante el programa Google Earth y es de 2.032 m, para la rugosidad se ha tomado el valor común para todas las tuberías de la red de 0,02 mm, y por último, el diámetro ha sido calculado a partir de iteraciones empleando la ecuación de Bernoulli (explicada detalladamente en el punto 1.2 del anexo 1) como se puede observar a continuación:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + H_B = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{12} \quad (\text{ec.2})$$

La cota del embalse ( $z_1$ ) es 162 m y la presión en él ( $P_1$ ) es cero debido a que se trata de una lámina libre, la cota en el otro extremo de la tubería donde se une con el este de San Rafael sur es de 117 m y la presión en dicho punto ( $P_2$ ) es el parámetro que se irá variando dentro del intervalo 30-60 m.c.a recomendado por los técnicos, para dar lugar a distintos diámetros que se irán probando y a partir de los resultados obtenidos de dichas simulaciones se elegirá aquel que dé lugar a un mejor funcionamiento de la zona de riego por gravedad. Los términos de velocidad se anulan ya que son iguales, al no existir bomba en la tubería la altura proporcionada por esta ( $H_B$ ) es cero, y las pérdidas de carga se definen de la siguiente manera (ver apartado 1.3 del anexo 1):

$$h_{12} = h_f + h_m \quad (\text{ec.3})$$

Las pérdidas locales o menores ( $h_m$ ) que se pueden encontrar en este tramo son de 5 m.c.a debidas a los filtros. Por otro lado, las pérdidas por fricción ( $h_f$ ) tratándose de una sección circular se definen mediante la ecuación de Darcy-Weisbach de la siguiente forma:

$$h_f = \frac{8 * f * L}{\pi^2 * g * D^5} * Q^2 \quad (\text{ec.4})$$

Sabiendo que el diámetro será el dato a obtener a través de la iteración, para el factor de fricción se ha tomado un valor de 0,015 (promedio de los obtenidos para las distintas tuberías que constituyen la red de San Rafael a partir de las simulación del modelo hidráulico de la situación actual), el caudal ha sido escogido observando el máximo caudal que entraba a la zona en la que se va a realizar ahora el riego por gravedad (mediante el análisis de la simulación del modelo hidráulico también de la situación actual), y es de 68,16 l/s pero se ha dejado una pequeña holgura del 10% por posibles aumentos de demanda en dicha zona en el futuro, por lo que se ha empleado el valor de 75 l/s. El resto de datos son conocidos.

Sustituyendo todo lo comentado anteriormente con las unidades adecuadas en la ecuación 2, se obtiene:

$$162 = 117 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{8 * 0,015 * 2.032}{3,14^2 * 9,81 * D^5} * 0,075^2 + 5$$

Las iteraciones que se han realizado hasta alcanzar el mejor valor para el diámetro de la tubería de riego por gravedad se encuentran en el apartado 5.1.1 del anexo 5. En base a dicho punto del TFG, se ha seleccionado finalmente el diámetro interior de 299,6 mm por presentar un mejor funcionamiento de la red de riego de San Rafael y una adecuada velocidad del agua en la nueva línea.

### 6.3.2. Efecto sobre el Comportamiento Inicial de la Red

Los cambios realizados a la subred de San Rafael Sur en esta alternativa van destinados principalmente a resolver los problemas de sobrepresión que presentaba esta zona, y que perjudicaban al funcionamiento del riego. En base a dicho objetivo, la propuesta planteada en este apartado muestra una gran viabilidad ya que mejora las presiones de los hidrantes y tomas de esta área situándolas para prácticamente todas las horas del día dentro del intervalo óptimo considerado por los técnicos de la comunidad de regantes.

A continuación, se resume en las siguientes tablas los resultados obtenidos de la presión para los distintos nudos del modelo hidráulico realizado y simulado en Epanet 2.0 (ver punto 4 del documento "Listado del modelo"):

**Tabla 23.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 00:00, 01:00, 02:00, 03:00 y 04:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur y la desconexión de una de las bombas de esta subred. Fuente: Propia

	Presión (m.c.a)				
	00:00h	01:00h	02:00h	03:00h	04:00h
<b>Max</b>	82,39	74,76	70,18	67,06	66,01
<b>Min</b>	22,66	21,65	20,59	18,59	23,16
<b>Promedio</b>	52,34	49,73	47,45	45,98	45,76

**Tabla 24.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 05:00, 06:00, 07:00, 08:00 y 09:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur y la desconexión de una de las bombas de esta subred. Fuente: Propia

	Presión (m.c.a)				
	05:00h	06:00h	07:00h	08:00h	09:00h
<b>Max</b>	68,87	69,13	74,63	70,30	72,00
<b>Min</b>	23,43	23,86	24,43	24,29	23,76
<b>Promedio</b>	47,67	48,09	49,81	48,56	48,21

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

**Tabla 25.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 10:00, 11:00, 12:00, 13:00 y 14:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur y la desconexión de una de las bombas de esta subred. Fuente: Propia

	Presión (m.c.a)				
	10:00h	11:00h	12:00h	13:00h	14:00h
<b>Max</b>	89,80	89,40	89,52	89,91	89,91
<b>Min</b>	23,55	21,42	24,69	24,78	25,65
<b>Promedio</b>	53,86	52,93	54,83	55,23	55,55

**Tabla 26.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 15:00, 16:00, 17:00, 18:00 y 19:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur y la desconexión de una de las bombas de esta subred. Fuente: Propia

	Presión (m.c.a)				
	15:00h	16:00h	17:00h	18:00h	19:00h
<b>Max</b>	89,91	85,73	85,44	86,73	88,68
<b>Min</b>	26,27	24,65	20,51	23,17	22,54
<b>Promedio</b>	56,08	53,26	51,12	52,59	52,74

**Tabla 27.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 20:00, 21:00, 22:00, 23:00 y 24:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur y la desconexión de una de las bombas de esta subred. Fuente: Propia

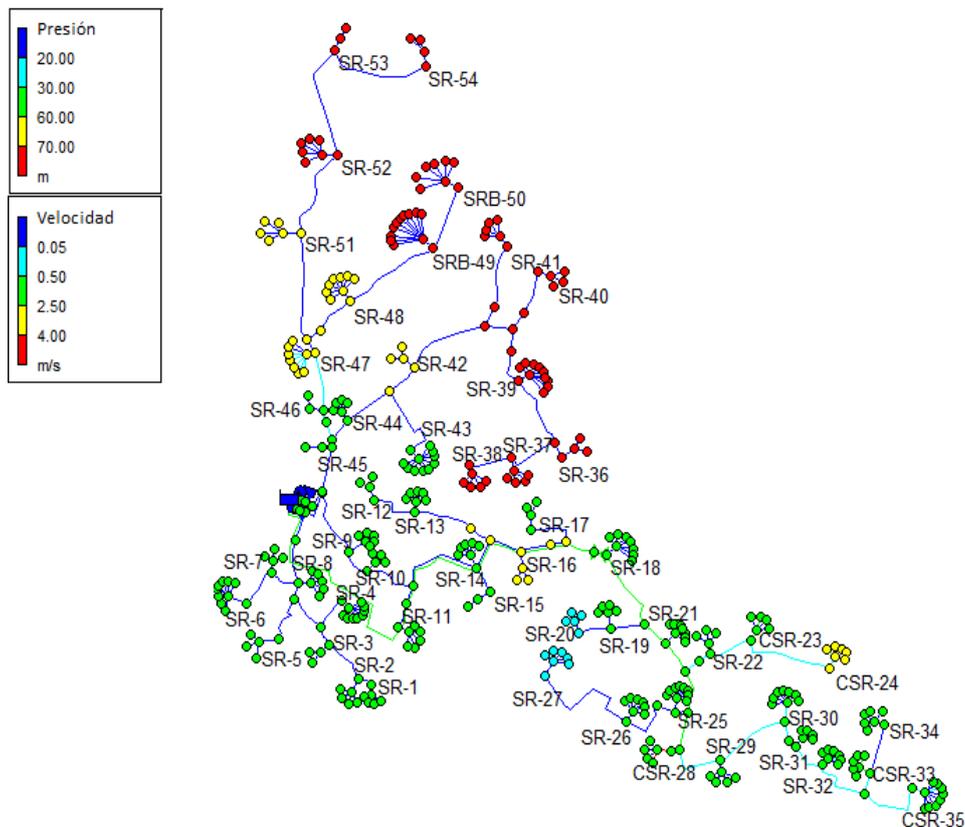
	Presión (m.c.a)				
	20:00h	21:00h	22:00h	23:00h	24:00h
<b>Max</b>	89,38	89,91	89,91	89,91	82,39
<b>Min</b>	19,65	20,04	23,88	25,49	22,66
<b>Promedio</b>	52,24	52,71	54,55	55,18	52,34

Para la realización de las tablas anteriores al igual que se ha hecho en el análisis de los resultados de las otras propuestas, se han omitido los valores de presión del embalse y de los nudos previos al grupo de bombeo del cabezal de San Rafael , ya que no darían lugar a información representativa de la red.

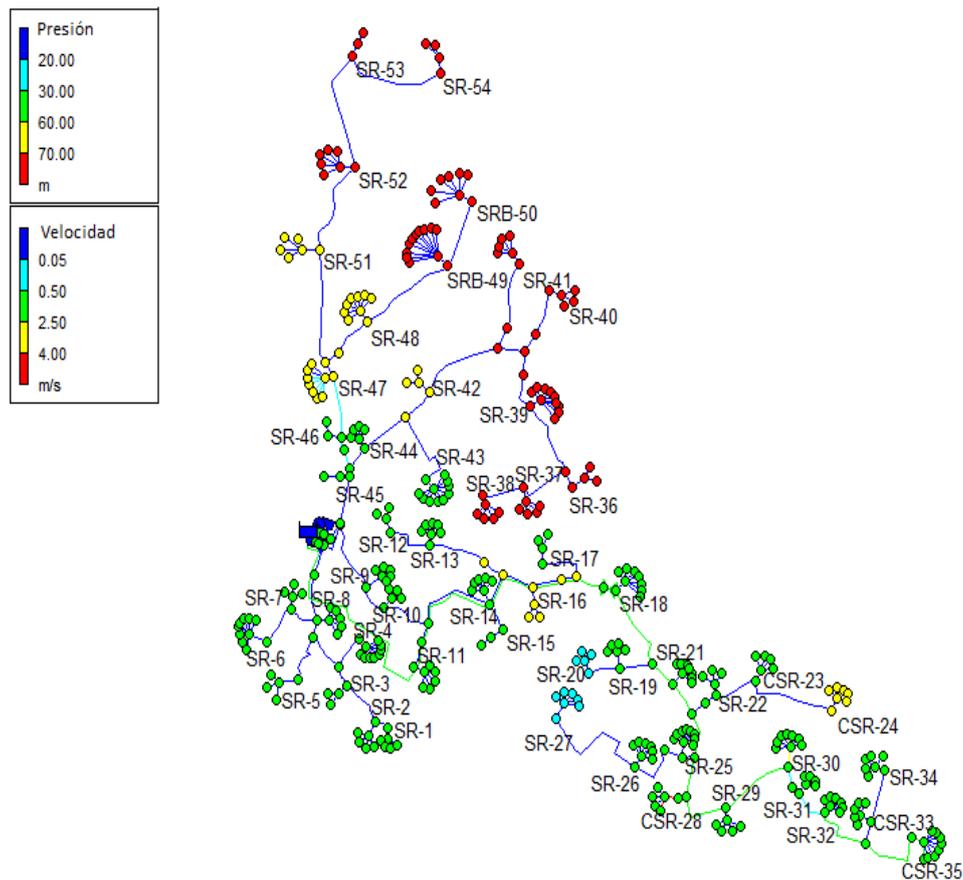
Estudiando los valores de presión obtenidos de la simulación del modelo hidráulico, se puede observar como siguen existiendo puntos con sobrepresión en la red de San Rafael que superan los 70 m.c.a recomendados por los técnicos. Estos nudos pertenecen a la subred de San Rafael Norte, sobre la cual no se ha llevado a cabo ningún tipo de medida en esta alternativa para solucionar los problemas que presenta. Una posible solución que tendría resultados positivos en el funcionamiento de la red sería colocar dos válvulas reductoras de presión en dicha subred al igual que se hizo en el apartado 6.2, consiguiendo disminuir la

presión máxima para los distintas horas del día de simulación (miércoles). Por otro lado, las presiones mínimas han disminuido en general para prácticamente todas las horas del día de simulación, quedando incluso por debajo del valor crítico de 20 m.c.a (18,59 m.c.a a las 03:00 y 19,65 m.c.a a 20:00 hrs). Este descenso de la presión tiene lugar sobre todo en los hidrantes 20 y 27, por lo que no afecta a toda la red y no sería un inconveniente lo suficientemente grande como para no tener en cuenta esta alternativa, además, se podría resolver mediante la incorporación de dos pequeñas bombas. Finalmente, en cuanto a los valores promedios cabe comentar que se encuentran comprendidos entre 40-50 m.c.a; sin embargo, a pesar de encontrarse dentro del intervalo recomendado por los técnicos de la instalación (30-60 m.c.a) no supone en este caso un buen funcionamiento de la red ya que existen puntos con sobrepresión en San Rafael Norte. Estos valores serían más representativos si se colocasen las válvulas reductoras en San Rafael Norte, ya que los valores de presión serían más homogéneos a lo largo de toda la red.

A continuación se presentará el diagrama de la red de San Rafael en las horas más críticas (15:00h y 23:00h), mostrando de forma orientativa a partir de colores asociados a determinados intervalos, el valor de las presiones y velocidades para cada nudo y línea de la red de alta presión:



**Figura 23.** Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 15:00h. Fuente: Propia



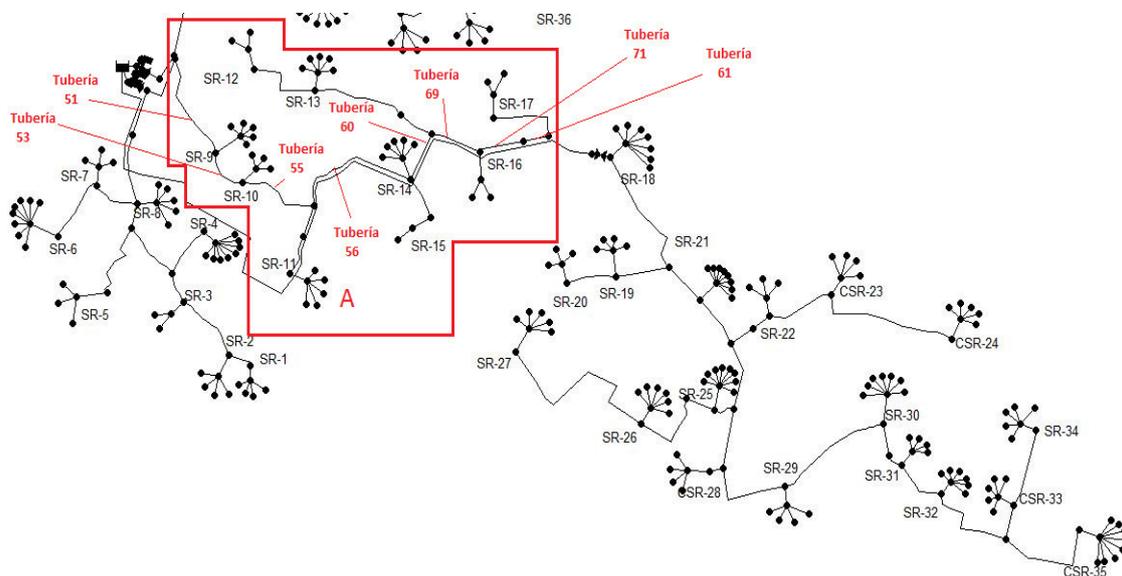
**Figura 24.** Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 23:00h. Fuente: Propia

Las figuras obtenidas para las 15:00 y 23:00 hrs son una clara representación del efecto de la medida desarrollada en este apartado sobre el funcionamiento de la red de riego de San Rafael. Ambas imágenes presentan una situación muy similar que se repite a lo largo del día de simulación, en la que las presiones y velocidades de San Rafael Norte no han cambiado respecto la situación inicial; a diferencia de la subred de San Rafael Sur, la cual si se ha visto enormemente beneficiada debido al descenso de las presiones que tenían lugar en el este de dicha zona como consecuencia del equipo de bombeo presente en el cabezal de San Rafael (empleado para abastecer a aquellos hidrantes y tomas con mayor elevación), y a la gran diferencia de cota en esta área, donde se pueden encontrar los puntos más bajos de la red.

Por otro lado, esta propuesta no varía la velocidad de las conducciones respecto a la situación actual de la red, a excepción de las tuberías de la zona A por las cuales antes circulaba el caudal destinado al abastecimiento de los hidrantes y tomas de la zona B (ver figura 20), dónde tiene un efecto negativo. La división del caudal hacia la nueva línea destinada al riego por gravedad del este de San Rafael Sur ha provocado el sobredimensionamiento de las tuberías del oeste de dicha subred, disminuyendo así la velocidad en gran medida y dando

lugar a una posible sedimentación de los abonos procedentes de la fertirrigación. Para solucionar este problema se pueden sustituir las tuberías afectadas por otras de menor diámetro (opción óptima) sin que se vea perjudicada de forma importante la presión de los nudos conectados a esas tuberías, ya que la disminución de caudal también ha generado un descenso de las pérdidas de carga y por lo tanto un aumento de la presión.

A continuación, se mostrará a partir de una imagen la localización de dichas conducciones. Las tablas con los valores de velocidad y caudal de las tuberías afectadas tras llevar a cabo la alternativa de mejora del riego propuesta en este apartado, omitiendo las horas en las que no circula caudal de agua por ninguna de ellas e indicando los valores críticos de velocidad (menores a 0,05 m/s), se encuentra en el apartado 4.2 del documento "Listados del Modelo":



**Figura 25.** Localización de las tuberías cuya velocidad se ha visto modificada por la desviación de caudal hacia la nueva línea destinada al riego por gravedad en la red de San Rafael. Fuente: Propia

Comparando dichas velocidades con las que tenían lugar en la situación actual para las anteriores tuberías (ver punto 1 del documento "Listado del Modelo"), se puede observar una enorme disminución de la velocidad ligada al descenso del caudal de agua que circulaba (ambos parámetros presentan una relación directamente proporcional). Para las distintas horas del día se dan velocidades por debajo de la velocidad crítica (0,05 m/s) y no se superan ni si quiera los 0,5 m/s (velocidad mínima del intervalo recomendado por los técnicos de la red), dando lugar a problemas de sedimentación del abono presente en el agua (fertirrigación) con todos los inconvenientes que ello conlleva: Menor calidad del agua, obstrucción de las tuberías, aparición de bacterias, etc.

El diámetro es de 299,6 mm para las tuberías 51, 53, 55, 56 y 60; y de 237,6 mm para las 61, 69 y 71. Tras la sustitución en la búsqueda de DN inferiores a partir de la tabla A.4, las conducciones que presentaban un diámetro de 299,6 mm han pasado a uno de 171,2 mm; y las de 237,6 mm a diámetros interiores de 152 mm. Las nuevas velocidades se encuentran en el apartado 4.3 del documento "Listados del Modelo".

Mediante el cambio de tubería (opción óptima) se ha conseguido aumentar la velocidad del agua de forma considerable para todas las horas del día miércoles, dejándolas dentro del intervalo óptimo aconsejado (0,5-2,5 m/s) y subsanando los problemas de velocidad producidos por la desviación de caudal. Por lo que a pesar de no tener efectos considerables para las 00:00 y 01:00 hrs debido a que el caudal que circula por ellas es mucho menor al del resto de horas, imposibilitando una mayor disminución de los diámetros sin que descienda en exceso la presión de los nudos de la zona A y aumente la velocidad para otros momentos del día, se trata de una solución viable en cuanto a los parámetros de presión y velocidad se refiere para perfeccionar la alternativa presentada en este apartado.

Para terminar, cabe decir que sería necesario eliminar los excesos de velocidad producidos en algunas tuberías a lo largo de la red (como se ha hecho en el apartado 6.1), para obtener el mejor comportamiento hidráulico que pueda llegar a alcanzar la red de riego.

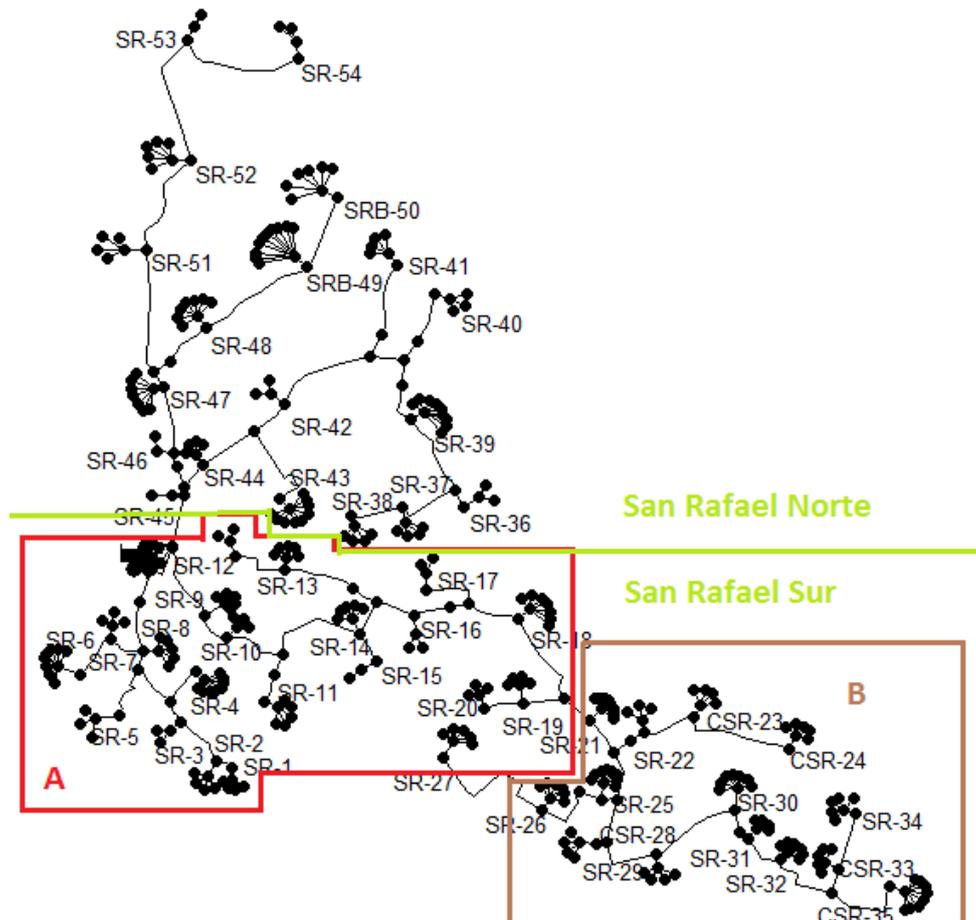
#### 6.4 Conexión con la Red de Sagrada Familia

La red de Sagrada familia se encuentra al este de San Rafael y forma parte del subsector norte del Sector 4 de Picassent, subzona margen izquierda del canal Júcar-Turia. El embalse de Sagrada Familia presenta una cota de 141,5 m junto con el cabezal donde se encuentra el grupo de bombeo que impulsa el agua para el abastecimiento de las distintas tomas situadas en las parcelas de cultivo correspondientes a dicha red. Además, se encuentra unida por medio de un sistema de tuberías a la estación de bombeo de Sagrada Familia que permite extraer el agua del canal para el riego del subsector norte.

En esta alternativa se va a tratar el problema de sobrepresión de tomas e hidrantes del este de San Rafael Sur cambiando la forma de riego, de manera que pase de un riego por bombeo desde el cabezal a uno por gravedad uniendo dicha zona crítica con la red de riego de Sagrada Familia. De esta manera, la subred de San Rafael Sur presentará dos zonas bien diferenciadas por la forma del abastecimiento del agua para el riego de las parcelas de cultivo de los usuarios de la comunidad de regantes: El área A con un riego por bombeo y la B con un riego por gravedad a partir de una tubería de la red colindante.

Además, se colocará una válvula reductora para reducir las presiones del este de San Rafael Sur que no han sido disminuidas con la unión a la red de Sagrada Familia, y se enlazarán los nudos de la red correspondientes a los hidrantes 20 y 27 para alargar el riego por bombeo

en la red de San Rafael hasta este último hidrante, disminuyendo así las sobrepresión que se produce en el hidrante 20 y las bajas presiones que se daban en el hidrante 27.



**Figura 26.** Delimitaciones de la zona A y B de San Rafael Sur, diferenciadas por la forma de abastecimiento de agua para riego llevada a cabo en cada una de ellas tras realizar la propuesta desarrollada en este apartado. Fuente: Propia

La ventajas de esta alternativa son: No es necesario llevar a cabo revisiones periódicas, se podría sustituir el riego por turnos a un riego a demanda en el este de San Rafael Sur (zona B), bajo mantenimiento de la nueva tubería y gran vida útil de esta (más de 50 años). Además, puede fusionarse con la propuesta realizada en el apartado 6.2 colocando dos válvulas reductoras en San Rafael Norte para llevar a cabo la mejora completa de la red.

Los inconvenientes que presenta son: Aumento de la demanda de agua en el embalse de la red de Sagrada Familia con el consiguiente incremento en el consumo energético de la red debido al aumento de velocidad de giro de las bombas del cabezal, y bajada de velocidad en las tuberías de la zona por donde antes circulaba el caudal de agua destinado al

abastecimiento del este de San Rafael Sur, llegando a tomar valores bastante pequeños como para poder llevar a cabo el riego; pudiéndose encontrar incluso por debajo del valor crítico de 0,05 m/s.

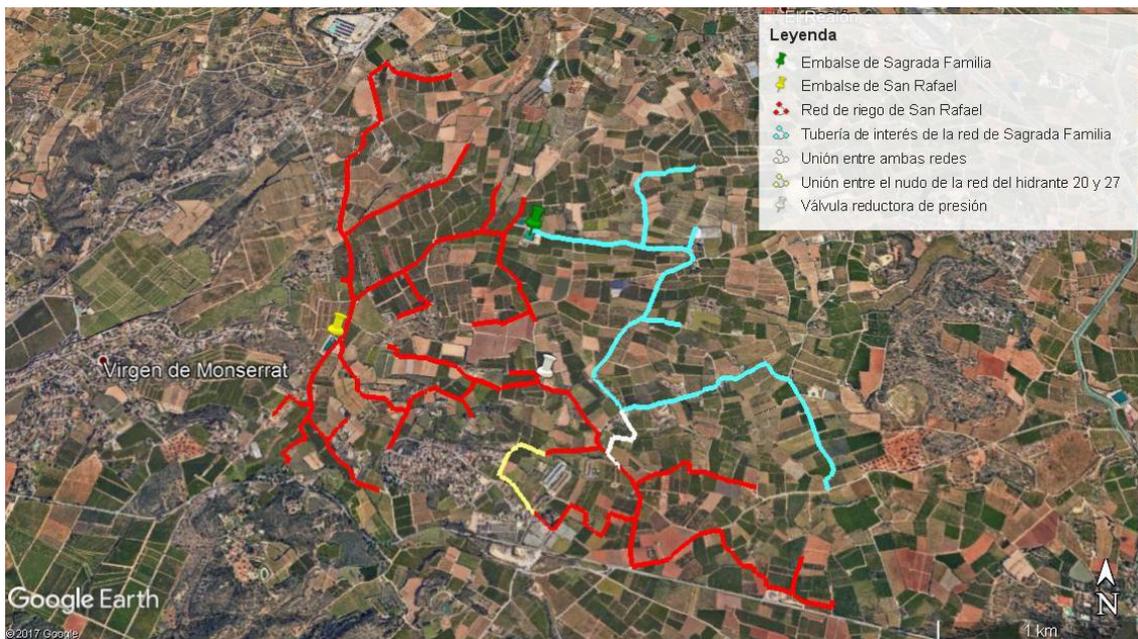
#### 6.4.1. Descripción General

El criterio utilizado para llevar a cabo la unión de la red de Sagrada Familia con el este de San Rafael Sur se basa en los siguiente puntos que se muestran a continuación:

- La cota de la tubería de la red de riego de Sagrada Familia deber ser mayor que la del punto de entronque con San Rafael Sur. De esta manera el riego se producirá por gravedad y no será necesario la instalación de una bomba para impulsar el agua.
- En el punto de entronque la presión debe de ser cercana a 30 m.c.a para que posteriormente debido a la disminución de cota del este de San Rafael Sur vaya aumentando, y las presiones de las tomas e hidrantes de dicho zona queden comprendidas dentro del valor recomendado por los técnicos de la red (30-60 m.c.a).
- Se intentará que la unión entre ambas redes además de cumplir los puntos anteriores, presente la menor distancia para disminuir los costes de instalación de la tubería.
- La instalación de la nueva tubería se debe realizar evitando invadir las parcelas de cultivo de los usuarios de la red, aprovechando los caminos y carreteras de la zona para disminuir en la medida de lo posible las molestias causadas por las obras requeridas.
- Entre las distintas opciones se escogerá aquella que presente unos valores de presión y velocidad más adecuados para el correcto funcionamiento de la red de San Rafael.

En base a los criterios anteriores, la instalación de la tubería que enlaza ambas redes se ha llevado a cabo en el nudo de unión de la red con el hidrante 21:

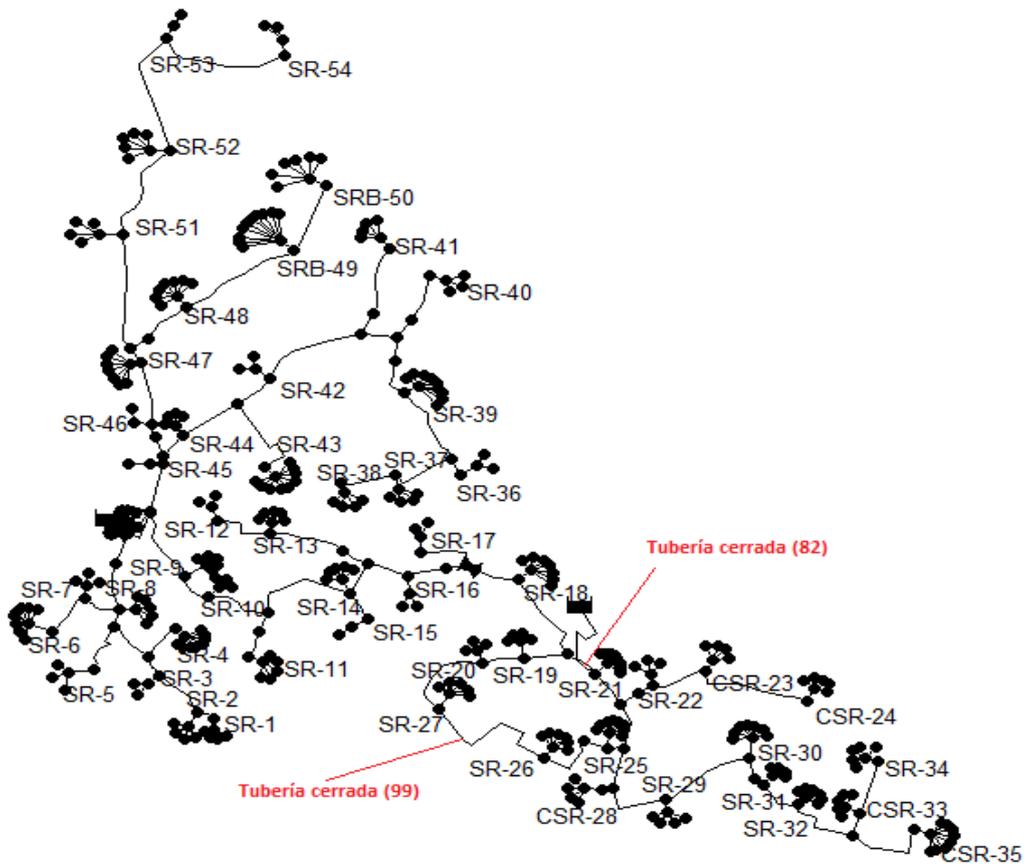
## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)



**Figura 27.** Unión entre la red de Sagrada Familia y la zona este de San Rafael Sur para llevar a cabo el riego por gravedad y el descenso de las presiones que tienen lugar en esta área. Fuente: Propia

Las modificaciones realizadas sobre el modelo hidráulico de la situación actual de la red para representar y poder simular la alternativa presentada en este punto del proyecto, han consistido en unir los nudos de la red conectados a los hidrantes 20 y 27 (82 y 101 respectivamente) por medio de una tubería de longitud y diámetro 623 m y 115.5 mm respectivamente, cerrar las conducciones 82 y 99 para evitar el paso del agua proveniente del riego por bombeo de la zona A y colocar una válvula reductora de presión (397) para corregir las presiones de la zona este de San Rafael Sur fuera del alcance de la medida adoptada. La diferencia con la propuesta del apartado 6.3 además de que no se desconectará ninguna de las bombas del cabezal de San Rafael, es que el riego por gravedad se realiza a través de la unión de esta área de menor cota de la red (donde se alcanzan altas presiones debido al bombeo y al desnivel) con la red de Sagrada Familia, obteniendo en el punto de entronque una presión de 30 m.c.a. Para no tener que dibujar toda la red de Sagrada Familia en Epanet 2.0 la unión será representada mediante la conexión del nudo del hidrante 21 con un embalse a una cota de lámina libre igual a la cota de la tubería de Sagrada Familia (en la que se produce realmente el enlace) más 30 m, para dar lugar a la presión deseada en el este de San Rafael Sur.

El modelo hidráulico de la red de San Rafael que se muestra a continuación refleja la propuesta planteada en este apartado:



**Figura 28.** Modelo hidráulico para la simulación de la alternativa "Conexión con la red de Sagrada Familia" realizada en base a las modificaciones sobre el modelo de la situación actual de la red de San Rafael. Fuente: Propia

Para poder llevar a cabo la simulación con el software Epanet 2.0 es necesario introducir las características (longitud, diámetro y rugosidad) de la nueva tubería destinada al riego por gravedad. La longitud ha sido obtenida mediante el programa Google Earth y es de 489 m, para la rugosidad se ha tomado el valor común para todas las tuberías de la red de 0,02 mm, y por último, el diámetro ha sido calculado a partir de iteraciones empleando la ecuación de Bernoulli (explicada detalladamente en el punto 1.2 del anexo 1), al igual que en la propuesta anterior:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + H_B = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{12} \quad (\text{ec.2})$$

La cota del embale empleado para simular la tubería de Sagrada Familia a la que se une el este de San Rafael Sur presenta una cota ( $z_1$ ) de 141 m y la presión en él ( $P_1$ ) es cero debido a

que se trata de una lámina libre, la cota en el otro extremo de la tubería donde se une con el este de San Rafael sur es de 110 m y la presión en dicho punto ( $P_2$ ) es el parámetro que se irá variando dentro del intervalo 30-60 m.c.a recomendado por los técnicos, para dar lugar a distintos diámetros que se irán probando y a partir de los resultados obtenidos de dichas simulaciones se elegirá aquel que dé lugar a un mejor funcionamiento de la zona de riego por gravedad. Los términos de velocidad se anulan ya que son iguales, al no existir bomba en la tubería la altura proporcionada por esta ( $H_B$ ) es cero, y las pérdidas de carga se definen de la siguiente manera (ver apartado 1.3 del anexo 1):

$$h_{12} = h_f + h_m \quad (\text{ec.3})$$

En este caso no existen pérdidas locales o menores ( $h_m$ ) pero si pérdidas por fricción ( $h_f$ ), las cuales se definirán a partir de la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{8 * f * L}{\pi^2 * g * D^5} * Q^2 \quad (\text{ec.4})$$

Sabiendo que el diámetro será el dato a obtener a través de la iteración, para el factor de fricción se ha tomado un valor de 0,015 (promedio de los obtenidos para las distintas tuberías que constituyen la red de San Rafael a partir de las simulación del modelo hidráulico de la situación actual), el caudal ha sido escogido observando el máximo caudal que entraba a la zona en la que se va a realizar ahora el riego por gravedad (mediante el análisis de la simulación del modelo hidráulico también de la situación actual), y es de 68,04 l/s. Con dicho valor del caudal no habría que dejar una pequeña holgura ya que es más caudal del que entra en la zona B debido a que la cantidad de agua destinada al hidrante 27 es proporcionada por bombeo desde cabezal de San Rafael, al pertenecer en esta nueva opción a la zona A.

Sustituyendo todo lo comentado anteriormente con las unidades adecuadas en la ecuación 2, se obtiene:

$$141 = 110 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{8 * 0,015 * 489}{3,14^2 * 9,81 * D^5} * 0,068^2$$

Las iteraciones que se han realizado hasta alcanzar el mejor valor para el diámetro de la tubería de riego por gravedad desde la tubería de la red de Sagrada Familia hasta el nudo del hidrante 21 se encuentran en el apartado 5.2.1 del anexo 5. En base a dicho punto, se ha

seleccionado finalmente el diámetro interior de 299,6 mm por presentar un mejor funcionamiento de la red de riego de San Rafael y una adecuada velocidad del agua en la nueva línea.

#### 6.4.2. Efecto sobre el Comportamiento Inicial de la Red

Los cambios realizados en esta alternativa a la subred de San Rafael Sur van destinados principalmente a resolver los problemas de sobrepresión que presentaba esta zona, y que causaban grandes problemas en la instalación. En base a dicho objetivo, se puede observar que esta opción tiene unos resultados adecuados en cuanto a dicho parámetro, y a diferencia de la propuesta de "Desconexión de una bomba del cabezal de San Rafael" no influye de forma muy negativa en la velocidad del agua en las tuberías que constituyen la red de riego, por lo que no será necesario llevar a cabo medidas para solucionar los posibles problemas que supongan la ejecución de esta alternativa en la red de San Rafael.

A continuación, se resume en las siguientes tablas los resultados obtenidos de la presión para los distintos nudos del modelo hidráulico realizado y simulado en Epanet 2.0 (ver punto 5.1 del documento "Listado del Modelo"):

**Tabla 28.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 00:00, 01:00, 02:00, 03:00 y 04:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur mediante su unión con la red de Sagrada Familia. Fuente: Propia

	Presión (m.c.a)				
	00:00h	01:00h	02:00h	03:00h	04:00h
<b>Max</b>	82,39	74,76	70,18	67,06	66,01
<b>Min</b>	26,77	26,77	26,58	25,81	27,76
<b>Promedio</b>	50,33	47,94	46,28	45,14	44,69

**Tabla 29.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 05:00, 06:00, 07:00, 08:00 y 09:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur mediante su unión con la red de Sagrada Familia. Fuente: Propia

	Presión (m.c.a)				
	05:00h	06:00h	07:00h	08:00h	09:00h
<b>Max</b>	68,87	69,13	74,63	70,30	72,00
<b>Min</b>	26,98	26,52	26,69	26,63	26,21
<b>Promedio</b>	45,99	46,24	47,87	46,77	46,59

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

**Tabla 30.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 10:00, 11:00, 12:00, 13:00 y 14:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur mediante su unión con la red de Sagrada Familia. Fuente: Propia

	Presión (m.c.a)				
	10:00h	11:00h	12:00h	13:00h	14:00h
<b>Max</b>	89,80	89,40	89,52	89,91	89,91
<b>Min</b>	24,66	23,73	25,66	26,15	26,48
<b>Promedio</b>	52,10	51,63	52,75	53,11	53,13

**Tabla 31.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 15:00, 16:00, 17:00, 18:00 y 19:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur mediante su unión con la red de Sagrada Familia. Fuente: Propia

	Presión (m.c.a)				
	15:00h	16:00h	17:00h	18:00h	19:00h
<b>Max</b>	89,91	85,73	85,44	86,73	88,68
<b>Min</b>	26,99	25,92	23,85	24,56	23,25
<b>Promedio</b>	53,42	51,43	50,40	51,11	51,29

**Tabla 32.** Valor máximo, mínimo y promedio de la presión para los tiempos 20:00, 21:00, 22:00, 23:00 y 24:00 hrs tras la instalación del riego por gravedad en el este de San Rafael Sur mediante su unión con la red de Sagrada Familia. Fuente: Propia

	Presión (m.c.a)				
	20:00h	21:00h	22:00h	23:00h	24:00h
<b>Max</b>	89,38	89,91	89,91	89,91	82,39
<b>Min</b>	22,33	22,71	25,62	25,86	26,77
<b>Promedio</b>	51,49	51,81	52,74	52,81	50,33

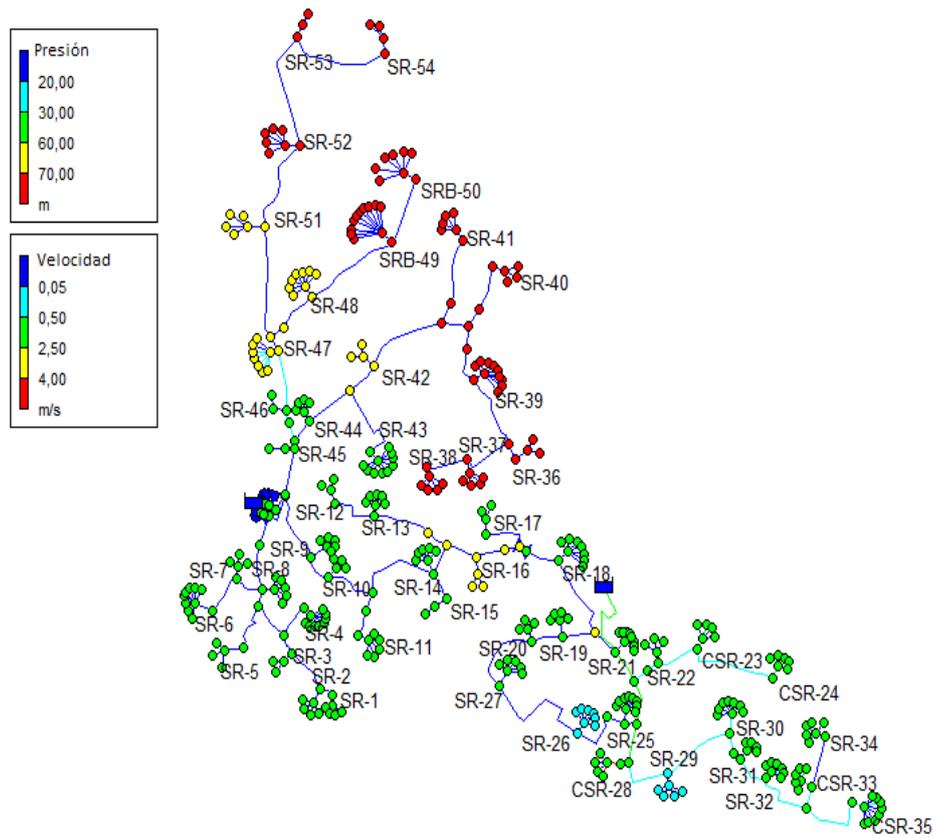
Para la realización de las tablas anteriores al igual que se ha hecho en el análisis de los resultados de las otras propuestas, se han omitido los valores de presión del embalse y de los nudos previos al grupo de bombeo del cabezal de San Rafael, ya que no darían lugar a información representativa de la red.

Estudiando los valores de presión obtenidos de la simulación del modelo hidráulico para la opción de mejora desarrollada en este punto del TFG, se puede observar como siguen existiendo puntos con sobrepresión en la red de San Rafael que superan los 70 m.c.a recomendados por los técnicos (alcanzan presiones de hasta 89,91 m.c.a). Estos nudos pertenecen a la subred de San Rafael Norte a la cual no le afectan las medidas adoptadas, por lo que no presenta un cambio en los parámetros de velocidad y presión respecto a la situación actual de la red. Por ello, una forma de mejorar esta alternativa sería colocar dos válvulas

reductoras de presión en dicha subred al igual que se hizo en el apartado 6.2, consiguiendo disminuir la presión máxima para los distintas horas del día de simulación (miércoles). Por otro lado, aunque se puedan observar presiones mínimas de 22,33 m.c.a (a las 20:00h) en general se mantienen en un valor entorno a 25 m.c.a sin encontrarse en ningún momento por debajo de 20 m.c.a (presión por debajo de la cual se hace imposible llevar a cabo el riego de las parcelas de cultivo). Este descenso de la presión tiene lugar sobre todo en ciertos puntos del este de San Rafael Sur donde la cota es igual o aumenta respecto al nudo anterior, disminuyendo así la presión en una área (zona B) donde ya se trabaja con presiones ajustadas como consecuencia de la presión que se da en el punto de entronque (cercana al límite inferior recomendado por los técnicos de la red de riego). Finalmente, en cuanto a los valores promedios cabe comentar que se encuentran comprendidos entre 40-50 m.c.a; sin embargo, a pesar de encontrarse dentro del intervalo recomendado por los técnicos de la instalación (30-60 m.c.a) no supone en este caso un buen funcionamiento de la red ya que existen puntos con sobrepresión en San Rafael Norte. Estos valores serían más representativos si se llevase a cabo la propuesta de "Colocación de válvulas reductoras de presión" en San Rafael Norte, ya que los valores de presión serían más homogéneos a lo largo de toda la red.

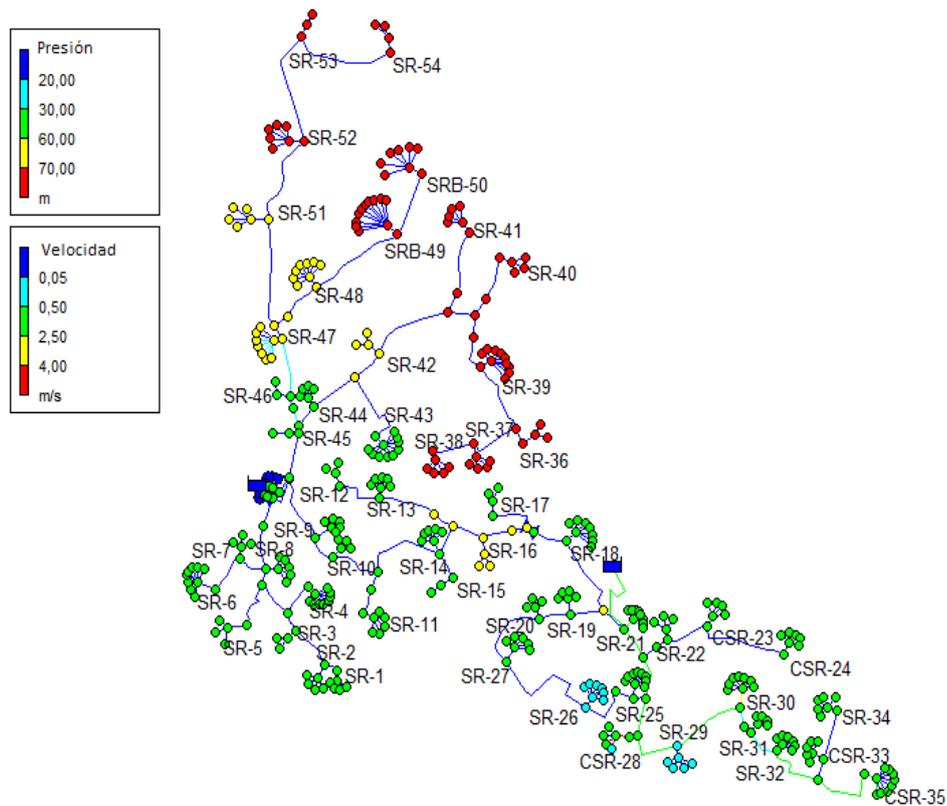
A continuación se presentará el diagrama de la red de San Rafael en las horas más críticas (15:00h y 23:00h), mostrando de forma orientativa a partir de colores asociados a determinados intervalos, el valor de las presiones y velocidades para cada nudo y línea de la red de alta presión:

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)



**Figura 29.** Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 15:00h. Fuente: Propia

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

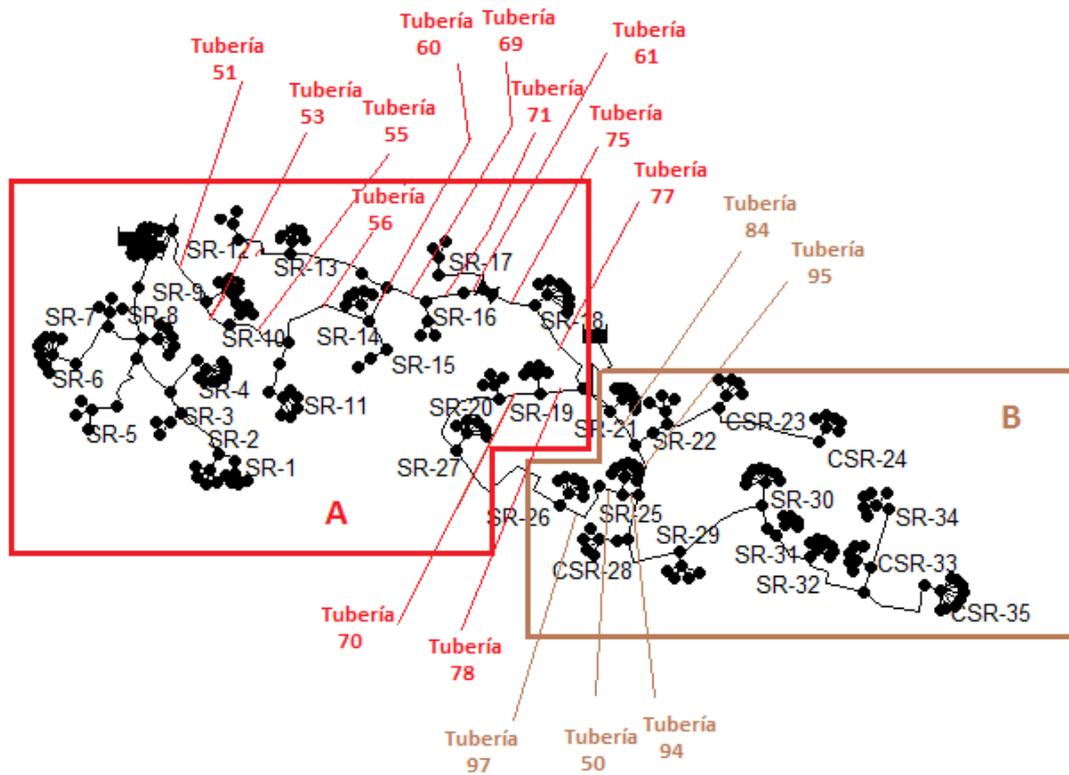


**Figura 30.** Diagrama general y orientativo sobre las presiones y velocidades en los distintos nudos y líneas que constituyen la red de San Rafael, obtenido a partir del modelo hidráulico y la simulación realizada de este mediante el software Epanet 2.0, para el día miércoles a las 23:00h. Fuente: Propia

Las figuras anteriores son una clara representación de los datos obtenidos de la simulación del modelo hidráulico realizado para esta propuesta. Como se puede observar y ya se ha comentado anteriormente, la zona de San Rafael Norte presenta sobrepresiones que podrían ser disminuidas gracias a la instalación de válvulas reductoras en la red, aumentando la eficiencia de la alternativa para la mejora del funcionamiento del riego en San Rafael planteada en este apartado. Por otro lado, cabe destacar el gran progreso en el este de la subred de San Rafael Sur donde incluso los hidrantes y tomas más problemáticos (hidrante 26, 28 y 29; y sus correspondientes tomas) no presentan presiones por debajo de los 20 m.c.a ni por encima de los 70 m.c.a, siendo la presión más baja de 22,33 m.c.a a las 20:00h en el hidrante multiusuario 29 y la más alta de 48,51 m.c.a a las 04:00h en el hidrante 24.

Por otro lado, esta alternativa solo ha afectado a la velocidad del agua en las tuberías de la zona A donde antes circulaba el agua destinada a abastecer las tomas de la nueva zona B; ahora regadas a partir de la unión con la red de Sagrada Familia. Además, también variará la velocidad de ciertas tuberías de la zona B respecto a la situación actual ya que el hidrante 27 se ha unido mediante una tubería a la zona A, reduciendo así el caudal que circulaba por las tuberías de dicha área.

A continuación, se mostrará una imagen con la localización de las distintas tuberías en las que varía la velocidad respecto a la situación inicial. Además, se podrá observar en el punto 5.2 del documento "Listados del Modelo" los nuevos valores de velocidad y caudal tras aplicar las medidas de mejora llevadas a cabo en este punto del proyecto:



**Figura 31.** Localización de las tuberías en las cuales varía la velocidad del agua al realizar la propuesta "Conexión con la red de Sagrada Familia". Fuente: Propia

Se puede concluir en base a los datos de velocidad obtenidos que no es necesario llevar a cabo una sustitución de las tuberías afectadas por la propuesta descrita en este apartado, u otra medida para aumentar la velocidad, ya que dichos valores cuando circula el agua por la tubería no son lo suficientemente bajos (son superiores a 0,05 m/s) como para justificar el coste de las obras necesarias para aumentar la velocidad en ellas. Sin embargo, si sería conveniente arreglar el problema de las velocidades excesivas tal y como se indica en la primera propuesta, para evitar la rotura de los elementos que constituyen la red y se mejore el comportamiento hidráulico de la red de riego de San Rafael.

## 7. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS

Para la selección de la propuesta con la que se pretenderá llevar a cabo la mejora en el funcionamiento del riego de la red de San Rafael, es necesario conocer el nivel de optimización y los efectos tanto positivos como negativos que provocan cada una de ellas sobre la instalación, así como los costes de ejecutarlas con el objetivo de tomar una decisión equilibrada entre el coste de inversión y el perfeccionamiento en el comportamiento hidráulico de la red.

Los efectos sobre el funcionamiento de la red de las diversas alternativas ya han sido explicados y mostrados en el apartado 6, de manera que en este punto se dará a conocer a partir de la tabla 33 el coste de llevar a cabo cada uno de ellas:

**Tabla 33.** Presupuesto base de licitación de cada una de las alternativas presentadas en este trabajo.  
Fuente: Propia

PROPUESTA	PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN
<b>Propuesta I:</b> Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro	1.132,33 €
<b>Propuesta II:</b> Colocación de Válvulas Reductoras de Presión (VRP)	22.948,61 €
<b>Propuesta III:</b> Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael	229.516,35 €
<b>Propuesta III óptima:</b> Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael	371.247,33 €
<b>Propuesta IV:</b> Conexión con la red de Sagrada Familia	178.138,29 €

La propuesta presupuestada como "III óptima" hace referencia a la opción de mejora desarrollada en el apartado 6.3, teniendo en cuenta además de la propia alternativa, la sustitución de las tuberías de la zona A en las cuales ha disminuido la velocidad como consecuencia de la división del caudal hacia la nueva línea.

El desarrollo realizado para calcular el presupuesto base de licitación de cada una de las alternativas se encuentra para las propuestas I, III, III (óptima) y IV en el anexo 6, mientras que en el documento de "Presupuestos" se puede visualizar el referido a la propuesta II ya que ha sido elegida como la alternativa más adecuada para optimizar la red de riego de San Rafael. Esta decisión radica en que los valores de presión y velocidad obtenidos de la simulación del

modelo hidráulico tras la colocación de las válvulas reductoras de presión son apropiados y muestran un correcto funcionamiento de la instalación, siendo incluso mejor que para el resto de propuestas de mayor coste. Además, no presenta efectos negativos sobre la velocidad y supone una menor molestia para los agricultores debido a que no se trata de una obra excesivamente grande, por lo que el tiempo de ejecución no es elevado. El único inconveniente que presenta es que la implantación de una válvula reductora de presión siempre implica una disipación de energía que previamente ha sido aportada, en este caso, por el grupo de bombeo del cabezal de San Rafael, suponiendo un gasto de energía inútil. Aún así, el no obtener unos resultados mejores por parte de las otras alternativas hace imposible justificar el gran esfuerzo económico que habría que realizar para llevar a cabo alguna otra opción.

Por otro lado, cabe decir que se ha seleccionado una propuesta que mejore la presión en las tomas, hidrantes y distintos nudos de la red porque los problemas generados por dicho parámetro son más significante y abundantes que los causados por la velocidad. Sin embargo, se podría realizar la sustitución por tuberías de mayor diámetros en las conducciones que presenten altas velocidades, dando lugar a la combinación de la propuesta I y II, la cual se traduciría en una mejora completa de la red sin que el presupuesto fuese muy elevado (como se puede observar en la tabla 33).

Para terminar, destacar que el siguiente paso sería llevar a cabo un estudio económico en profundidad basándose en la valoración económica realizada en este apartado e información como: Horas de funcionamiento totales de la instalación, precios de la energía eléctrica, etc. De manera que, se conozca el ahorro que suponen los cambios, la reducción de los costes energéticos, etc.

## 8. CONCLUSIONES

A partir del análisis de la red de San Rafael realizado en el presente trabajo fin de grado (TFG) mediante la elaboración de su modelo hidráulico y la simulación de este en Epanet 2.0, se ha podido observar los problemas de presión y velocidad que posee la red, al igual que la relación inversamente proporcional entre ambos parámetros definida ya en la ecuación de Bernoulli. Las zonas de la red con un peor funcionamiento se han detectado en prácticamente todo San Rafael Norte y el este de San Rafael Sur, donde no se alcanza el valor crítico mínimo o se sobrepasa el máximo de presión y velocidad (por encima de 70 m.c.a y por debajo de 20 m.c.a para la presión; y de 4 m/s y 0,05 m/s para la velocidad). En base a dicho estudio, se han planteado diversas alternativas destinadas a subsanar los problemas en el comportamiento hidráulico de la red de riego de San Rafael:

En primer lugar, se han eliminado los excesos de velocidad que presentaban algunas tuberías red-hidrante e hidrante-toma llevando a cabo la sustitución de dichas conducciones por otras de mayor diámetro, ya que ambos parámetros presentan una relación inversamente proporcional. Sin embargo, a pesar de que esta alternativa supone una mejora del comportamiento hidráulico de la red también se ha podido observar un pequeño aumento de la presión en los nudos de las tuberías remplazadas ya que disminuyen las pérdidas de carga (como la longitud de la tubería es pequeña no se han producido grandes variaciones de presión).

En segundo lugar en cuanto a la presión, se han planteado tres opciones de mejora enfocadas principalmente al norte de San Rafael y al este de San Rafael Sur, con las cuales se ha obtenido una disminución de la presión en aquellos nudos que presentaban sobrepresiones. Estas medidas han consistido en la implantación de válvulas reductoras en lugares estratégicos de la red que ajustan la presión al valor de consigna preestablecido; o en el cambio de la forma de riego del este de San Rafael Sur. Esta última medida en cambio, si presenta efectos negativos claros como consecuencia de la división del caudal, y por lo tanto del sobredimensionamiento de las tuberías afectadas que disminuye enormemente la velocidad.

A partir de todo lo comentado anteriormente se puede concluir que las propuestas planteadas mejoran en gran medida el comportamiento hidráulico, por lo que podrían llevarse a cabo cualquiera de ellas para optimizar el funcionamiento de la red de San Rafael. Por lo tanto, para la elección de la mejor alternativa va a ser determinante la valoración económica realizada para cada una de ellas. De esta manera, la propuesta finalmente seleccionada es la de implantación de válvulas reductoras de presión en la red ya que se trata de la alternativa más viable tanto a nivel de funcionamiento como económico; las grandes obras necesarias para llevar a cabo el cambio de riego en el este de San Rafael Sur dan lugar a un presupuesto mínimo de 178.138,29 € (conexión con la red de Sagrada Familia), mientras que la colocación de válvulas reductoras de presión afecta a toda la red y presenta un presupuesto base de licitación de 22.948,61 €.

Por otro lado, la realización del modelo hidráulico ha permitido analizar otros potenciales cambios en la red que no han sido planteados en este trabajo, como son: Reajuste de turnos, variación de trazados, ajustes en bombeo, etc.

Para finalizar, cabe destacar que se ha cumplido con el objetivo inicial de este proyecto ya que se han obtenidos diversas alternativas que mejoran el funcionamiento de la red en base al estudio detallado de su situación inicial, pero además, se ha conseguido fortalecer y asentar los conocimientos sobre la hidráulica en redes de riego, permitiendo llegar a la profundidad de una problemática real dada en una instalación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Cabrera, E., Espert, V., Garcia-Serra, J., Martinez, F., Andrés, M., y García, M. (2009). "Ingeniería Hidráulica Aplicada a los Sistemas de Distribucion de Agua". Universidad Politécnica de Valencia.

Casquero, G. (2016). "Evaluación y propuestas de mejora de la gestión energética del sistema de riego a presión del sector-IV del canal Júcar-Turia". Universidad Politécnica de Valencia.

Fuentes, J. L. (2003). "Técnicas de riego". Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Gómez, M. (2013). "Diseño de la red de suministro de agua a una población de 20000 habitantes y alta variación estacional". Universidad Politécnica de Valencia.

González, J. E. (2004). "Selección de temas de hidráulica". Universidad de La Laguna.

Guaita, F. (2013). "Estudio de propuestas de mejora con el programa Epanet 2.0 de la red hidráulica del sector 4 zona norte. cabezales de San Rafael y Sagrada familia. Tm de Picassent (Valencia)". Universidad Politécnica de Valencia.

Gurovich, L. A. (1985). "Fundamentos y diseño de sistemas de riego". Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Ingeniería de Fluidos. (2016). "Válvula Reductora de Presión". Disponible en la página web: <https://www.ingenieriadefluidos.com/valvula-reductora-de-presion>

Instituto Nacional de Estadística. (2017). "Encuesta sobre el uso del agua del sector agrario en Año 2015". Disponible en la página web: [http://www.ine.es/prensa/euasa\\_2015.pdf](http://www.ine.es/prensa/euasa_2015.pdf)

Martínez, F. (2001). "Epanet 2. Manual del usuario en Español". Traducción de la versión en inglés de Rossman, L. Environmental Protection Agency (EPA).

Martínez, F. (2006). "Els espais hidràulics de Picassent : l'expansió del regadiu durant els segles XVIII al XX". Ayuntamiento de Picassent.

Martínez, V., y Martín, B. (2014). "Antecedentes y problemática de la aplicación de agua marina desalinizada al riego agrícola". Universidad Politécnica de Cartagena

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2003). "Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural. Tomo 3, Análisis territoriales". Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Ministerio de Fomento, Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Agricultura, Industria, Comercio y Obras Públicas, Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, y Ministerio de la Vivienda. (2013). "Mapa oficial de carreteras: España, 2014". Ministerio de Fomento.

Montero, J. (1999). "Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario. Desarrollo del modelo de simulación de riego por arpersión, SIRIAS". Universidad de Castilla - La Mancha.

Nieto, J. (2015). "Manipulación y ensamblaje de tuberías". Ed: Paraninfo.

Palomino, K. (2009a). "Riego por aspersión". Ed: Starbook.

Palomino, K. (2009b). "Riego por goteo". Ed: Starbook.

Pascual, B. (2008). "Riegos de gravedad y a presión". Ed: Alfaomega.

Pérez, R. (1993). "Dimensionado óptimo de redes de distribución de agua ramificadas considerando los elementos de regulación". Universidad Politécnica de Valencia.

Rocamora, M. C., Abadía, R., Cámara, J. M., Melián, M. A., Puerto, H. y Ruiz, A. (2011). "Manual de auditorías energéticas en comunidades de regantes". Editorial Club Universitario

Ruiz, E. (2007). "Educatrónica: innovación en el aprendizaje de las ciencias y la tecnología". Ed: Ediciones Díaz de Santos.

Serra, E. (2016). "Tendencias futuras en la gestión de riegos modernizados y eficiencia energética. Caso práctico Canal Júcar-Turia". Universidad Politécnica de Valencia

Sierra, F. (1977). "El regadío redes, teoría, técnica y economía de los riegos". Traducción de la versión en francés de Poiree, M. y Ollier, C. Ed: EYROLLES

Soriano, A., y Pancorbo, F. J. (2012). "Suministro , distribución y evacuación interior de agua sanitaria". Ed: MARCOMBO

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

# **DOCUMENTO II: ANEJOS DE LA MEMORIA**

---

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

## **ÍNDICE DE LOS ANEJOS DE LA MEMORIA**

<b>ANEXO 1. FUNDAMENTOS DE REDES HIDRÁULICAS .....</b>	<b>1</b>
1.1. Ecuación de continuidad .....	1
1.2. Ecuación de Bernoulli .....	2
1.3. Pérdidas Hidráulicas .....	4
<b>ANEXO 2. TIPOS DE REDES .....</b>	<b>7</b>
<b>ANEXO 3. SOFTWARE EPANET 2.0 .....</b>	<b>10</b>
3.1. Interfaz de Epanet 2.0 .....	10
3.2. Elementos de Epanet 2.0.....	11
3.2.1. Componentes Físicos .....	11
3.2.2. Componentes No Físicos .....	13
<b>ANEXO 4. DATOS INICIALES DE LA RED .....</b>	<b>14</b>
4.1. Datos de Superficie y Demanda asociadas a cada Toma.....	14
4.2. Intervalos de Tiempo de Riego para cada Toma .....	21
4.3. Cotas de los Nudos y Depósito de San Rafael .....	29
4.4. Obtención de Diámetros y Longitudes de las Tuberías de la Red .....	34
4.5. Características y Curvas Motrices de las Bombas.....	41
<b>ANEXO 5. CÁLCULOS PARA LAS PROPUESTAS DE MEJORA.....</b>	<b>44</b>
5.1. Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael .....	44
5.1.1. Iteración para el Cálculo del Diámetro de la Nueva Tubería.....	44
5.2. Conexión con la red de Sagrada Familia.....	47
5.2.1. Iteración para el Cálculo del Diámetro de la Nueva Tubería.....	47
<b>ANEXO 6. PRESUPUESTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORA .....</b>	<b>50</b>
6.1. Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro .....	50
6.2. Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael .....	57

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

6.2.1. Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima).....	67
6.3. Conexión con la Red de Sagrada Familia .....	79

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla A.1.</b> Información de partida sobre la demanda y la superficie de cada una de las tomas que constituyen la red de San Rafael.....	15
<b>Tabla A.2.</b> Información inicial sobre los tiempos de riego de cada toma de la red de San Rafael asociados a los distintos días de la semana .....	22
<b>Tabla A.3.</b> Elevación de los nudos que constituyen el modelo hidráulico en Epanet 2.0 de la red de San Rafael, situada en el subsector norte del Sector 4, subzona margen izquierda del canal Júcar-Turía.....	29
<b>Tabla A.4.</b> Diámetros externos y sus respectivos espesores para diferentes valores de presión nominal en tuberías de PV .....	35
<b>Tabla A.5.</b> Valores de los diámetros y longitudes de las tuberías de la red de San Rafael, situada en el subsector norte del Sector 4, subzona margen izquierda del canal Júcar-Turía.....	36
<b>Tabla A.6.</b> Cuadro de precios de mano de obra para la alternativa "Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro" .....	50
<b>Tabla A.7.</b> Cuadro de precios de maquinaria para la alternativa "Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro" .....	51
<b>Tabla A.8.</b> Cuadro de precios de materiales para la alternativa "Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro". .....	51
<b>Tabla A.9.</b> Cuadro de precios para la propuesta "Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro" .....	52
<b>Tabla A.10.</b> Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación para la propuesta "Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro".....	56
<b>Tabla A.11.</b> Cuadro de precios de mano de obra para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael".....	57
<b>Tabla A.12.</b> Cuadro de precios de maquinaria para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael" .....	58
<b>Tabla A.13.</b> Cuadro de precios de materiales para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael" .....	58
<b>Tabla A.14.</b> Cuadro de precios para la propuesta "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael" .....	60
<b>Tabla A.15.</b> Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación para la propuesta "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael". .....	66

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

<b>Tabla A.16.</b> Cuadro de precios de mano de obra para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)" .....	67
<b>Tabla A.17.</b> Cuadro de precios de maquinaria para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)" .....	68
<b>Tabla A.18.</b> Cuadro de precios de material para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)" .....	69
<b>Tabla A.19.</b> Cuadro de precios para la propuesta "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)" .....	71
<b>Tabla A.20.</b> Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación para la propuesta "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)" .....	78
<b>Tabla A.21.</b> Cuadro de precios de mano de obra para la alternativa "Conexión con la Red de Sagrada Familia" .....	79
<b>Tabla A.22.</b> Cuadro de precios de maquinaria para la alternativa "Conexión con la Red de Sagrada Familia" .....	80
<b>Tabla A.23.</b> Cuadro de precios de material para la alternativa "Conexión con la Red de Sagrada Familia" .....	80
<b>Tabla A.24.</b> Cuadro de precios para la propuesta "Conexión con la Red de Sagrada Familia" .....	81
<b>Tabla A.25.</b> Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación para la propuesta "Conexión con la Red de Sagrada Familia" .....	85

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura A.1.</b> Representación gráfica de la ecuación de continuidad en conducciones.....	1
<b>Figura A.2.</b> Esquema general de una red ramificada constituida por una arteria principal y diferentes distribuidores y ramales .....	8
<b>Figura A.3.</b> Esquema general de una red mallada constituida por una arteria principal, diversos distribuidores y ramales, y cerrada por los extremos.....	9
<b>Figura A.4.</b> Esquema general de una red mixta formada por la combinación de una red ramificada y otra mallada. ....	9
<b>Figura A.5.</b> Ventana Principal del software Epanet 2.0 con las diversas herramientas que presenta para la elaboración del modelo .....	10
<b>Figura A.6.</b> Ficha Técnica de las bombas que forman el grupo de bombeo del cabezal de San Rafael para la subred de San Rafael Norte.....	41
<b>Figura A.7.</b> Curva motriz asociada a las dos bombas en paralelo que constituyen el sistema de impulsión para San Rafael Norte en el cabezal de San Rafael .....	42
<b>Figura A.8.</b> Ficha Técnica de las bombas que forman el grupo de bombeo del cabezal de San Rafael para la subred de San Rafael Sur.....	43
<b>Figura A.9.</b> Curva motriz asociada a las dos bombas en paralelo que constituyen el sistema de impulsión para San Rafael Sur en el cabezal de San Rafael .....	43
<b>Figura A.10.</b> Simulación de la propuesta "Desconexión de una bomba del cabezal de San Rafael" para las 00:00h, con un diámetro de 299,6 mm para la tubería de riego por gravedad que une el embalse con la parte este de San Rafael Sur (nudo del hidrante 18) .....	45
<b>Figura A.11.</b> Simulación de la propuesta "Desconexión de una bomba del cabezal de San Rafael" para las 00:00h, con un diámetro de 380,4 mm para la tubería de riego por gravedad que une el embalse con la parte este de San Rafael Sur (nudo del hidrante 18) .....	46
<b>Figura A.12.</b> Simulación de la propuesta "Conexión con la red de Sagrada Familia" para las 00:00h, con un diámetro de 380,4 mm para la tubería de riego por gravedad que une la conducción de la red de Sagrada Familia representada mediante un embalse con la parte este de San Rafael Sur (nudo del hidrante 21) .....	48
<b>Figura A.13.</b> Simulación de la propuesta "Conexión con la red de Sagrada Familia" para las 00:00h, con un diámetro de 299,6 mm para la tubería de riego por gravedad que une la conducción de la red de Sagrada Familia representada mediante un embalse con la parte este de San Rafael Sur (nudo del hidrante 21) .....	49

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

## ANEXO 1. FUNDAMENTOS DE REDES HIDRÁULICAS

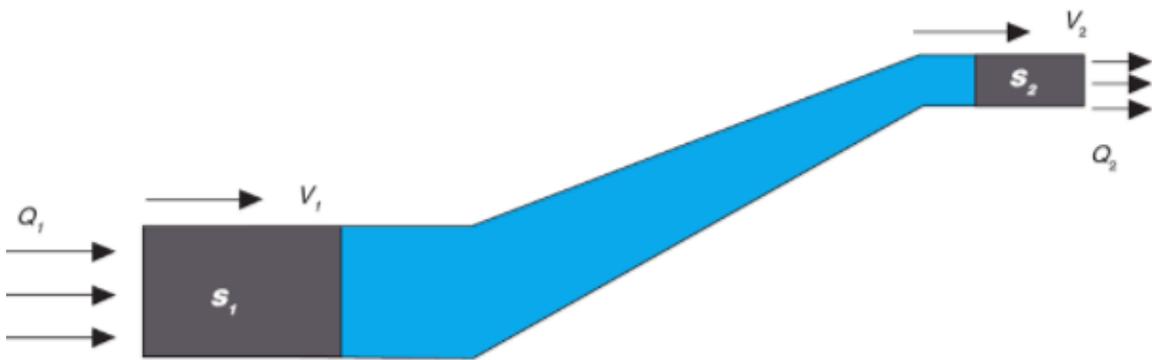
Las redes de distribución de agua a presión se encargan de conducir el agua a través de numerosas tuberías desde los puntos de abastecimiento hasta los puntos de consumo. Los flujos que circulan por ellas se caracterizan a diferencia del flujo en lámina libre, en que el fluido ocupa totalmente la conducción, sin entrar en contacto en ningún momento con el medio exterior, a excepción del agua de los depósitos que constituyen la red y al ser vertidos a través de las distintas tomas.

Están formadas por diversos elementos con distintas funciones que permiten el transporte del fluido, al igual que su control, regulación y medición. Estos son: Tuberías, bombas, depósitos, etc.

Para el estudio de estas instalaciones se emplea habitualmente la ecuación de Bernoulli y la ecuación de continuidad:

### 1.1. Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad o de conservación de la masa es muy utilizada en el análisis y estudio de redes de distribución de agua. Se basa en la premisa de que el caudal no varía a lo largo de una conducción a pesar de que existan variaciones en la sección de una tubería, debido a que se trata de un fluido incomprensible en un régimen permanente (Nieto, 2015).



**Figura A.1.** Representación gráfica de la ecuación de continuidad en conducciones. Fuente: (Nieto, 2015)

En primer lugar el caudal de fluido que circula por una tubería se define como:

$$Q = v * A \quad (\text{ec.5})$$

Siendo:

-Q: Caudal de fluido que circula por la conducción ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

-A: Área de la conducción ( $\text{m}^2$ ).

-v: Velocidad del fluido ( $\text{m}/\text{s}$ ).

Por lo tanto la ecuación de continuidad:

$$Q_1 = Q_2 \quad v_1 * A_1 = v_2 * A_2 \quad (\text{ec.6})$$

De esta forma cómo se puede ver en la imagen, si existe un estrechamiento en el conducto ( $A_1 > A_2$ ), la velocidad aumenta ( $v_2 > v_1$ ) para que el caudal se mantenga constante, y viceversa.

## 1.2. Ecuación de Bernoulli

Daniel Bernoulli formuló en su libro Hidrodinámica (1738) la ecuación de conservación de la energía para un régimen permanente y un fluido ideal (sin rozamiento e incompresible) que circula por un conducto cerrado.

Se denomina término de Bernoulli a la suma de todas las formas energéticas simples que tiene el fluido a lo largo de la circulación por el tubo de corriente:

$$H_T = B = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (\text{ec.7})$$

Siendo:

- z: Cota geométrica. Es el término de la energía potencial o de gravedad del fluido (m).
- P/γ: Altura de presión. Representa la energía de presión del flujo. Normalmente se toma el valor de presión manométrica, siendo la presión atmosférica nula.
- v<sup>2</sup>/2g: Altura cinética. Es el término de energía cinética del fluido.
- P: Presión en el punto seleccionado de la instalación (Pa≡N/m<sup>2</sup>).
- v: Velocidad del fluido (m/s).
- γ: Peso específico del fluido (9810 N/m<sup>3</sup> para el agua).
- g: Aceleración gravitacional (9,81 m/s<sup>2</sup>).

El análisis dimensional de la ecuación anterior es:

$$\frac{[Energía]}{[Peso]} = \frac{[F] * [L]}{[F]} = [L]$$

Se puede observar que la ecuación posee unidades de longitud, pero cabe destacar que esos metros no proceden de una longitud física, sino de energía por unidad de peso, por lo que se le denomina metros de columna de fluido (m.c.f). Para el caso de redes de distribución de aguas son metros de columna de agua (m.c.a):

La altura piezométrica es la suma de los términos de cota y altura de presión. Dicho término junto con la altura cinética da lugar a la altura total que posee el fluido por el hecho de circular por una conducción. Según la ecuación de conservación de la energía es esta altura total la que debe conservarse a lo largo de toda la tubería:

$$B_1 = B_2 \quad z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad (\text{ec.8})$$

Finalmente, para poder estudiar la energía de un fluido en el interior de una red de distribución de agua a presión se debe introducir en la ecuación de Bernoulli el término de pérdidas de carga en tuberías ( $h_{12}$ ) (ver apartado 1.3) y el aporte de energía realizado por las

bombas ( $H_B$ ). Por lo que la ecuación anterior queda de la siguiente forma (Gómez, 2013; Pérez, 1993):

$$B_1 + H_{BOMBA} = B_2 + h_{12} \quad z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + H_B = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{12} \quad (\text{ec.2})$$

### 1.3. Pérdidas Hidráulicas

El término " $h_{12}$ " de la ecuación 2 hace referencia a la pérdida de carga de una conducción, y viene determinada por las pérdidas de carga por fricción o continuas ( $h_f$ ) que representa la pérdida de energía del fluido debido al rozamiento de las partículas en su trayecto, y las pérdidas locales o menores ( $h_m$ ) que se producen en lugares concretos de la instalación, como son por ejemplo: Codos, válvulas, etc. Todo ello provoca que sea necesario la instalación de equipos de bombeo que aumenten la energía del flujo, compensen las pérdidas producidas a lo largo de toda la instalación y permitan el transporte del fluido a los diversos puntos de consumo.

Las pérdidas locales o menores pueden ser en ciertas situaciones incluso mayores que las pérdidas por fricción. Este tipo de pérdidas se puede calcular como un sumatorio de las pérdidas generadas por cada uno de los elementos que disminuyen la energía en el tramo a estudiar:

$$\sum_{i=1}^n h_{mi} \quad h_m = k \frac{v^2}{2g} \quad (\text{ec.9})$$

Siendo:

-k: Coeficiente de pérdidas (varía dependiendo del elemento, adimensional).

-v: velocidad del fluido (m/s).

-g: Aceleración gravitacional (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Las pérdidas de carga por fricción se calculan también a partir del sumatorio de las pérdidas producidas por el rozamiento en las distintas tuberías del tramo a estudiar. Se pueden definir a partir de diversas ecuaciones proporcionadas por distintos autores. Estas son por ejemplo: La ecuación de Hazen-Williams, la de Manning-Strickler-Gaukler, etc. La ecuación que se ha empleado en este trabajo para modelar las pérdidas por fricción es la de Darcy-Weisbach, simplificándose para el caso de una sección circular:

$$\sum_{i=1}^n h_{fi} \quad h_f = f \frac{L * v^2}{D * 2 * g} = \frac{8 * f * L}{\pi^2 * g * D^5} * Q^2 \quad (\text{ec.4})$$

Donde:

- f: Factor de fricción (adimensional).
- L: Longitud de la tubería (m).
- g: Aceleración gravitacional ( 9,81 m/s<sup>2</sup>).
- D: Diámetro interno de la tubería (m).
- Q: Caudal de fluido que circula por la tubería (m<sup>3</sup>/s).

Como se puede observar depende tanto de la geometría de la conducción, como de la velocidad del flujo y el factor de fricción. Además, presenta unidades de m.c.f (en el caso en el que el fluido sea agua, m.c.a) (Gómez, 2013).

El factor de fricción es función de los parámetros adimensionales rugosidad relativa y Reynols. Las fórmulas para calcular ambos parámetros son:

$$\text{Re} = \frac{v * D * \rho}{\mu} \quad (\text{ec.10})$$

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (\text{ec.11})$$

Donde:

- D: Diámetro interno de la tubería (m).
- $\rho$ : Densidad del fluido (para el agua 1000 kg/m<sup>3</sup>).
- $\mu$ : Viscosidad del fluido (para el agua 1\*10<sup>-3</sup> N\*s/m<sup>2</sup>).
- v: Velocidad del fluido (m/s).
- $\varepsilon$ : Rugosidad de la tubería (mm).

A partir de dichas variables existen numerosas alternativas para llevar a cabo el cálculo del factor de fricción dependiendo del valor del Reynols, como es el Ábaco de Moody (basado en la ecuación de Colebrook-White) o diversas ecuaciones:

- Hagen- Poiseuille

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (\text{ec.12})$$

- Re: Número de Reynolds (adimensional).
- Rango de utilización:  $\text{Re} < 2000$  (régimen laminar).

- Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log\left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}}\right) \quad (\text{ec.13})$$

- Re: Número de Reynolds (adimensional).
- $\varepsilon_r$ : Rugosidad relativa de la tubería (adimensional).
- Rango de utilización:  $\text{Re} > 4000$  (régimen turbulento).
- Requiere de iteraciones para llevar a cabo el cálculo del factor de fricción.

- Swamee-Jain

$$f = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}}\right)\right]^2} \quad (\text{ec.14})$$

- Re: Número de Reynolds (adimensional).
- $\varepsilon_r$ : Rugosidad relativa de la tubería (adimensional).
- Rango de utilización:  $10^{-6} < \varepsilon_r < 10^{-2}$  //  $10^4 < \text{Re} < 10^8$  (régimen turbulento).

Otra forma de definir la pérdida de carga por fricción es a partir del concepto de pendiente hidráulica o pérdida de carga unitaria:

$$h_f = J * L \text{ (ec.15)}$$

Siendo:

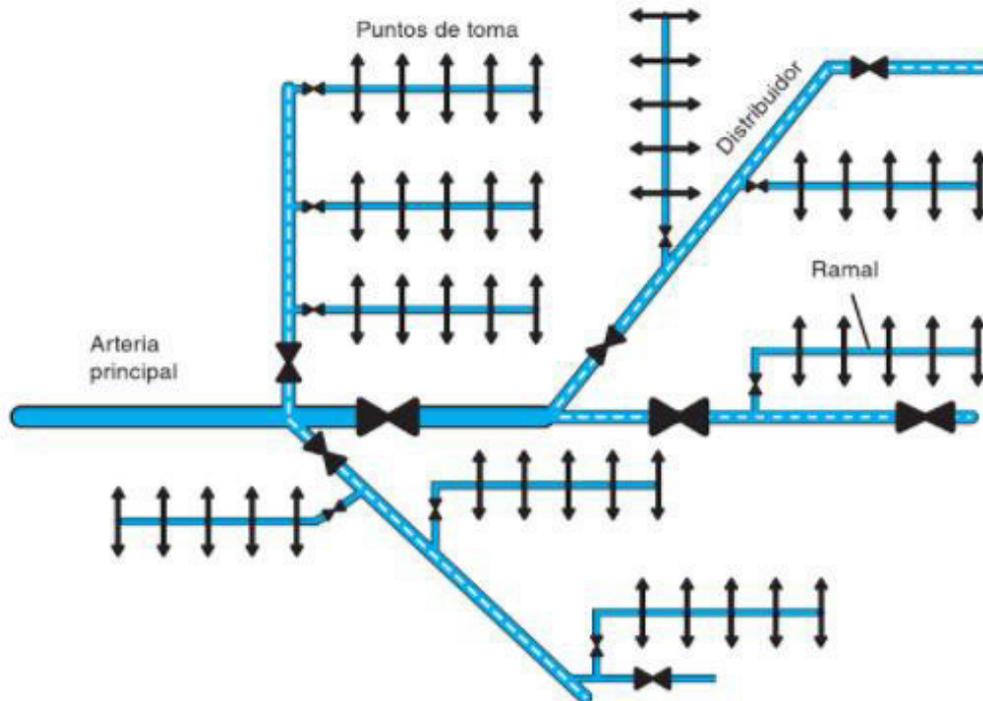
-J: Pérdida de carga unitaria (m.c.a/m).

-L: Longitud de la tubería (m).

## ANEXO 2. TIPOS DE REDES

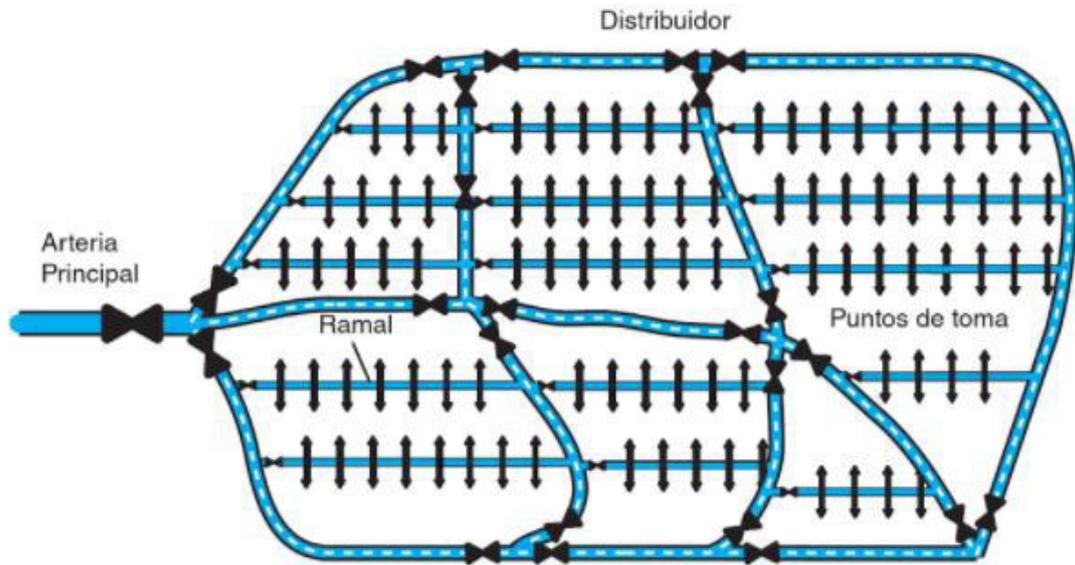
Una red es un sistema de tuberías conectadas entre sí con diversas entradas y salidas, que dan lugar a instalaciones ramificadas, malladas o mixtas:

- Redes ramificadas: Son aquellas en las que existe una arteria principal que va ramificándose, circulando el caudal a lo largo de la red en un solo sentido. Es decir, el fluido tiene un único camino para llegar desde el punto de suministro a los distintos nudos. Presenta diversas ventajas como son un simple diseño y un menor coste que las redes malladas ya que se utiliza el mínimo número de metros lineales de tubería posible. A pesar de esto, pueden existir problemas de estancamiento de agua en los nudos finales y en caso de avería de una tubería, se imposibilita el suministro aguas abajo de la rotura. Se suelen utilizar en redes de riego, pequeñas urbanizaciones, instalaciones industriales, etc.



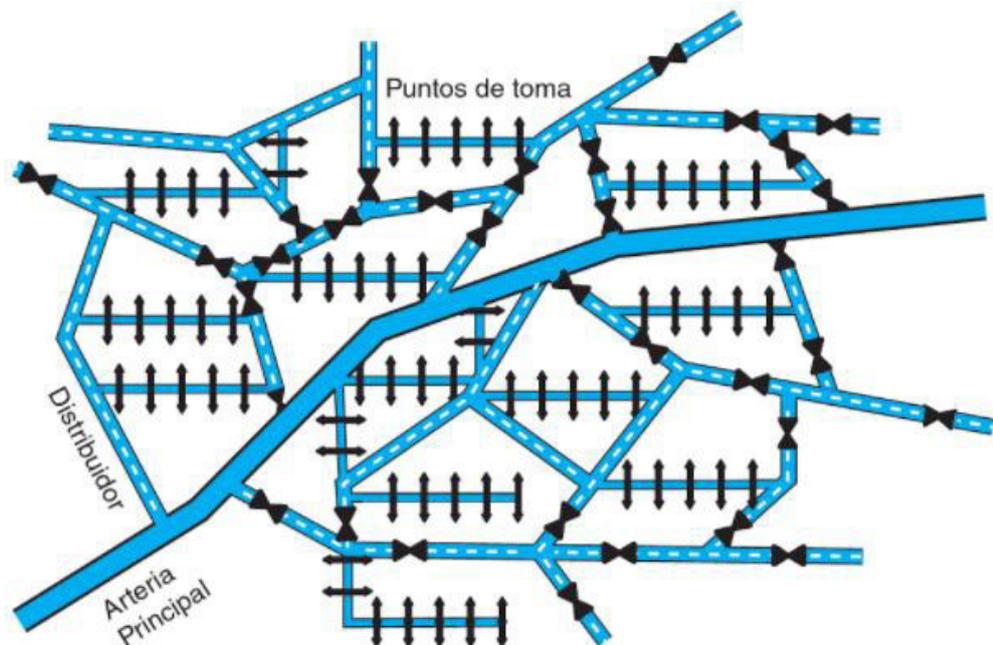
**Figura A.2.** Esquema general de una red ramificada constituida por una arteria principal y diferentes distribuidores y ramales. Fuente: Nieto (2015)

- Redes malladas: Se trata de una red ramificada que se cierra por los extremos, permitiendo la circulación de agua en cualquier sentido y el suministro a los puntos de la red por varios caminos, evitando que una avería suponga dejar sin servicio a la zona de la red que se encuentre aguas abajo de esta. Por lo que se da lugar a un aumento de la seguridad de suministro y disminuye los problemas de estanqueidad ya que el agua se encuentra en continuo movimiento. Todo esto hace necesario un diseño más complejo que las redes ramificadas, por lo que los costes de instalación aumentan. Se utilizan en sistemas de abastecimientos de ciudades y pueblos.



**Figura A.3.** Esquema general de una red mallada constituida por una arteria principal, diversos distribuidores y ramales, y cerrada por los extremos. Fuente: Nieto (2015)

- **Redes mixtas:** Es una combinación de los dos tipos anteriores. Por lo que se da lugar a sistemas que poseen ventajas e inconvenientes tanto de las redes malladas, como ramificadas (González, 2004).



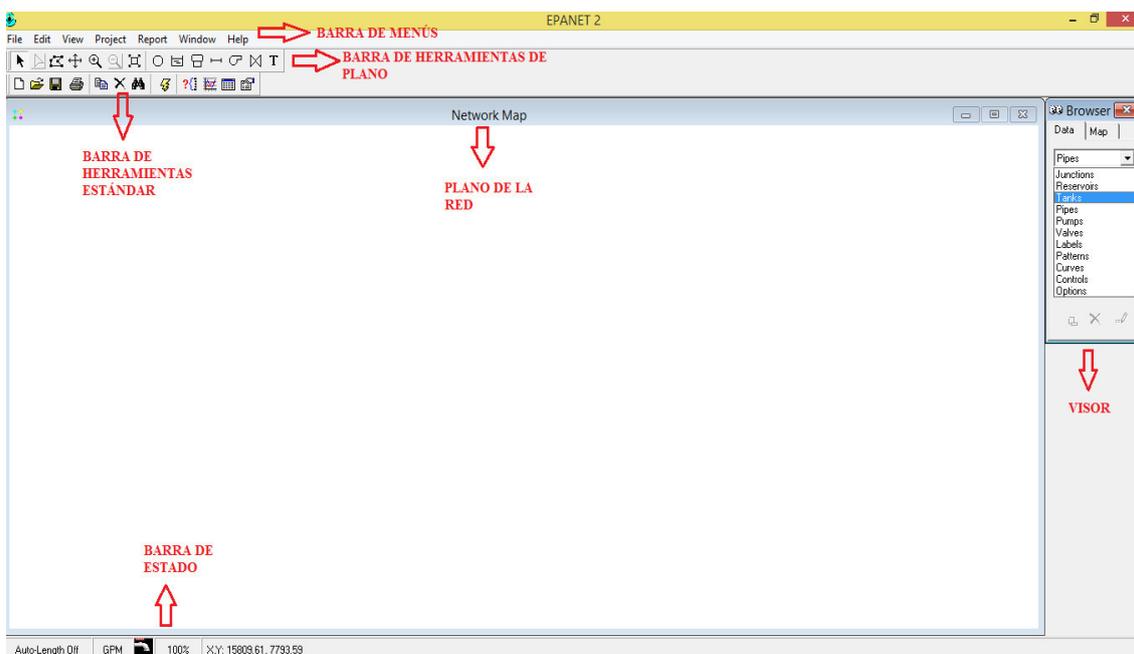
**Figura A.4.** Esquema general de una red mixta formada por la combinación de una red ramificada y otra mallada. Fuente: Nieto (2015)

## ANEXO 3. SOFTWARE EPANET 2.0

### 3.1. Interfaz de Epanet 2.0

El interfaz de un programa es el grupo de elementos digitales a partir de los cuales el usuario puede trabajar y utilizar las prestaciones de dicho software. Es decir, es el marco electrónico en el que se sitúan las distintas barras de herramientas, menús, etc., que permiten mandar una orden al programa y que esta sea entendida finalmente por la computadora (Ruiz, 2007).

La ventana principal del programa Epanet 2.0 es la siguiente:



**Figura A.5.** Ventana Principal del software Epanet 2.0 con las diversas herramientas que presenta para la elaboración del modelo. Fuente: Propia

En ella se pueden distinguir diversos componentes como son (F. Martínez, 2001):

- Plano de la red: Lugar donde se realizará el modelo de la red a estudiar.
- Barra de herramientas estándar: Posee los populares comandos de Windows, y los necesarios para ejecutar los cálculos y dar lugar a los resultados.

- Visor: Presenta todos los elementos introducidos en el modelo de la red, así como la información de los parámetros necesarios para la correcta definición de cada uno de ellos. Estos pueden ser: Diámetros, curvas características, cotas, etc.
- Barra de herramienta de plano: Incluye los objetos que modelan a las tuberías, válvulas, bombas, etc., para la representación digital, así como las herramientas para modificar el nivel de zoom.
- Barra de Menús: Contiene los menús necesarios para el cambio de unidades y de las propiedades del modelo, visualización de los resultados, etc.
- Barra de Estado: Permite visualizar información complementaria: coordenadas del cursor, unidades, etc.

## 3.2. Elementos de Epanet 2.0

Para confeccionar el modelo de la red de distribución de agua se utilizan numerosos elementos que deberán aparecer en el esquema digital de la red. Estos pueden ser componentes físicos o no físicos.

### 3.2.1. Componentes Físicos

Se muestran en la barra de herramientas del programa, situada en la parte superior (F. Martínez, 2001):

- Nudos de caudal: Son los puntos de entrada y salida de caudal, uniones entre las tuberías o simplemente puntos de paso.

Para que queden definidos es necesario introducirles la cota, la demanda y la calidad inicial del agua (si se desea realizar el modelo de calidad del agua). Por otro lado, se obtendrá como resultado la altura piezométrica, la presión y la calidad del agua.

En Epanet 2.0 se puede encontrar en la barra de herramientas, representado por el siguiente icono: 

- Embalses: Son nudos que representan una alimentación externa, de capacidad ilimitada, o un sumidero de caudal. Se emplean para simbolizar lagos, acuíferos, captaciones de ríos o puntos de entrada a otros subsistemas o de contaminantes.

Para que queden definidos hay que asignarles la altura piezométrica y la calidad del agua (si se desea realizar un análisis de calidad). En cambio los resultados obtenidos de este elemento son nulos debido a que se encuentra aislado al funcionamiento de la red.

El icono que representa al embalse en Epanet 2.0 es: 

- **Depósitos:** Los depósitos son parecidos a los embalses pero poseen una capacidad limitada y esta puede variar con el tiempo.

La información esencial para un depósito es: La cota de solera, el diámetro, la calidad inicial del agua (si se desea realizar el modelo de calidad del agua) y el nivel de agua inicial, máximo y mínimo. Obteniendo como resultados posteriormente la altura piezométrica y la calidad del agua

El símbolo en Epanet 2.0 es: 

- **Tuberías:** Vienen representadas por líneas que permiten circular el agua de un nudo a otro. Dicho transporte siempre se produce del nodo de mayor altura piezométrica al de menor, a excepción de que exista una bomba. Además, Epanet siempre considera que se trata de un flujo a presión (tubería totalmente llena).

Los parámetros de una tubería son: Diámetro, nudo inicial y final, longitud, rugosidad y su estado (abierta, cerrada, o con válvula de retención). Si se desea realizar el modelo de calidad del agua será necesario además el coeficiente de reacción en el medio y en la pared. Se obtiene como resultado el caudal de circulación, velocidad de flujo, velocidad media de reacción, calidad media del agua, pérdidas de carga y el factor de fricción para la fórmula de Darcy-Weisbach.

Las pérdidas de carga que se producen en la tubería pueden ser calculadas de tres formas: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning.

El icono que representa a las tuberías en Epanet 2.0 es: 

- **Bombas:** Transmiten energía al fluido aumentando su altura piezométrica.

Los datos necesarios para que este elemento quede definido completamente es la curva característica, una curva de modulación de la velocidad relativa o introduciendo la potencia, junto con sus nudos de impulsión y aspiración. Además, solo permite un único sentido de circulación del fluido y se puede apagar o encender en determinados tiempos preestablecidos, o si se cumplen determinadas condiciones en la red a lo largo de la simulación.

El incremento de altura vinculado al fluido será el resultado obtenido de la simulación de una bomba. Por otra parte, Epanet puede facilitar información sobre el consumo

energético y el coste, si se le asocia una curva de rendimientos y de modulación de los costes energéticos.

En Epanet 2.0 tiene asociado el siguiente icono: 

- **Válvulas:** Acotan el valor de caudal o presión en un punto específico de la red. Es necesario asociarle para su correcto funcionamiento: los nudos aguas arriba y aguas abajo, diámetro, estado (abierta, cerrada, etc) y la consigna. Obteniendo así como resultado el caudal de paso y la pérdida de carga.

Existen diferente tipos de válvulas en Epanet:

-*Válvulas Reductoras de Presión (VRP):* Acotan la presión en el nudo aguas abajo de la válvula.

-*Válvulas Sostenedoras de Presión (VSP):* Mantienen la presión en el nudo aguas arriba de la válvula.

-*Válvulas de Rotura de Carga (VRC):* Marcan el dato de la caída de presión a través de la válvula. Son bidireccionales.

-*Válvula de Control de Caudal (VCQ):* Mediante un valor preestablecido del caudal que circula a través de la válvula limitan dicho parámetro.

-*Válvulas de Regulación (VRG):* Refleja una válvula parcialmente cerrada, cuyo funcionamiento queda determinado por el coeficiente de pérdidas. Son bidireccionales.

-*Válvulas de Propósito General (VPG):* Permite que el usuario aporte la relación pérdida-caudal, a diferencia del resto de válvulas donde viene dada a partir de la ecuación de pérdidas.

Finalmente, en Epanet 2.0 se representa mediante el siguiente símbolo: 

### 3.2.2. Componentes No Físicos

- **Curvas de comportamiento:** Representación que muestra la relación entre dos parámetros. Varios elementos físicos pueden compartir una misma curva.

Existen 4 tipos de curvas en Epanet:

-*Curvas Características:* Muestra la relación entre la altura aportada al fluido y el caudal que circula, a una determinada velocidad nominal de giro. Se utilizan en las bombas.

-*Curvas de Rendimiento*: Refleja la relación entre el rendimiento y el caudal de paso. Se emplea en las bombas para llevar a cabo el cálculo energético.

-*Curvas de Cubicación*: Vincula el volumen de agua almacenado con el nivel de agua. Se utiliza en depósitos.

-*Curvas de Pérdidas*: Aporta la relación entre la pérdida de carga y el caudal que circula. Forma parte de las válvulas de propósito general.

- Curvas de Modulación: Permiten indicar la variación de un parámetro con el tiempo, como puede ser: La demanda en nudos, velocidad de giro de las bombas, etc.
- Leyes de Control: Son ordenes que marcan el modo de operación de la red durante la simulación. Se pueden clasificar en:

-*Leyes de Control Simples*: Modifican el parámetro de consigna dependiendo de la presión del nudo, el momento de la simulación, la hora del día o el nivel del depósito.

-*Leyes de Control Basadas en Reglas*: Imponen un valor determinado a un parámetro ante una consecución de situaciones (F. Martínez, 2001).

## **ANEXO 4. DATOS INICIALES DE LA RED**

En este apartado se puede observar los datos de partida proporcionados por los técnicos del Sector 4 de Picassent, así como los cálculos necesarios para obtener los parámetros que permitan definir los elementos del modelo hidráulico de la red de San Rafael, que se simulará para llevar a cabo el análisis de la situación actual.

### **4.1. Datos de Superficie y Demanda asociadas a cada Toma**

En la siguiente tabla (tabla A.1) se puede visualizar información proporcionada por los técnicos de la comunidad de regantes sobre la superficie de cada parcela de cultivo asociada a los diferentes usuarios que constituyen la red de riego. En base a la superficie del terreno que se debe regar, cada una de las toma posee una demanda determinada que ha sido calculada de la siguiente forma:

Mediante los datos de superficie se podrá calcular la demanda de cada toma a partir del valor promedio aportado por los técnicos de la comunidad de regantes de la dotación de agua realizada por la red de riego de San Rafael en función de la superficie de las distintas parcelas,

que ha sido calculado a partir de la media de goteros por superficie que existen en los terrenos y el caudal de cada uno de ellos. Dicho valor es de 1,25 m<sup>3</sup>/haneg h

La hanegada es una unidad de superficie: 1 hanegada ≡ 10.000 m<sup>2</sup>

La ecuación sería:

$$Demanda(m^3 / h) = q(m^3 / hanegh) * Sup(haneg) \text{ (ec.16)}$$

Sustituyendo todos los datos en la ecuación 15 excepto la superficie:

$$Demanda(m^3 / h) = 1,25m^3 / hanegh * \frac{12haneg}{10000m^2} * Sup(m^2)$$

Para introducir el dato de demanda a cada una de las tomas en Epanet, es necesario cambiar las unidades de la ecuación 15 de m<sup>3</sup>/ h a l/s:

$$Demanda(l / s) = Demanda(m^3 / h) * \frac{1000l}{1m^3} * \frac{1h}{3600s} \text{ (ec.17)}$$

Finalmente los datos obtenidos son:

**Tabla A.1.** Información de partida sobre la demanda y la superficie de cada una de las tomas que constituyen la red de San Rafael. Fuente: Propia

Cliente	Zona-hidrante-contador (Toma)	m2	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Caudal (l/s)
USUARIO 1	30301002	4.202	6,30	1,75
USUARIO 2	30301003	9.400	14,10	3,92
USUARIO 3	30301004	3.822	5,73	1,59
USUARIO 4	30301005	38.110	57,17	15,88
USUARIO 5	30302002	7.500	11,25	3,13
USUARIO 6	30302003	15.710	23,57	6,55
USUARIO 7	30302004	6.847	10,27	2,85
USUARIO 8	30302008	3.615	5,42	1,51

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

USUARIO 9	30303004	960	1,44	0,40
USUARIO 10	30303005	1.115	1,67	0,46
USUARIO 11	30304001	2.737	4,11	1,14
USUARIO 12	30304003	1.820	2,73	0,76
USUARIO 13	30304004	1.868	2,80	0,78
USUARIO 14	30304006	1.803	2,70	0,75
USUARIO 15	30304007	8.645	12,97	3,60
USUARIO 16	30304008	8.645	12,97	3,60
USUARIO 17	30304009	13.037	19,56	5,43
USUARIO 18	30304011	1.301	1,95	0,54
USUARIO 19	30305001	831	1,25	0,35
USUARIO 20	30305003	4.720	7,08	1,97
USUARIO 21	30305005	5.920	8,88	2,47
USUARIO 22	30306001	4.687	7,03	1,95
USUARIO 23	30306002	4.949	7,42	2,06
USUARIO 24	30306004	3.990	5,99	1,66
USUARIO 25	30306005	2.550	3,83	1,06
USUARIO 26	30306006	1.835	2,75	0,76
USUARIO 27	30306007	5.248	7,87	2,19
USUARIO 28	30306009	3.643	5,46	1,52
USUARIO 29	30306010	5.915	8,87	2,46
USUARIO 30	30307001	21.297	31,95	8,87
USUARIO 31	30307003	41.092	61,64	17,12
USUARIO 32	30307006	30.763	46,14	12,82
USUARIO 33	30308002	4.481	6,72	1,87
USUARIO 34	30308003	21.496	32,24	8,96
USUARIO 35	30308005	2.927	4,39	1,22
USUARIO 36	30308007	7.771	11,66	3,24
USUARIO 37	30308008	7.771	11,66	3,24
USUARIO 38	30309001	6.318	9,48	2,63
USUARIO 39	30309003	3.430	5,15	1,43
USUARIO 40	30309005	7.525	11,29	3,14
USUARIO 41	30309006	6.270	9,41	2,61
USUARIO 42	30309007	12.389	18,58	5,16
USUARIO 43	30310002	11.717	17,58	4,88
USUARIO 44	30310004	2.164	3,25	0,90
USUARIO 45	30310005	1.970	2,96	0,82
USUARIO 46	30311001	3.407	5,11	1,42
USUARIO 47	30311002	3.740	5,61	1,56
USUARIO 48	30311003	4.400	6,60	1,83
USUARIO 49	30311004	3.258	4,89	1,36
USUARIO 50	30311006	3.945	5,92	1,64

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

USUARIO 51	30312001	41.880	62,82	17,45
USUARIO 52	30312005	6.740	10,11	2,81
USUARIO 53	30313003	4.602	6,90	1,92
USUARIO 54	30313004	4.810	7,22	2,00
USUARIO 55	30313006	15.743	23,61	6,56
USUARIO 56	30313007	8.520	12,78	3,55
USUARIO 57	30313008	15.742	23,61	6,56
USUARIO 58	30314001	1.665	2,50	0,69
USUARIO 59	30314003	6.300	9,45	2,63
USUARIO 60	30314004	4.070	6,11	1,70
USUARIO 61	30314005	8.630	12,95	3,60
USUARIO 62	30314006	3.226	4,84	1,34
USUARIO 63	30315003	6.280	9,42	2,62
USUARIO 64	30316003	8.942	13,41	3,73
USUARIO 65	30316004	5.410	8,12	2,25
USUARIO 66	30317003	5.517	8,28	2,30
USUARIO 67	30317007	4.767	7,15	1,99
USUARIO 68	30318001	4.075	6,11	1,70
USUARIO 69	30318002	11.125	16,69	4,64
USUARIO 70	30318004	2.533	3,80	1,06
USUARIO 71	30318006	2.700	4,05	1,13
USUARIO 72	30318007	5.958	8,94	2,48
USUARIO 73	30318008	3.633	5,45	1,51
USUARIO 74	30318009	9.867	14,80	4,11
USUARIO 75	30319002	5.842	8,76	2,43
USUARIO 76	30319006	7.733	11,60	3,22
USUARIO 77	30319007	4.775	7,16	1,99
USUARIO 78	30319008	5.842	8,76	2,43
USUARIO 79	30320002	4.775	7,16	1,99
USUARIO 80	30320006	1.317	1,98	0,55
USUARIO 81	30320007	10.858	16,29	4,52
USUARIO 82	30321001	1.433	2,15	0,60
USUARIO 83	30321002	1.225	1,84	0,51
USUARIO 84	30321003	9.750	14,63	4,06
USUARIO 85	30321004	21.425	32,14	8,93
USUARIO 86	30321005	20.633	30,95	8,60
USUARIO 87	30321006	2.308	3,46	0,96
USUARIO 88	30321007	6.950	10,43	2,90
USUARIO 89	30321008	3.425	5,14	1,43
USUARIO 90	30322001	2.183	3,28	0,91
USUARIO 91	30322002	4.333	6,50	1,81
USUARIO 92	30322005	19.908	29,86	8,30

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

USUARIO 93	30323004	14.658	21,99	6,11
USUARIO 94	30323005	8.817	13,23	3,67
USUARIO 95	30323006	4.292	6,44	1,79
USUARIO 96	30323007	7.483	11,23	3,12
USUARIO 97	30324001	5.250	7,88	2,19
USUARIO 98	30324002	2.683	4,03	1,12
USUARIO 99	30324005	7.683	11,53	3,20
USUARIO 100	30324006	14.317	21,48	5,97
USUARIO 101	30324007	11.467	17,20	4,78
USUARIO 102	30325001	2.992	4,49	1,25
USUARIO 103	30325002	4.817	7,23	2,01
USUARIO 104	30325003	2.708	4,06	1,13
USUARIO 105	30325004	7.083	10,63	2,95
USUARIO 106	30325005	2.992	4,49	1,25
USUARIO 107	30325006	10.025	15,04	4,18
USUARIO 108	30325007	2.792	4,19	1,16
USUARIO 109	30325008	6.933	10,40	2,89
USUARIO 110	30326001	11.967	17,95	4,99
USUARIO 111	30326002	9.583	14,38	3,99
USUARIO 112	30326003	17.550	26,33	7,31
USUARIO 113	30326004	11.725	17,59	4,89
USUARIO 114	30326006	9.583	14,38	3,99
USUARIO 115	30326008	1.983	2,98	0,83
USUARIO 116	30327002	4.292	6,44	1,79
USUARIO 117	30327003	13.000	19,50	5,42
USUARIO 118	30327004	5.742	8,61	2,39
USUARIO 119	30327005	9.875	14,81	4,11
USUARIO 120	30327007	7.650	11,48	3,19
USUARIO 121	30328003	5.217	7,83	2,17
USUARIO 122	30328004	9.825	14,74	4,09
USUARIO 123	30328005	3.067	4,60	1,28
USUARIO 124	30328006	52.025	78,04	21,68
USUARIO 125	30329003	3.942	5,91	1,64
USUARIO 126	30329005	0,00	0,00	0,00
USUARIO 127	30329007	4.550	6,83	1,90
USUARIO 128	30329008	14.117	21,18	5,88
USUARIO 129	30330001	11.883	17,83	4,95
USUARIO 130	30330002	4.308	6,46	1,80
USUARIO 131	30330003	5.417	8,13	2,26
USUARIO 132	30330004	32.442	48,66	13,52
USUARIO 133	30330005	4.658	6,99	1,94
USUARIO 134	30330007	5.200	7,80	2,17

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

USUARIO 135	30330008	5.050	7,58	2,10
USUARIO 136	30331001	2.667	4,00	1,11
USUARIO 137	30331003	4.675	7,01	1,95
USUARIO 138	30331005	5.133	7,70	2,14
USUARIO 139	30331007	5.417	8,13	2,26
USUARIO 140	30332002	4.292	6,44	1,79
USUARIO 141	30332003	9.083	13,63	3,78
USUARIO 142	30332005	17.533	26,30	7,31
USUARIO 143	30332007	5.167	7,75	2,15
USUARIO 144	30332008	3.892	5,84	1,62
USUARIO 145	30332010	4.133	6,20	1,72
USUARIO 146	30333003	8.967	13,45	3,74
USUARIO 147	30333004	9.833	14,75	4,10
USUARIO 148	30333005	4.008	6,01	1,67
USUARIO 149	30333007	8.758	13,14	3,65
USUARIO 150	30333008	3.683	5,52	1,53
USUARIO 151	30334001	1.825	2,74	0,76
USUARIO 152	30334003	2.908	4,36	1,21
USUARIO 153	30334004	2.450	3,68	1,02
USUARIO 154	30334005	5.158	7,74	2,15
USUARIO 155	30334006	16.500	24,75	6,88
USUARIO 156	30335001	13.033	19,55	5,43
USUARIO 157	30335002	4.208	6,31	1,75
USUARIO 158	30335003	3.383	5,07	1,41
USUARIO 159	30335004	3.450	5,18	1,44
USUARIO 160	30335005	3.383	5,07	1,41
USUARIO 161	30335006	6.500	9,75	2,71
USUARIO 162	30335007	7.100	10,65	2,96
USUARIO 163	30335008	20.633	30,95	8,60
USUARIO 164	30336005	8.700	13,05	3,63
USUARIO 165	30336006	10.836	16,25	4,52
USUARIO 166	30337003	9.342	14,01	3,89
USUARIO 167	30337004	9.315	13,97	3,88
USUARIO 168	30337005	8.535	12,80	3,56
USUARIO 169	30337006	1.885	2,83	0,79
USUARIO 170	30338002	53.370	80,06	22,24
USUARIO 171	30338003	1.060	1,59	0,44
USUARIO 172	30338004	6.370	9,56	2,65
USUARIO 173	30338005	11.084	16,63	4,62
USUARIO 174	30339001	5.800	8,70	2,42
USUARIO 175	30339002	4.410	6,62	1,84
USUARIO 176	30339003	7.642	11,46	3,18

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

USUARIO 177	30339004	13.130	19,70	5,47
USUARIO 178	30339005	10.220	15,33	4,26
USUARIO 179	30339006	5.360	8,04	2,23
USUARIO 180	30339007	4.410	6,62	1,84
USUARIO 181	30339008	10.910	16,37	4,55
USUARIO 182	30339009	5.746	8,62	2,39
USUARIO 183	30340004	17.460	26,19	7,28
USUARIO 184	30340007	5.667	8,50	2,36
USUARIO 185	30340008	5.445	8,17	2,27
USUARIO 186	30341001	15.650	23,48	6,52
USUARIO 187	30341003	2.960	4,44	1,23
USUARIO 188	30341004	6.080	9,12	2,53
USUARIO 189	30341006	5.500	8,25	2,29
USUARIO 190	30342004	29.076	43,61	12,12
USUARIO 191	30342005	69.580	104,37	28,99
USUARIO 192	30343001	1.460	2,19	0,61
USUARIO 193	30343003	831	1,25	0,35
USUARIO 194	30343004	1.261	1,89	0,53
USUARIO 195	30343005	2.581	3,87	1,08
USUARIO 196	30343006	1.354	2,03	0,56
USUARIO 197	30343007	831	1,25	0,35
USUARIO 198	30343008	831	1,25	0,35
USUARIO 199	30343009	857	1,29	0,36
USUARIO 200	30343010	1.016	1,52	0,42
USUARIO 201	30344002	2.333	3,50	0,97
USUARIO 202	30344004	41.820	62,73	17,43
USUARIO 203	30344005	7.065	10,60	2,94
USUARIO 204	30344008	2.920	4,38	1,22
USUARIO 205	30345003	7.790	11,69	3,25
USUARIO 206	30347005	16.400	24,60	6,83
USUARIO 207	30347007	7.740	11,61	3,23
USUARIO 208	30347009	1.371	2,06	0,57
USUARIO 209	30347010	1.371	2,06	0,57
USUARIO 210	30347011	1.371	2,06	0,57
USUARIO 211	30347012	1.371	2,06	0,57
USUARIO 212	30347013	1.371	2,06	0,57
USUARIO 213	30348001	42.020	63,03	17,51
USUARIO 214	30348002	20.474	30,71	8,53
USUARIO 215	30348003	8.960	13,44	3,73
USUARIO 216	30348004	1.432	2,15	0,60
USUARIO 217	30348006	8.520	12,78	3,55
USUARIO 218	30348007	1.313	1,97	0,55

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

USUARIO 219	30348008	831	1,25	0,35
USUARIO 220	30349001	6.160	9,24	2,57
USUARIO 221	30349002	5.310	7,97	2,21
USUARIO 222	30349003	2.166	3,25	0,90
USUARIO 223	30349004	10.030	15,05	4,18
USUARIO 224	30349005	3.550	5,33	1,48
USUARIO 225	30349006	7.085	10,63	2,95
USUARIO 226	30349008	33.976	50,96	14,16
USUARIO 227	30349009	1.500	2,25	0,63
USUARIO 228	30349010	7.188	10,78	3,00
USUARIO 229	30349011	2.000	3,00	0,83
USUARIO 230	30350001	8.107	12,16	3,38
USUARIO 231	30350003	22.463	33,69	9,36
USUARIO 232	30350004	9.440	14,16	3,93
USUARIO 233	30350005	2.337	3,51	0,97
USUARIO 234	30350006	22.360	33,54	9,32
USUARIO 235	30350007	22.360	33,54	9,32
USUARIO 236	30351003	15.888	23,83	6,62
USUARIO 237	30351004	7.421	11,13	3,09
USUARIO 238	30351005	12.960	19,44	5,40
USUARIO 239	30351007	3.279	4,92	1,37
USUARIO 240	30352002	13.457	20,19	5,61
USUARIO 241	30352003	21.967	32,95	9,15
USUARIO 242	30352004	2.320	3,48	0,97
USUARIO 243	30352005	12.216	18,32	5,09
USUARIO 244	30352007	7.420	11,13	3,09
USUARIO 245	30353007	8.937	13,41	3,72
USUARIO 246	30354001	8.520	12,78	3,55
USUARIO 247	30354002	8.520	12,78	3,55

#### 4.2. Intervalos de Tiempo de Riego para cada Toma

En la tabla A.2 se podrá observar la distribución de tiempos asociada al riego de cada parcela, proporcionada por los técnicos de la red a través de un documento PDF. Además, también se mostrará el volumen de agua consumido en metros cúbicos para cada terreno de cultivo, medido a través de diversos contadores volumétricos situados en los hidrantes.

Las tomas que no presentan un periodo de tiempo de riego es porque no han sido regadas este año 2017.

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

**Tabla A.2.** Información inicial sobre los tiempos de riego de cada toma de la red de San Rafael asociados a los distintos días de la semana. Fuente: Propia

Cliente	Zona/hidrante/contador (Toma)	Programa de riego				Cantidad de agua suministrada (m <sup>3</sup> )	
		L	X	V	S		
USUARIO 1	30301002	L	X	V	S	07:50-09:50	12.612,1
USUARIO 2	30301003	L	X	V		16:00-18:00	7.239,6
					S	10:00-12:00	
USUARIO 3	30301004	L	X	V	S	07:50-09:50	12.146,4
USUARIO 4	30301005	L	X	V		16:00-19:30	132.348,0
					S	10:00-13:30	
USUARIO 5	30302002	-	-	-	-	-	22.307,0
			X		S	08:00-10:00	
USUARIO 6	30302003	L	X	V		07:50-09:50	29.467,9
					S	08:00-10:00	
USUARIO 7	30302004	L	X	V	S	07:00-08:00	24.736,8
USUARIO 8	30302008	L	X		S	04:00-06:30	14.221,1
				V		06:00-09:30	
USUARIO 9	30303004	-	-	-	-	-	27,5
USUARIO 10	30303005	-	-	-	-	-	99,0
USUARIO 11	30304001	L	X	V		16:00-18:00	1,0
					S	10:00-12:00	
USUARIO 12	30304003	-	-	-	-	-	3.082,0
USUARIO 13	30304004	-	-	-	-	-	602,6
USUARIO 14	30304006	-	-	-	-	-	1,4
USUARIO 15	30304007	L	X	V		16:00-18:00	10.119,7
					S	10:00-12:00	
USUARIO 16	30304008	L	X	V		05:00-09:50	45.109,9
					S	05:00-10:00	
USUARIO 17	30304009	L	X	V	S	08:00-09:30	18.119,0
USUARIO 18	30304011	L	X	V		17:00-18:00	822,9
					S	11:00-12:00	
USUARIO 19	30305001	-	-	-	-	-	1.764,1
USUARIO 20	30305003	L	X		S	00:00-02:00	14.151,7
USUARIO 21	30305005	L	X	V	S	04:00-05:30	14.435,1
USUARIO 22	30306001	L	X	V	S	05:00-07:00	21.071,9
USUARIO 23	30306002	L	X	V	S	07:50-09:50	31.854,0
USUARIO 24	30306004	L	X		S	02:30-04:00	38.251,0
USUARIO 25	30306005	L	X	V		16:00-18:00	10.623,5
					S	10:00-12:00	
USUARIO 26	30306006	-	-	-	-	-	1.646,2
USUARIO 27	30306007	L	X	V		18:00-20:30	49.506,0

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

					S	12:00-14:30	
USUARIO 28	30306009	-	-	-	-	-	3.008,3
USUARIO 29	30306010	L	X	V	S	00:00-02:30	16.082,6
USUARIO 30	30307001	L	X	V		16:00-21:00	80.661,0
					S	09:00-16:50	
USUARIO 31	30307003	-	-	-	-	-	57.768,0
USUARIO 32	30307006	L	X	V	S	01:00-05:00	108.347,0
USUARIO 33	30308002	L	X	V		18:00-20:00	4.253,0
					S	12:00-14:00	
USUARIO 34	30308003	L	X	V	S	00:00-06:00	177.585,0
USUARIO 35	30308005	L	X	V		16:00-18:00	11.979,8
					S	10:00-12:00	
USUARIO 36	30308007	L	X	V	S	06:30-08:30	22.640,5
USUARIO 37	30308008	L	X	V	S	07:20-09:50	21.895,3
USUARIO 38	30309001	L	X	V	S	02:00-05:00	4.158,0
USUARIO 39	30309003	-	-	-	-	-	726,9
USUARIO 40	30309005	L	X	V	S	06:00-08:00	10.584,8
USUARIO 41	30309006		X			03:30-05:30	11.538,9
USUARIO 42	30309007	L	X	V	S	05:30-07:30	20.087,0
USUARIO 43	30310002		X		S	03:00-05:00	23.253,0
USUARIO 44	30310004	L	X	V	S	06:00-08:00	1.645,1
USUARIO 45	30310005	-	-	-	-	-	1.672,1
USUARIO 46	30311001	L	X	V	S	05:00-07:30	4.454,8
USUARIO 47	30311002	L	X	V	S	06:30-08:00	1.529,9
USUARIO 48	30311003	L	X	V	S	02:00-03:30	25.706,8
USUARIO 49	30311004	L	X	V	S	04:00-06:30	23.391,5
USUARIO 50	30311006	L	X	V	S	06:00-07:30	11.565,3
USUARIO 51	30312001	-	-	-	-	-	17.667,0
USUARIO 52	30312005	L	X	V	S	02:00-04:15	13.901,4
USUARIO 53	30313003	L	X	V	S	06:00-08:00	26.609,9
USUARIO 54	30313004	L	X		S	04:00-05:15	4.164,1
USUARIO 55	30313006	L	X	V	S	04:00-07:30	34.840,8
USUARIO 56	30313007			V	S	05:00-07:45	244,7
USUARIO 57	30313008	L	X	V	S	02:00-05:00	35.715,7
USUARIO 58	30314001	-	-	-	-	-	8.032,5
USUARIO 59	30314003		X		S	02:00-03:00	16.675,2
USUARIO 60	30314004		X		S	04:00-05:30	15.908,5
USUARIO 61	30314005	L	X	V	S	05:00-08:00	30.909,0
USUARIO 62	30314006	L	X	V	S	02:00-04:00	2.410,7
USUARIO 63	30315003	L	X	V	S	05:00-06:30	16.934,5
USUARIO 64	30316003	L	X	V	S	06:30-08:00	26.387,4
USUARIO 65	30316004	L	X	V	S	04:00-06:30	32.504,0

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

USUARIO 66	30317003	L	X	V	S	00:00-03:00	15.333,9
USUARIO 67	30317007	L	X	V	S	02:00-06:00	10.616,2
USUARIO 68	30318001	L	X	V	S	00:00-02:30	20.443,7
USUARIO 69	30318002	L	X	V		02:00-04:00	45.686,0
					S	08:00-10:00	
USUARIO 70	30318004	-	-	-	-	-	2.250,8
USUARIO 71	30318006	L	X	V	S	04:00-06:00	11.748,8
USUARIO 72	30318007	L	X	V		06:00-08:00	8.109,1
					S	08:00-11:00	
USUARIO 73	30318008	L	X	V		02:00-04:00	4.123,9
					S	08:00-10:00	
USUARIO 74	30318009	-	-	-	-	-	31.747,0
USUARIO 75	30319002	L	X	V	S	00:00-04:00	37.960,0
USUARIO 76	30319006	L	X	V	S	01:30-04:30	10.264,2
USUARIO 77	30319007	L	X		S	00:00-01:30	353,8
USUARIO 78	30319008	L	X	V	S	03:00-05:00	7.025,6
USUARIO 79	30320002	L	X	V	S	00:00-01:30	6.898,6
USUARIO 80	30320006	L	X	V	S	00:00-07:00	726,9
USUARIO 81	30320007	L	X	V		01:00-08:00	42.167,0
					S	01:00-12:00	
USUARIO 82	30321001		X		S	08:00-09:00	3.265,4
USUARIO 83	30321002	L	X	V	S	12:00-13:30	3.952,1
USUARIO 84	30321003	L	X	V	S	06:00-08:00	74.070,0
USUARIO 85	30321004	L	X	V	S	08:00-10:00	69.592,0
USUARIO 86	30321005	L	X	V	S	20:00-23:00	54.493,0
USUARIO 87	30321006	L	X	V	S	10:00-11:30	7.336,0
USUARIO 88	30321007		X		S	08:00-09:30	7.720,9
USUARIO 89	30321008	L	X	V	S	20:00-23:00	60.056,0
USUARIO 90	30322001	L	X	V	S	10:00-12:00	9.123,6
USUARIO 91	30322002	L	X	V	S	12:00-14:00	11.679,1
USUARIO 92	30322005	L	X	V	S	13:00-14:00	41.781,0
USUARIO 93	30323004	L	X	V	S	08:00-10:00	60.637,0
USUARIO 94	30323005	L	X	V	S	14:00-16:00	39.510,0
USUARIO 95	30323006	L	X	V		02:00-05:00	18.471,0
					S	10:00-13:00	
USUARIO 96	30323007	L	X	V	S	16:00-18:00	22.036,4
USUARIO 97	30324001	L	X	V	S	13:30-15:30	23.502,3
USUARIO 98	30324002	L	X	V	S	10:00-11:30	9.111,5
USUARIO 99	30324005	L	X	V	S	11:00-13:00	14.758,1
USUARIO 100	30324006	L	X	V	S	15:30-17:30	47.440,0
USUARIO 101	30324007	L	X	V	S	17:00-19:00	31.513,0
USUARIO 102	30325001	L	X	V	S	06:30-08:00	11.901,3

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

USUARIO 103	30325002	L	X	V	S	05:30-08:00	23.091,5
USUARIO 104	30325003	L	X		S	08:00-09:30	11.409,3
USUARIO 105	30325004	L	X		S	08:00-09:30	2.622,7
USUARIO 106	30325005	L	X	V	S	00:00-02:00	11.939,2
USUARIO 107	30325006	L	X	V	S	06:00-08:00	59.125,0
USUARIO 108	30325007	L	X	V		02:00-04:30	9.312,2
					S	11:30-14:00	
USUARIO 109	30325008	L	X	V	S	03:30-05:30	30.193,6
USUARIO 110	30326001	L	X	V	S	00:00-04:00	46.535,0
USUARIO 111	30326002	L	X	V	S	07:00-08:00	27.534,0
USUARIO 112	30326003	L	X	V	S	04:30-06:30	19.529,0
USUARIO 113	30326004	L	X	V	S	00:00-04:00	38.043,0
USUARIO 114	30326006	L	X	V	S	03:00-04:00	8.995,0
USUARIO 115	30326008		X		S	02:00-04:00	5.239,4
USUARIO 116	30327002	L	X	V	S	05:00-08:00	9.791,4
USUARIO 117	30327003	L	X	V	S	00:00-06:00	21.203,0
USUARIO 118	30327004	L	X	V	S	04:30-06:30	5.705,8
USUARIO 119	30327005	L	X	V		00:00-04:30	15.205,4
					S	00:00-12:00	
USUARIO 120	30327007	-	-	-	-	-	167,0
USUARIO 121	30328003	L	X	V	S	07:00-10:00	17.655,3
USUARIO 122	30328004	L	X	V	S	10:00-14:00	35.686,0
USUARIO 123	30328005	L	X	V	S	16:00-19:00	15.941,7
USUARIO 124	30328006	L	X	V	S	00:00-00:00	12.008,0
USUARIO 125	30329003	L	X	V	S	12:00-14:00	10.119,3
USUARIO 126	30329005	-	-	-	-	-	2.900,4
USUARIO 127	30329007	L	X		S	15:30-17:30	2.911,7
USUARIO 128	30329008	L	X	V	S	18:30-21:30	53.508,0
USUARIO 129	30330001	L	X	V	S	08:00-10:00	43.913,0
USUARIO 130	30330002	L	X	V	S	10:00-12:00	19.905,7
USUARIO 131	30330003	L	X		S	10:30-12:00	2.596,5
USUARIO 132	30330004	L	X	V	S	17:00-23:59	74.508,0
USUARIO 133	30330005	L	X	V	S	12:00-13:30	17.238,6
USUARIO 134	30330007	L	X	V	S	13:30-15:00	12.491,8
USUARIO 135	30330008	L	X	V	S	15:00-18:00	22.978,8
USUARIO 136	30331001	L	X	V	S	10:00-11:30	3.948,1
USUARIO 137	30331003	L	X	V	S	11:30-13:00	6.849,8
USUARIO 138	30331005	L	X	V	S	18:30-20:00	17.191,6
USUARIO 139	30331007	L	X	V	S	17:00-19:00	6.898,2
USUARIO 140	30332002	L	X	V	S	14:00-20:00	3.798,1
USUARIO 141	30332003	L	X	V	S	10:00-12:00	1.591,0
USUARIO 142	30332005	L	X	V	S	19:00-22:00	86.858,0

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

USUARIO 143	30332007	L	X		S	10:00-13:00	11.895,8
USUARIO 144	30332008	L	X	V	S	12:30-15:30	15.491,4
USUARIO 145	30332010	L	X	V	S	13:30-15:00	9.879,0
USUARIO 146	30333003	L	X	V	S	14:00-16:30	42.609,9
USUARIO 147	30333004	L	X	V	S	16:00-19:00	42.822,0
USUARIO 148	30333005		X		S	10:30-12:30	14.837,4
USUARIO 149	30333007	L	X		S	09:00-11:30	5.134,8
USUARIO 150	30333008	L	X	V	S	12:30-14:00	18.336,7
USUARIO 151	30334001	L	X		S	10:00-12:00	2.286,0
				V		10:00-11:00	
USUARIO 152	30334003	L	X	V	S	12:00-14:00	14.534,0
USUARIO 153	30334004	L	X	V	S	19:00-20:30	4.962,6
USUARIO 154	30334005	L	X	V	S	16:00-19:00	22.992,5
USUARIO 155	30334006	L	X		S	10:00-12:00	11.441,0
USUARIO 156	30335001	L	X	V	S	10:00-12:30	72.885,0
USUARIO 157	30335002	L	X		S	12:00-13:00	10.999,5
USUARIO 158	30335003	L	X	V	S	14:30-16:30	5.143,2
USUARIO 159	30335004		X		S	13:00-14:30	9.604,4
USUARIO 160	30335005	L	X			17:00-19:00	1.938,2
					S	18:40-21:00	
USUARIO 161	30335006	L	X	V	S	12:30-14:30	31.107,5
USUARIO 162	30335007	L	X	V	S	18:00-20:00	27.968,6
USUARIO 163	30335008	L	X	V	S	20:00-23:15	102.163,0
USUARIO 164	30336005	L	X	V	S	00:00-01:30	13.389,1
USUARIO 165	30336006	L	X	V		16:00-18:00	45.676,0
					S	10:00-12:00	
USUARIO 166	30337003	L	X	V	S	07:00-09:00	38.714,0
USUARIO 167	30337004	L				08:00-09:30	14.914,0
USUARIO 168	30337005	L	X	V	S	03:00-05:00	58.007,0
USUARIO 169	30337006	L	X	V	S	16:30-18:00	6.952,9
USUARIO 170	30338002	L	X	V	S	00:00-08:00	166.893,0
USUARIO 171	30338003	L	X	V	S	07:50-09:50	8.806,2
USUARIO 172	30338004	L	X	V		16:00-18:00	52.091,0
					S	10:00-12:00	
USUARIO 173	30338005	L	X	V	S	07:50-09:50	37.934,0
USUARIO 174	30339001	L	X	V	S	06:20-09:50	18.629,1
USUARIO 175	30339002	L	X	V	S	02:00-05:00	13.055,3
USUARIO 176	30339003	L	X	V		16:00-18:30	27.373,4
					S	10:00-12:30	
USUARIO 177	30339004	L	X	V	S	06:00-08:30	54.953,0
USUARIO 178	30339005	L	X	V	S	03:00-05:30	27.549,0
USUARIO 179	30339006	L	X	V	S	03:00-05:00	23.996,4

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

USUARIO 180	30339007	L	X	V		16:00-18:00	16.791,9
					S	10:00-12:00	
USUARIO 181	30339008	L	X	V	S	00:00-03:00	58.849,0
USUARIO 182	30339009	L	X	V		18:00-20:00	12.604,4
					S	12:00-14:00	
USUARIO 183	30340004	L	X	V		17:00-20:00	62.351,0
					S	11:00-14:00	
USUARIO 184	30340007	-	-	-	-	-	1.342,0
USUARIO 185	30340008	L	X		S	01:00-02:00	2.603,7
USUARIO 186	30341001	L	X	V	S	00:00-02:30	68.550,0
USUARIO 187	30341003	L	X	V		02:00-03:30	11.028,9
					S	08:00-09:30	
USUARIO 188	30341004	L	X	V	S	06:50-08:50	19.387,3
USUARIO 189	30341006	L	X	V	S	04:00-06:00	18.340,1
USUARIO 190	30342004	L	X		S	03:00-09:50	140.375,0
USUARIO 191	30342005	L	X	V		00:00-10:00	158.911,0
					S	00:00-14:00	
USUARIO 192	30343001	L	X	V	S	06:00-07:30	3.362,0
USUARIO 193	30343003	-	-	-	-	-	2.484,9
USUARIO 194	30343004	-	-	-	-	-	2.204,7
USUARIO 195	30343005	-	-	-	-	-	865,9
USUARIO 196	30343006	L	X	V	S	00:00-02:00	3.273,9
USUARIO 197	30343007	L	X	V	S	00:00-02:00	2.990,2
USUARIO 198	30343008	L	X	V	S	02:00-04:00	2.300,1
USUARIO 199	30343009	L	X	V	S	02:00-04:00	2.275,7
USUARIO 200	30343010	L	X	V		16:00-18:30	4.552,1
					S	10:00-12:30	
USUARIO 201	30344002	-	-	-	-	-	1.374,3
USUARIO 202	30344004	L	X	V		00:00-09:50	311.588,0
					S	00:00-16:50	
USUARIO 203	30344005	L	X	V		16:00-18:30	13.736,1
					S	10:00-12:30	
USUARIO 204	30344008	L	X	V		18:30-20:00	7.961,1
					S	12:30-14:00	
USUARIO 205	30345003	L	X	V		16:00-19:00	18.756,9
					S	10:00-13:00	
USUARIO 206	30347005	L	X	V		01:00-09:50	54.813,0
					S	01:00-12:00	
USUARIO 207	30347007		X			16:00-17:30	4.407,9
					S	10:00-11:30	
USUARIO 208	30347009	L	X	V	S	00:00-00:00	0,0
USUARIO 209	30347010	L	X	V	S	00:00-00:00	0,0

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

USUARIO 210	30347011	L	X	V	S	00:00-00:00	0,0
USUARIO 211	30347012	L	X	V	S	00:00-00:00	0,0
USUARIO 212	30347013	L	X	V	S	00:00-00:00	0,0
USUARIO 213	30348001	L	X	V		00:05-09:50	123.367,0
					S	00:05-16:50	
USUARIO 214	30348002	L	X	V		16:00-21:00	32.683,0
					S	10:00-15:00	
USUARIO 215	30348003	L	X	V	S	07:50-09:50	17.850,3
USUARIO 216	30348004	-	-	-	-	-	1.359,5
USUARIO 217	30348006	-	-	-	-	-	94,8
USUARIO 218	30348007	-	-	-	-	-	237,6
USUARIO 219	30348008	-	-	-	-	-	435,4
USUARIO 220	30349001	L	X	V	S	00:00-02:00	29.426,1
USUARIO 221	30349002	L	X	V	S	01:00-03:00	31.219,9
USUARIO 222	30349003	-	-	-	-	-	4.473,0
USUARIO 223	30349004	L	X	V		18:00-20:00	28.416,0
					S	12:00-14:00	
USUARIO 224	30349005	L	X	V		16:00-17:30	1.128,6
					S	10:00-11:30	
USUARIO 225	30349006	L	X	V	S	02:00-04:00	42.936,0
USUARIO 226	30349008	L	X	V	S	04:00-07:00	218.853,0
USUARIO 227	30349009	-	-	-	-	-	699,0
USUARIO 228	30349010	L	X	V		16:00-18:00	30.506,7
					S	10:00-12:00	
USUARIO 229	30349011	-	-	-	-	-	4.176,0
USUARIO 230	30350001	-	-	-	-	-	1.241,7
USUARIO 231	30350003	L	X	V	S	02:00-04:30	53.389,0
USUARIO 232	30350004	L	X	V	S	04:30-06:30	34.316,0
USUARIO 233	30350005		X		S	06:50-07:50	28.341,0
USUARIO 234	30350006	L	X	V	S	07:45-09:15	60.427,0
USUARIO 235	30350007	L	X		S	08:50-09:50	44.031,0
USUARIO 236	30351003	L	X	V	S	00:00-09:50	7.173,0
USUARIO 237	30351004	L	X	V		16:00-17:30	3.468,7
					S	10:00-11:30	
USUARIO 238	30351005	L	X	V	S	07:20-09:50	14.388,0
USUARIO 239	30351007	L	X	V	S	04:00-07:00	19.252,0
USUARIO 240	30352002	L	X	V		05:00-09:50	37.601,0
					S	05:00-10:00	
USUARIO 241	30352003	L	X	V		16:00-19:00	39.921,0
					S	10:00-13:00	
USUARIO 242	30352004	L	X	V	S	00:00-04:00	3.528,1
USUARIO 243	30352005	L	X	V	S	00:00-04:00	17.594,0

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

USUARIO 244	30352007	L	X	V	S	02:00-03:30	6.003,0
USUARIO 245	30353007	L	X	V	S	00:00-09:55	27.679,0
USUARIO 246	30354001	L	X		S	08:00-09:30	7.733,0
USUARIO 247	30354002	L	X	V		17:00-19:00	19.817,0
					S	11:00-13:00	

### 4.3. Cotas de los Nudos y Depósito de San Rafael

Las mediciones de las cotas para cada nudo de la red de San Rafael se han obtenido a partir del programa gratuito Google Earth. Este software permite conocer información cartográfica con una visualización satelital del mundo.

Los nudos enumerados desde el 1 hasta el 152 hacen referencia a uniones entre tuberías, mientras que aquellos con cuatro dígitos simbolizan las tomas en la red (los dos primeros números son del hidrante y los otros dos de la toma).

Los datos se recogen en la presente tabla:

**Tabla A.3.** Elevación de los nudos que constituyen el modelo hidráulico en Epanet 2.0 de la red de San Rafael, situada en el subsector norte del Sector 4, subzona margen izquierda del canal Júcar-Turía. Fuente: Propia

	Cota (m)		Cota (m)
Nudo 1	126	Nudo 1205	154
Nudo 2	139	Nudo 1303	140
Nudo 3	126	Nudo 1304	140
Nudo 4	139	Nudo 1306	140
Nudo 5	136	Nudo 1307	140
Nudo 6	136	Nudo 1308	140
Nudo 7	149	Nudo 1401	134
Nudo 8	149	Nudo 1403	134
Nudo 9	152	Nudo 1404	134
Nudo 10	147	Nudo 1405	134
Nudo 11	147	Nudo 1406	134
Nudo 12	152	Nudo 1503	135
Nudo 13	139	Nudo 1603	129
Nudo 14	139	Nudo 1604	129
Nudo 15	134	Nudo 1703	135
Nudo 17	134	Nudo 1707	135
Nudo 18	163	Nudo 1801	117
Nudo 19	166	Nudo 1802	117

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

Nudo 21	163	Nudo 1804	117
Nudo 22	164	Nudo 1806	117
Nudo 23	164	Nudo 1807	117
Nudo 24	155	Nudo 1808	117
Nudo 25	155	Nudo 1809	117
Nudo 26	161	Nudo 1902	117
Nudo 27	161	Nudo 1906	117
Nudo 28	152	Nudo 1907	117
Nudo 29	157	Nudo 1908	117
Nudo 30	157	Nudo 2002	128
Nudo 31	146	Nudo 2006	128
Nudo 32	146	Nudo 2007	128
Nudo 33	142	Nudo 2101	110
Nudo 34	142	Nudo 2102	110
Nudo 35	131	Nudo 2103	110
Nudo 36	131	Nudo 2104	110
Nudo 37	141	Nudo 2105	110
Nudo 38	141	Nudo 2106	110
Nudo 39	141	Nudo 2107	110
Nudo 41	141	Nudo 2108	110
Nudo 42	134	Nudo 2201	103
Nudo 43	134	Nudo 2202	103
Nudo 44	134	Nudo 2205	103
Nudo 45	131	Nudo 2304	99
Nudo 46	131	Nudo 2305	99
Nudo 47	141	Nudo 2306	99
Nudo 48	141	Nudo 2307	99
Nudo 49	145	Nudo 2401	92
Nudo 50	145	Nudo 2402	92
Nudo 52	164	Nudo 2405	92
Nudo 53	158	Nudo 2406	92
Nudo 54	158	Nudo 2407	92
Nudo 55	161	Nudo 2501	105
Nudo 56	161	Nudo 2502	105
Nudo 57	153	Nudo 2503	105
Nudo 58	134	Nudo 2504	105
Nudo 59	134	Nudo 2505	105
Nudo 60	135	Nudo 2506	105
Nudo 61	135	Nudo 2507	105
Nudo 62	128	Nudo 2508	105
Nudo 63	128	Nudo 2601	112
Nudo 64	140	Nudo 2602	112
Nudo 65	140	Nudo 2603	112

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

Nudo 66	154	Nudo 2604	112
Nudo 67	154	Nudo 2606	112
Nudo 68	153	Nudo 2608	112
Nudo 69	151	Nudo 2702	124
Nudo 70	162	Nudo 2703	124
Nudo 71	129	Nudo 2704	124
Nudo 72	129	Nudo 2705	124
Nudo 73	135	Nudo 2707	124
Nudo 74	135	Nudo 2803	105
Nudo 75	125	Nudo 2804	105
Nudo 76	125	Nudo 2805	105
Nudo 77	117	Nudo 2806	105
Nudo 78	117	Nudo 2903	108
Nudo 79	107	Nudo 2905	108
Nudo 80	117	Nudo 2907	108
Nudo 81	117	Nudo 2908	108
Nudo 82	128	Nudo 3001	96
Nudo 83	128	Nudo 3002	96
Nudo 84	110	Nudo 3003	96
Nudo 85	110	Nudo 3004	96
Nudo 86	108	Nudo 3005	96
Nudo 87	103	Nudo 3007	96
Nudo 88	103	Nudo 3008	96
Nudo 89	99	Nudo 3101	94
Nudo 90	99	Nudo 3103	94
Nudo 91	92	Nudo 3105	94
Nudo 92	92	Nudo 3107	94
Nudo 93	108	Nudo 3202	97
Nudo 94	162	Nudo 3203	97
Nudo 95	105	Nudo 3205	97
Nudo 96	105	Nudo 3207	97
Nudo 97	105	Nudo 3208	97
Nudo 98	105	Nudo 3210	97
Nudo 99	112	Nudo 3303	93
Nudo 100	112	Nudo 3304	93
Nudo 101	124	Nudo 3305	93
Nudo 102	124	Nudo 3307	93
Nudo 103	105	Nudo 3308	93
Nudo 104	105	Nudo 3401	91
Nudo 105	104	Nudo 3403	91
Nudo 106	108	Nudo 3404	91
Nudo 107	108	Nudo 3405	91
Nudo 108	96	Nudo 3406	91

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

Nudo 109	96	Nudo 3501	93
Nudo 110	96	Nudo 3502	93
Nudo 111	94	Nudo 3503	93
Nudo 112	94	Nudo 3504	93
Nudo 113	97	Nudo 3505	93
Nudo 114	97	Nudo 3506	93
Nudo 115	94	Nudo 3507	93
Nudo 116	93	Nudo 3508	93
Nudo 117	93	Nudo 3605	131
Nudo 118	91	Nudo 3606	131
Nudo 119	91	Nudo 3703	141
Nudo 120	93	Nudo 3704	141
Nudo 121	165	Nudo 3705	141
Nudo 122	162	Nudo 3706	141
Nudo 123	152	Nudo 3802	145
Nudo 124	152	Nudo 3803	145
Nudo 125	152	Nudo 3804	145
Nudo 126	152	Nudo 3805	145
Nudo 127	155	Nudo 3901	134
Nudo 128	155	Nudo 3902	134
Nudo 129	147	Nudo 3903	134
Nudo 130	140	Nudo 3904	134
Nudo 131	150	Nudo 3905	134
Nudo 133	150	Nudo 3906	134
Nudo 134	150	Nudo 3907	134
Nudo 135	137	Nudo 3908	134
Nudo 136	137	Nudo 3909	134
Nudo 137	134	Nudo 4004	141
Nudo 138	134	Nudo 4007	141
Nudo 139	137	Nudo 4008	141
Nudo 140	137	Nudo 4101	131
Nudo 141	93	Nudo 4103	131
Nudo 142	150	Nudo 4104	131
Nudo 143	166	Nudo 4106	131
Nudo 144	141	Nudo 4204	146
Nudo 145	151	Nudo 4205	146
Nudo 146	162	Nudo 4301	157
Nudo 147	162	Nudo 4303	157
Nudo 148	162	Nudo 4304	157
Nudo 149	162	Nudo 4305	157
Nudo 150	162	Nudo 4306	157
Nudo 151	162	Nudo 4307	157
Nudo 152	162	Nudo 4308	157

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

Nudo 0102	137	Nudo 4309	157
Nudo 0103	137	Nudo 4310	157
Nudo 0104	137	Nudo 4402	161
Nudo 0105	137	Nudo 4404	161
Nudo 0202	134	Nudo 4405	161
Nudo 0203	134	Nudo 4408	161
Nudo 0204	134	Nudo 4503	164
Nudo 0208	134	Nudo 4705	155
Nudo 0304	137	Nudo 4707	155
Nudo 0305	137	Nudo 4709	155
Nudo 0401	150	Nudo 4710	155
Nudo 0403	150	Nudo 4711	155
Nudo 0404	150	Nudo 4712	155
Nudo 0406	150	Nudo 4713	155
Nudo 0407	150	Nudo 4801	147
Nudo 0408	150	Nudo 4802	147
Nudo 0409	150	Nudo 4803	147
Nudo 0411	150	Nudo 4804	147
Nudo 0501	150	Nudo 4806	147
Nudo 0503	150	Nudo 4807	147
Nudo 0505	150	Nudo 4808	147
Nudo 0601	155	Nudo 4901	139
Nudo 0602	155	Nudo 4902	139
Nudo 0604	155	Nudo 4903	139
Nudo 0605	155	Nudo 4904	139
Nudo 0606	155	Nudo 4905	139
Nudo 0607	155	Nudo 4906	139
Nudo 0609	155	Nudo 4908	139
Nudo 0610	155	Nudo 4909	139
Nudo 0701	152	Nudo 4910	139
Nudo 0703	152	Nudo 4911	139
Nudo 0706	152	Nudo 5001	134
Nudo 0802	152	Nudo 5003	134
Nudo 0803	152	Nudo 5004	134
Nudo 0805	152	Nudo 5005	134
Nudo 0807	152	Nudo 5006	134
Nudo 0808	152	Nudo 5007	134
Nudo 0901	158	Nudo 5103	149
Nudo 0903	158	Nudo 5104	149
Nudo 0905	158	Nudo 5105	149
Nudo 0906	158	Nudo 5107	149
Nudo 0907	158	Nudo 5202	136
Nudo 1002	161	Nudo 5203	136

Nudo 1004	161	Nudo 5204	136
Nudo 1005	161	Nudo 5205	136
Nudo 1101	151	Nudo 5207	136
Nudo 1102	151	Nudo 5307	139
Nudo 1103	151	Nudo 5401	126
Nudo 1104	151	Nudo 5402	126
Nudo 1106	151	Depósito	162
Nudo 1201	154		

#### 4.4. Obtención de Diámetros y Longitudes de las Tuberías de la Red

El diámetro interno de cada una de las tuberías ha sido obtenido a partir del modelo en AutoCAD aportado por la comunidad de regantes, donde además de poder medir las distancias se mostraban los valores de los diámetros externos de cada tubería. A partir de dichos diámetros y el valor de la presión nominal (PN) también indicado, se ha utilizado la norma UNE EN 1452 para tuberías de PVC con el objetivo calcular los diámetros internos.

La presión nominal es la presión máxima de trabajo para unas determinadas condiciones. Las tuberías que dan lugar a la red de riego presentan PN6 o PN10

Para la realización del modelo en Epanet se ha establecido una longitud de 2 metros y un diámetro exterior de 90 milímetros para las tuberías que unen el hidrante con la red principal de San Rafael, y de 1 metro y un diámetro externo de 75 milímetros para simbolizar la unión del hidrante con la toma.

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

**Tabla A.4.** Diámetros exteriores y sus respectivos espesores para diferentes valores de presión nominal en tuberías de PVC. Fuente: AENOR (2014)

**Norma UNE EN 1452**

DN (exterior)	PRESIONES NOMINALES (kg/cm <sup>2</sup> ) PARA C=2.5						
	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12.5	PN 16	PN 20	
12						1.5	
16						1.5	
20					1.5	1.9	
25				1.5	1.9	2.3	
32		1.5	1.6	1.9	2.4	2.9	
40	1.5	1.6	1.9	2.4	3.0	3.7	
50	1.6	2.0	2.4	3.0	3.7	4.6	
63	2.0	2.5	3.0	3.8	4.7	5.8	
75	2.3	2.9	3.6	4.5	5.6	6.8	
90	2.8	3.5	4.3	5.4	6.7	8.2	
110	2.7	3.4	4.2	5.3	6.6	8.1	10.0
125	3.1	3.9	4.8	6.0	7.4	9.2	11.4
140	3.5	4.3	5.4	6.7	8.3	10.3	12.7
160	4.0	4.9	6.2	7.7	9.5	11.8	14.6
180	4.4	5.5	6.9	8.6	10.7	13.3	16.4
200	4.9	6.2	7.7	9.6	11.9	14.7	18.2
225	5.5	6.9	8.6	10.8	13.4	16.6	
250	6.2	7.7	9.6	11.9	14.8	18.4	
280	6.9	8.6	10.7	13.4	16.6	20.6	
315	7.7	9.7	12.1	15.0	18.7	23.2	
355	8.7	10.9	13.6	16.9	21.1	26.1	
400	9.8	12.3	15.3	19.1	23.7	29.4	
450	11.0	13.8	17.2	21.5	26.7	33.1	
500	12.3	15.3	19.1	23.9	29.7	36.8	
560	13.7	17.2	21.4	26.7			
630	15.4	19.3	24.1	30.0			
710	17.4	21.8	27.2				
800	19.6	24.5	30.6				
900	22.0	27.6					
1000	24.5	30.6					

Los diámetros superiores a 500 mm suelen fabricarse solo bajo pedido

La ecuación utilizada para calcular el diámetro interno a partir del espesor de la tubería es:

$$r_{in} = r_{ext} - e \quad (\text{ec.18})$$

Como se sabe que:

$$r = D/2 \quad (\text{ec.19})$$

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

Sustituyendo la ecuación 17 en la ecuación 18:

$$\frac{D_{int}}{2} = r_{ext} - e \quad (\text{ec.20})$$

Operando se obtiene finalmente:

$$D_{int} = D_{ext} - 2e \quad (\text{ec.21})$$

De esta manera, a partir de la ecuación 20 se ha obtenido el valor de los diámetros internos de cada tubería de la red. En la tabla A.5 se mostrarán los diámetros calculados y las longitudes medidas:

**Tabla A.5.** Valores de los diámetros y longitudes de las tuberías de la red de San Rafael, situada en el subsector norte del Sector 4, subzona margen izquierda del canal Júcar-Turía. Fuente: Propia

	Longitud (m)	Diámetro (mm)		Longitud (m)	Diámetro (mm)
Tubería 1	445,39	184,6	Tubería 202	1,00	70,4
Tubería 2	2,00	81,4	Tubería 203	1,00	70,4
Tubería 3	2,00	81,4	Tubería 204	1,00	70,4
Tubería 4	488,53	184,6	Tubería 205	1,00	70,4
Tubería 5	2,00	81,4	Tubería 206	1,00	67,8
Tubería 6	383,08	184,6	Tubería 207	1,00	67,8
Tubería 7	2,00	81,4	Tubería 208	1,00	67,8
Tubería 8	446,60	184,6	Tubería 209	1,00	67,8
Tubería 9	1,00	184,6	Tubería 210	1,00	67,8
Tubería 10	247,43	184,6	Tubería 211	1,00	67,8
Tubería 11	2,00	81,4	Tubería 212	1,00	67,8
Tubería 12	430,12	184,6	Tubería 213	1,00	67,8
Tubería 13	2,00	81,4	Tubería 214	1,00	67,8
Tubería 14	257,96	184,6	Tubería 215	1,00	67,8
Tubería 15	2,00	81,4	Tubería 216	1,00	67,8
Tubería 16	59,60	190,2	Tubería 217	1,00	67,8
Tubería 17	2,00	84,4	Tubería 218	1,00	67,8
Tubería 18	234,77	190,2	Tubería 219	1,00	67,8
Tubería 19	57,64	118,8	Tubería 220	1,00	67,8

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

Tubería 20	2,00	84,4	Tubería 221	1,00	67,8
Tubería 21	1,00	184,6	Tubería 222	1,00	67,8
Tubería 22	22,56	299,6	Tubería 223	1,00	67,8
Tubería 23	2,00	84,4	Tubería 224	1,00	67,8
Tubería 24	104,98	299,6	Tubería 225	1,00	67,8
Tubería 25	2,00	84,4	Tubería 226	1,00	67,8
Tubería 26	216,58	299,6	Tubería 227	1,00	67,8
Tubería 27	367,93	118,8	Tubería 228	1,00	67,8
Tubería 28	2,00	84,4	Tubería 229	1,00	67,8
Tubería 29	137,39	230,8	Tubería 230	1,00	67,8
Tubería 30	2,00	81,4	Tubería 231	1,00	67,8
Tubería 31	371,30	230,8	Tubería 232	1,00	67,8
Tubería 32	1,00	147,6	Tubería 233	1,00	67,8
Tubería 33	353,44	184,6	Tubería 234	1,00	67,8
Tubería 34	2,00	81,4	Tubería 235	1,00	67,8
Tubería 35	127,43	230,8	Tubería 236	1,00	67,8
Tubería 36	1,00	184,6	Tubería 237	1,00	67,8
Tubería 37	262,21	147,6	Tubería 238	1,00	67,8
Tubería 38	2,00	81,4	Tubería 239	1,00	67,8
Tubería 39	1,00	133,0	Tubería 240	1,00	67,8
Tubería 40	235,84	184,6	Tubería 241	1,00	67,8
Tubería 41	2,00	81,4	Tubería 242	1,00	67,8
Tubería 42	299,05	184,6	Tubería 243	1,00	67,8
Tubería 43	55,97	115,4	Tubería 244	1,00	67,8
Tubería 44	2,00	81,4	Tubería 245	1,00	67,8
Tubería 45	227,73	147,6	Tubería 246	1,00	67,8
Tubería 46	2,00	81,4	Tubería 247	1,00	67,8
Tubería 47	173,10	129,2	Tubería 248	1,00	67,8
Tubería 48	2,00	81,4	Tubería 249	1,00	67,8
Tubería 49	1,00	67,8	Tubería 250	1,00	67,8
Tubería 50	1,00	184,6	Tubería 251	1,00	67,8
Tubería 51	286,17	299,6	Tubería 252	1,00	67,8
Tubería 52	2,00	84,4	Tubería 253	1,00	67,8
Tubería 53	115,29	299,6	Tubería 254	1,00	67,8
Tubería 54	2,00	84,4	Tubería 255	1,00	67,8
Tubería 55	222,34	299,6	Tubería 256	1,00	67,8
Tubería 56	360,92	299,6	Tubería 257	1,00	67,8
Tubería 57	2,00	84,4	Tubería 258	1,00	67,8
Tubería 58	108,94	118,8	Tubería 259	1,00	67,8
Tubería 59	2,00	84,4	Tubería 260	1,00	67,8
Tubería 60	127,57	299,6	Tubería 261	1,00	67,8
Tubería 61	1,00	237,6	Tubería 262	1,00	67,8
Tubería 62	362,44	133,0	Tubería 263	1,00	67,8

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

Tubería 63	2,00	84,4	Tubería 264	1,00	67,8
Tubería 64	214,65	133,0	Tubería 265	1,00	67,8
Tubería 65	2,00	84,4	Tubería 266	1,00	67,8
Tubería 66	131,84	190,2	Tubería 267	1,00	67,8
Tubería 67	189,02	152,0	Tubería 268	1,00	67,8
Tubería 68	2,00	84,4	Tubería 269	1,00	67,8
Tubería 69	140,54	237,6	Tubería 270	1,00	67,8
Tubería 70	133,17	115,4	Tubería 271	1,00	67,8
Tubería 71	188,95	237,6	Tubería 272	1,00	67,8
Tubería 72	1,00	147,6	Tubería 273	1,00	67,8
Tubería 73	200,68	133,0	Tubería 274	1,00	67,8
Tubería 74	2,00	84,4	Tubería 275	1,00	67,8
Tubería 75	190,74	230,8	Tubería 276	1,00	67,8
Tubería 76	2,00	81,4	Tubería 277	1,00	70,4
Tubería 77	344,38	230,8	Tubería 278	1,00	70,4
Tubería 78	149,65	115,4	Tubería 279	1,00	70,4
Tubería 79	207,25	129,2	Tubería 280	1,00	70,4
Tubería 80	2,00	81,4	Tubería 281	1,00	70,4
Tubería 81	2,00	81,4	Tubería 282	1,00	67,8
Tubería 82	119,40	230,8	Tubería 283	1,00	67,8
Tubería 83	2,00	81,4	Tubería 284	1,00	67,8
Tubería 84	142,01	230,8	Tubería 285	1,00	67,8
Tubería 85	1,00	184,6	Tubería 286	1,00	67,8
Tubería 86	2,00	81,4	Tubería 287	1,00	67,8
Tubería 87	194,68	147,6	Tubería 288	1,00	67,8
Tubería 88	2,00	81,4	Tubería 289	1,00	67,8
Tubería 89	387,78	147,6	Tubería 290	1,00	67,8
Tubería 90	2,00	81,4	Tubería 291	1,00	67,8
Tubería 91	123,71	147,6	Tubería 292	1,00	67,8
Tubería 92	1,00	152,0	Tubería 293	1,00	67,8
Tubería 93	1,00	237,6	Tubería 294	1,00	67,8
Tubería 94	57,42	184,6	Tubería 295	1,00	67,8
Tubería 95	179,77	184,6	Tubería 296	1,00	67,8
Tubería 96	2,00	81,4	Tubería 297	1,00	67,8
Tubería 97	297,30	184,6	Tubería 298	1,00	67,8
Tubería 98	2,00	81,4	Tubería 299	1,00	67,8
Tubería 99	552,74	133,0	Tubería 300	1,00	67,8
Tubería 100	2,00	84,4	Tubería 301	1,00	67,8
Tubería 101	155,16	184,6	Tubería 302	1,00	67,8
Tubería 102	37,69	184,6	Tubería 303	1,00	67,8
Tubería 103	2,00	81,4	Tubería 304	1,00	67,8
Tubería 104	245,54	184,6	Tubería 305	1,00	67,8
Tubería 105	2,00	81,4	Tubería 306	1,00	67,8

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

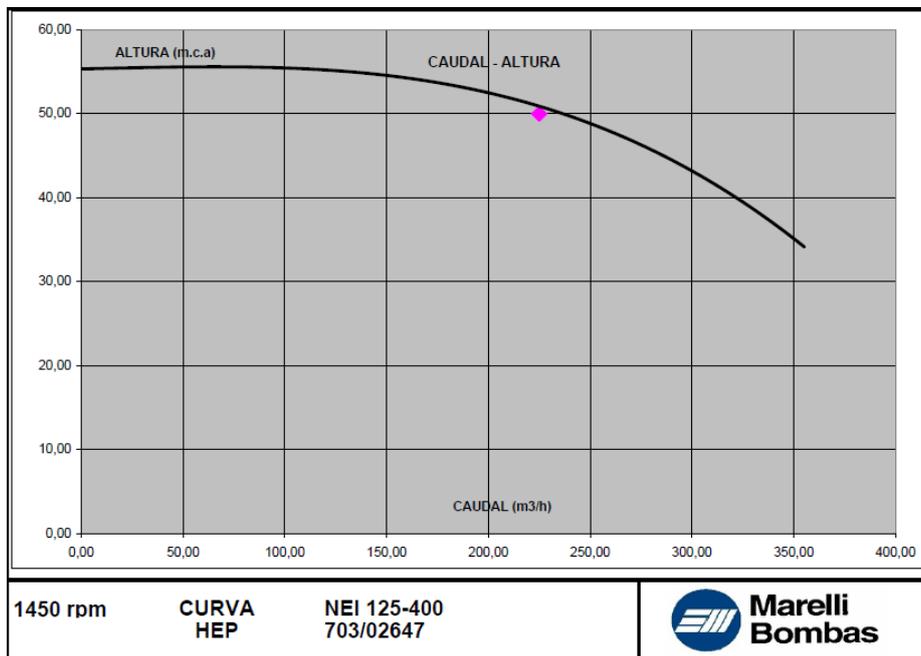
Tubería 106	327,63	184,6	Tubería 307	1,00	67,8
Tubería 107	1,00	190,2	Tubería 308	1,00	67,8
Tubería 108	127,91	184,6	Tubería 309	1,00	67,8
Tubería 109	2,00	81,4	Tubería 310	1,00	67,8
Tubería 110	144,85	184,6	Tubería 311	1,00	67,8
Tubería 111	2,00	81,4	Tubería 312	1,00	67,8
Tubería 112	254,07	129,2	Tubería 313	1,00	67,8
Tubería 113	92,55	129,2	Tubería 314	1,00	67,8
Tubería 114	296,82	115,4	Tubería 315	1,00	67,8
Tubería 115	2,00	81,4	Tubería 316	1,00	67,8
Tubería 116	2,00	81,4	Tubería 317	1,00	67,8
Tubería 117	413,55	237,6	Tubería 318	1,00	67,8
Tubería 118	181,86	133,0	Tubería 319	1,00	67,8
Tubería 120	239,53	133,0	Tubería 320	1,00	67,8
Tubería 121	2,00	84,4	Tubería 321	1,00	67,8
Tubería 122	110,05	133,0	Tubería 322	1,00	67,8
Tubería 123	2,00	84,4	Tubería 323	1,00	67,8
Tubería 124	2,00	84,4	Tubería 324	1,00	67,8
Tubería 125	2,00	84,4	Tubería 325	1,00	67,8
Tubería 126	59,04	237,6	Tubería 326	1,00	67,8
Tubería 127	1,00	67,8	Tubería 327	1,00	67,8
Tubería 128	2,00	84,4	Tubería 328	1,00	67,8
Tubería 129	166,62	152,0	Tubería 329	1,00	67,8
Tubería 130	142,78	118,8	Tubería 330	1,00	70,4
Tubería 131	1,00	67,8	Tubería 331	1,00	70,4
Tubería 132	77,40	152,0	Tubería 332	1,00	70,4
Tubería 133	2,00	84,4	Tubería 333	1,00	70,4
Tubería 134	183,55	152,0	Tubería 334	1,00	70,4
Tubería 135	2,00	84,4	Tubería 335	1,00	70,4
Tubería 136	54,94	152,0	Tubería 336	1,00	70,4
Tubería 137	20,00	299,6	Tubería 337	1,00	70,4
Tubería 138	2,00	81,4	Tubería 338	1,00	70,4
Tubería 139	2,00	81,4	Tubería 339	1,00	70,4
Tubería 140	2,00	84,4	Tubería 340	1,00	70,4
Tubería 141	20,00	299,6	Tubería 341	1,00	70,4
Tubería 143	2,00	84,4	Tubería 342	1,00	70,4
Tubería 144	20,00	299,6	Tubería 343	1,00	70,4
Tubería 145	184,18	299,6	Tubería 344	1,00	70,4
Tubería 150	45,42	299,6	Tubería 345	1,00	70,4
Tubería 151	37,14	299,6	Tubería 346	1,00	70,4
Tubería 152	20,00	299,6	Tubería 347	1,00	70,4
Tubería 153	1,00	67,8	Tubería 348	1,00	70,4
Tubería 154	1,00	67,8	Tubería 349	1,00	70,4

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

Tubería 155	1,00	67,8	Tubería 350	1,00	70,4
Tubería 156	1,00	67,8	Tubería 351	1,00	70,4
Tubería 157	1,00	67,8	Tubería 352	1,00	70,4
Tubería 158	1,00	67,8	Tubería 353	1,00	70,4
Tubería 159	1,00	67,8	Tubería 354	1,00	70,4
Tubería 160	1,00	67,8	Tubería 355	1,00	70,4
Tubería 161	1,00	67,8	Tubería 356	1,00	70,4
Tubería 162	1,00	67,8	Tubería 357	1,00	70,4
Tubería 163	1,00	67,8	Tubería 358	1,00	70,4
Tubería 164	1,00	67,8	Tubería 359	1,00	70,4
Tubería 165	1,00	67,8	Tubería 360	1,00	70,4
Tubería 166	1,00	67,8	Tubería 361	1,00	70,4
Tubería 167	1,00	67,8	Tubería 362	1,00	70,4
Tubería 168	1,00	67,8	Tubería 363	1,00	70,4
Tubería 169	1,00	67,8	Tubería 364	1,00	70,4
Tubería 170	1,00	67,8	Tubería 365	1,00	70,4
Tubería 171	1,00	67,8	Tubería 366	1,00	70,4
Tubería 172	1,00	67,8	Tubería 367	1,00	70,4
Tubería 173	1,00	67,8	Tubería 368	1,00	70,4
Tubería 174	1,00	67,8	Tubería 369	1,00	70,4
Tubería 175	1,00	67,8	Tubería 370	1,00	70,4
Tubería 176	1,00	67,8	Tubería 371	1,00	70,4
Tubería 177	1,00	67,8	Tubería 372	1,00	70,4
Tubería 178	1,00	67,8	Tubería 373	1,00	70,4
Tubería 179	1,00	67,8	Tubería 374	1,00	70,4
Tubería 180	1,00	67,8	Tubería 375	1,00	70,4
Tubería 181	1,00	67,8	Tubería 376	1,00	70,4
Tubería 182	1,00	67,8	Tubería 377	1,00	70,4
Tubería 183	1,00	67,8	Tubería 378	1,00	70,4
Tubería 184	1,00	67,8	Tubería 379	1,00	70,4
Tubería 185	1,00	70,4	Tubería 380	1,00	70,4
Tubería 186	1,00	70,4	Tubería 381	1,00	70,4
Tubería 187	1,00	70,4	Tubería 382	1,00	70,4
Tubería 188	1,00	70,4	Tubería 383	1,00	70,4
Tubería 189	1,00	70,4	Tubería 384	1,00	70,4
Tubería 190	1,00	70,4	Tubería 385	1,00	70,4
Tubería 191	1,00	70,4	Tubería 386	1,00	70,4
Tubería 192	1,00	70,4	Tubería 387	1,00	70,4
Tubería 193	1,00	70,4	Tubería 388	1,00	70,4
Tubería 194	1,00	70,4	Tubería 389	1,00	70,4
Tubería 195	1,00	70,4	Tubería 390	1,00	70,4
Tubería 196	1,00	70,4	Tubería 391	1,00	70,4
Tubería 197	1,00	70,4	Tubería 392	1,00	70,4



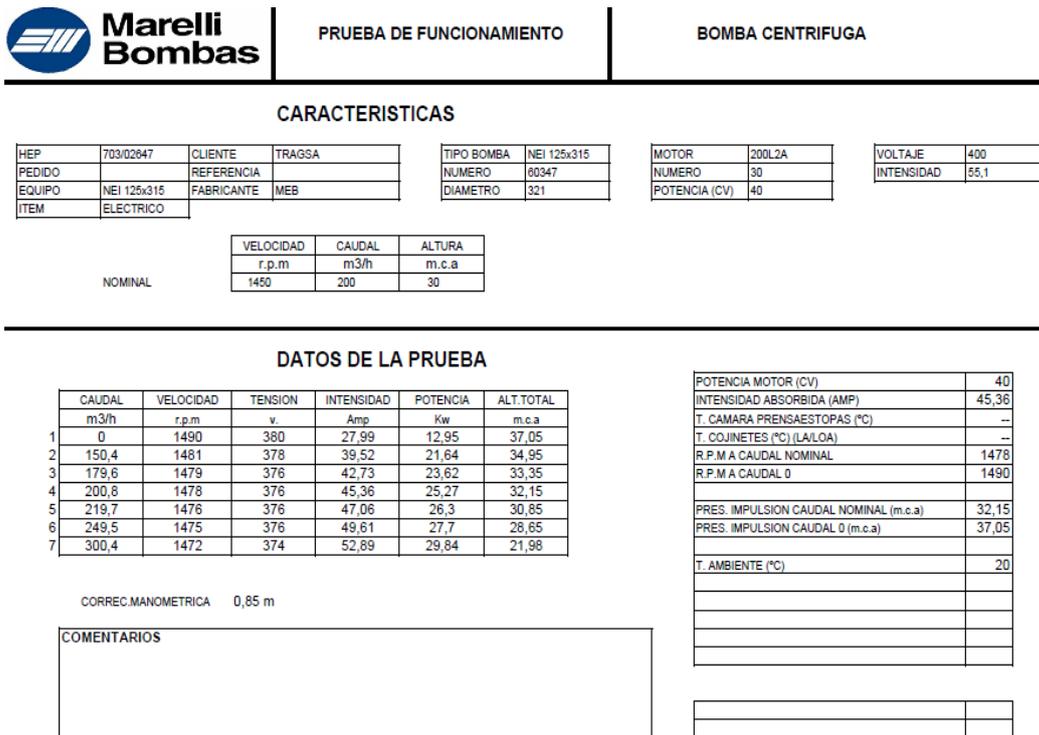
Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)



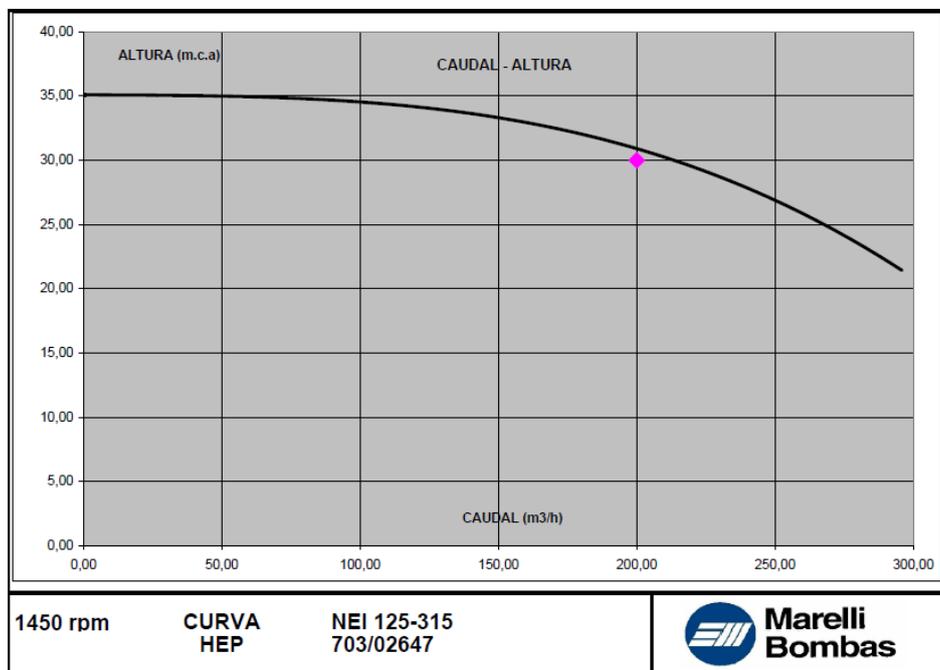
**Figura A.7.** Curva motriz asociada a las dos bombas en paralelo que constituyen el sistema de impulsión para San Rafael Norte en el cabezal de San Rafael. Fuente: Propia

Por otro lado, las bombas que abastecen la zona de San Rafael Sur se caracterizan por:

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)



**Figura A.8.** Ficha Técnica de las bombas que forman el grupo de bombeo del cabezal de San Rafael para la subred de San Rafael Sur. Fuente: Propia



**Figura A.9.** Curva motriz asociada a las dos bombas en paralelo que constituyen el sistema de impulsión para San Rafael Sur en el cabezal de San Rafael. Fuente: Propia

## ANEXO 5. CÁLCULOS PARA LAS PROPUESTAS DE MEJORA

### 5.1. Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael

#### 5.1.1. Iteración para el Cálculo del Diámetro de la Nueva Tubería

La ecuación desarrollada en el apartado 6.3.1 del documento "Memoria Descriptiva" a partir de la ecuación de Bernoulli es:

$$162 = 117 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{8 * 0,015 * 2.032}{3,14^2 * 9,81 * D^5} * 0,075^2 + 5$$

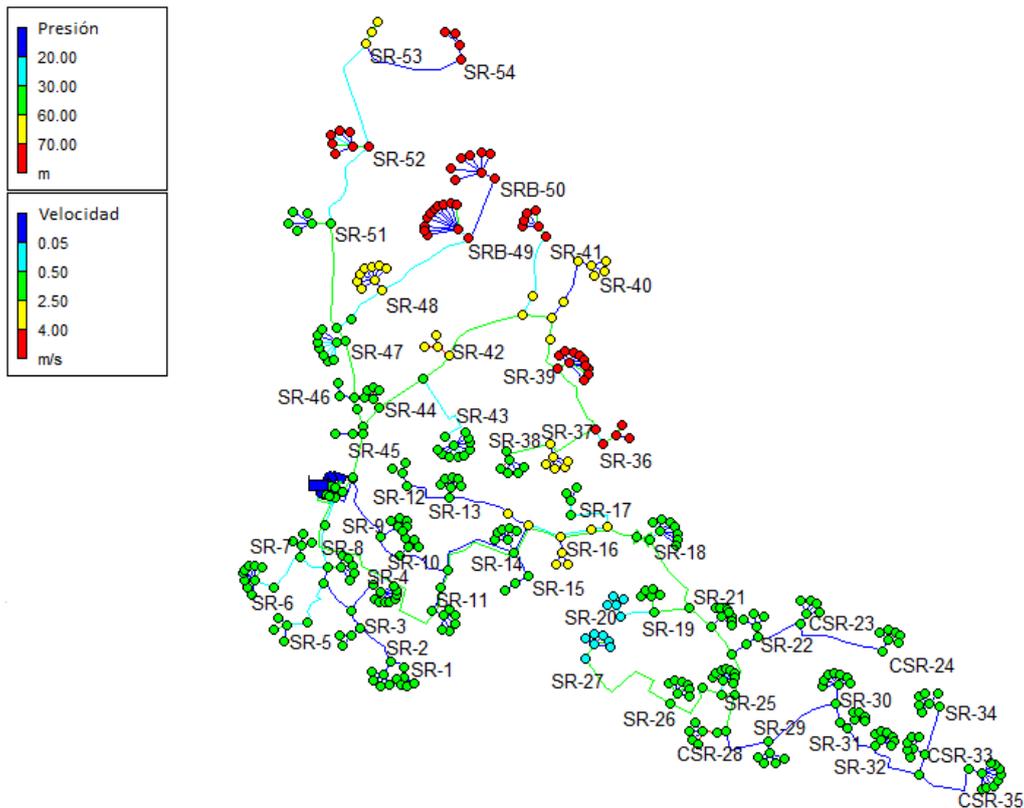
Se empezará a iterar con los valores de presión más bajos cercanos o incluidos en el intervalo recomendado por los técnicos (30-60 m.c.a) y se irá aumentando, ya que la presión crecerá en la red debido al descenso de cota. A partir del diámetro interno teórico obtenido, se seleccionará para realizar la simulación un diámetro interno igual o seguidamente superior de la tabla A.4, sabiendo que se trata de una tubería de PVC de PN6. Finalmente se escogerá aquel diámetro que mejore en mayor medida el comportamiento hidráulico de la red de San Rafael.

1)  $P_2/\gamma = 30$  m.c.a

$$162 = 117 + 30 + \frac{8 * 0,015 * 2.032}{3,14^2 * 9,81 * D^5} * 0,075^2 + 5$$

$D_{\text{teórico}} = 0,269 \text{ m} \approx 269 \text{ mm} \longrightarrow D_{\text{real}} = 299,6 \text{ mm}$  (Dext=315 mm; e=7,7 mm)

Sustituyendo este diámetro en la nueva tubería para el riego por gravedad, el resultado de la simulación del modelo hidráulico es el siguiente:



**Figura A.10.** Simulación de la propuesta "Desconexión de una bomba del cabezal de San Rafael" para las 00:00h, con un diámetro de 299,6 mm para la tubería de riego por gravedad que une el embalse con la parte este de San Rafael Sur (nudo del hidrante 18). Fuente: Propia

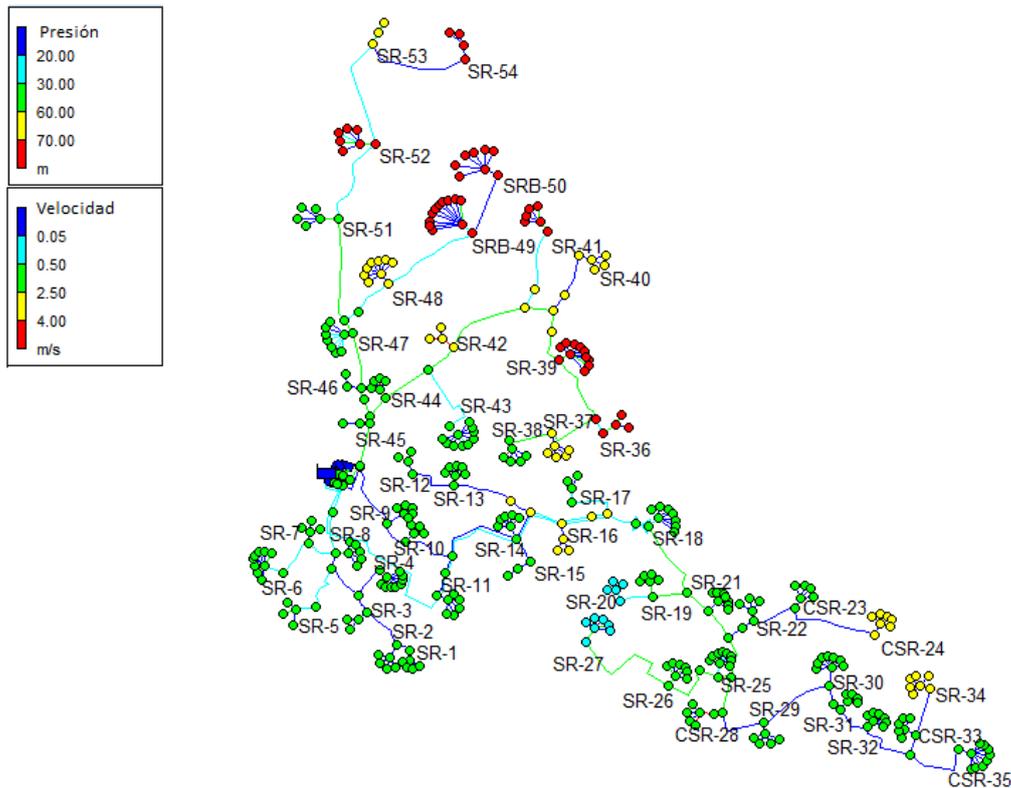
$$2) P_2/\gamma = 35 \text{ m.c.a}$$

$$162 = 117 + 35 + \frac{8 * 0,015 * 2.032}{3,14^2 * 9,81 * D^5} * 0,075^2 + 5$$

$$D_{\text{teórico}} = 0,309 \text{ m} \approx 309 \text{ mm} \longrightarrow D_{\text{real}} = 380,4 \text{ mm} \text{ (Dext} = 400 \text{ mm ; e} = 9,8 \text{ mm)}$$

Sustituyendo este diámetro en la nueva tubería para el riego por gravedad, el resultado de la simulación del modelo hidráulico es el siguiente:

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)



**Figura A.11.** Simulación de la propuesta "Desconexión de una bomba del cabezal de San Rafael" para las 00:00h, con un diámetro de 380,4 mm para la tubería de riego por gravedad que une el embalse con la parte este de San Rafael Sur (nudo del hidrante 18). Fuente: Propia

Observado las dos figuras anteriores no es necesario llevar a cabo más iteraciones. No se podrían colocar diámetros por debajo de 299,6 mm porque los hidrantes 20 y 27 presentarían presiones muy por debajo de 20 m.c.a (ya que la presión en el punto de unión de la nueva línea debería ser menor a 30 m.c.a). Por otro lado, diámetros superiores a 299,6 mm (como por ejemplo 380,4 m.c.a) dan velocidades muy bajas en la nueva tubería de riego por gravedad y elevan las presiones en los nudos más al este; por lo que finalmente, se ha escogido el diámetro de 299,6 mm debido a que presenta un valor de velocidad óptimo a lo largo de todo el día de simulación (miércoles) en la nueva línea y da lugar a la eliminación de las sobrepresiones del este de San Rafael Sur, dejando a todos los hidrantes y tomas dentro del intervalo recomendado de presión por los técnicos del Sector 4 (a excepción de los hidrantes 20 y 27).

## 5.2. Conexión con la red de Sagrada Familia

### 5.2.1. Iteración para el Cálculo del Diámetro de la Nueva Tubería

La ecuación desarrollada en el apartado 6.4.1 del documento "Memoria Descriptiva" a partir de la ecuación de Bernoulli es:

$$141 = 110 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{8 * 0,015 * 489}{3,14^2 * 9,81 * D^5} * 0,068^2$$

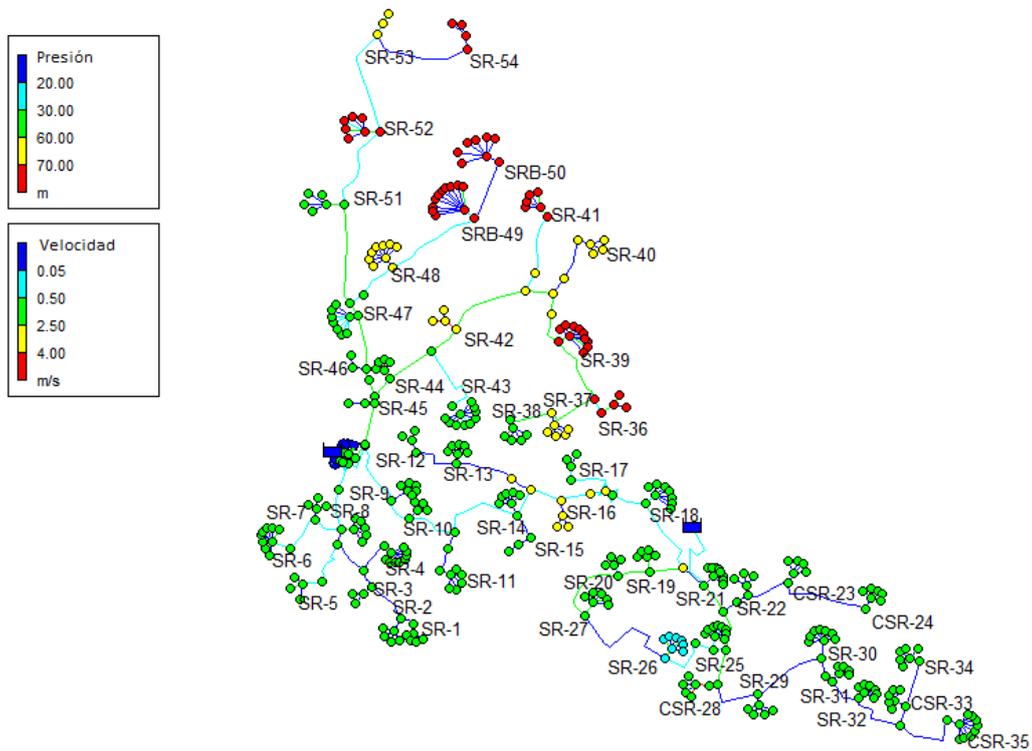
Se empezará a iterar con los valores de presión más bajos cercanos o incluidos en el intervalo recomendado por los técnicos (30-60 m.c.a) y se irá aumentando, ya que la presión crecerá en la red debido al descenso de cota. A partir del diámetro interno teórico obtenido, se seleccionará para realizar la simulación un diámetro interno igual o seguidamente superior de la tabla A.4, sabiendo que se trata de una tubería de PVC de PN6. Finalmente se escogerá aquel diámetro que mejore en mayor medida el comportamiento hidráulico de la red de San Rafael.

1)  $P_2/\gamma = 30$  m.c.a

$$141 = 110 + 30 + \frac{8 * 0,015 * 489}{3,14^2 * 9,81 * D^5} * 0,068^2$$

$$D_{\text{teórico}} = 0,309 \text{ m} \approx 309 \text{ mm} \longrightarrow D_{\text{real}} = 380,4 \text{ mm (Dext} = 400 \text{ mm; e} = 9,8 \text{ mm)}$$

Sustituyendo este diámetro en la nueva tubería para el riego por gravedad, el resultado de la simulación del modelo hidráulico es el siguiente:



**Figura A.12.** Simulación de la propuesta "Conexión con la red de Sagrada Familia" para las 00:00h, con un diámetro de 380,4 mm para la tubería de riego por gravedad que une la conducción de la red de Sagrada Familia representada mediante un embalse con la parte este de San Rafael Sur (nudo del hidrante 21). Fuente: Propia

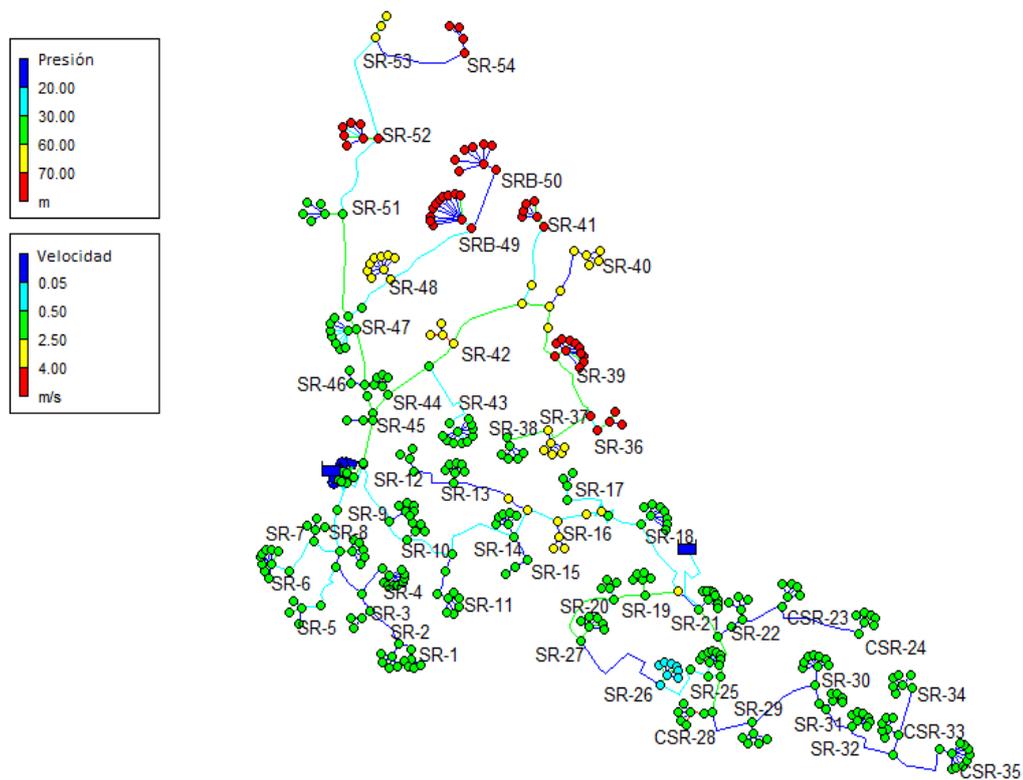
$$2) P_2/\gamma = 29 \text{ m.c.a}$$

$$141 = 110 + 29 + \frac{8 * 0,015 * 489}{3,14^2 * 9,81 * D^5} * 0,068^2$$

$$D_{\text{teórico}} = 0,269 \text{ m} \approx 269 \text{ mm} \longrightarrow D_{\text{real}} = 299,6 \text{ mm (Dext} = 315 \text{ mm; e} = 7,7 \text{ mm)}$$

Sustituyendo este diámetro en la nueva tubería para el riego por gravedad, el resultado de la simulación del modelo hidráulico es el siguiente:

## Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)



**Figura A.13.** Simulación de la propuesta "Conexión con la red de Sagrada Familia" para las 00:00h, con un diámetro de 299,6 mm para la tubería de riego por gravedad que une la conducción de la red de Sagrada Familia representada mediante un embalse con la parte este de San Rafael Sur (nudo del hidrante 21). Fuente: Propia

Como se puede observar en la figura A.12 el diámetro de 380,4 mm para la tubería de unión entre la red de estudio y la red de Sagrada Familia da lugar a unos valores correctos de presión en el este de San Rafael Sur. Sin embargo, la velocidad en dicha tubería es bastante pequeña (de 0,29 m/s para las 00:00h) por lo que se ha tratado de buscar diámetros de menor valor para aumentar la velocidad de circulación de agua en dicha tubería (debido a la relación inversamente proporcional que presentan la sección de una conducción y la velocidad del agua en su interior). Dicha búsqueda se ha realizado disminuyendo la presión en el punto 2 (nudo del hidrante 21 con la red) sin alejarse en gran medida del intervalo recomendado por los técnicos de la instalación. Por lo que finalmente se ha iterado con el valor de presión de 29 m.c.a, pudiendo comprobar mediante las figuras A.12 y A.13 que los valores de presión no varían en exceso y que la velocidad para el diámetro interior obtenido a partir del segundo cálculo (299,6 mm) es de 0,47 m/s para las 00:00h (cercano a las 0,5 m/s, mínimo recomendado). Por ello, se ha seleccionado este diámetro para la nueva tubería.

Por otro lado, en base a los resultados obtenidos no sería posible colocar un diámetro de 237,6 mm (250 mm de diámetro exterior) debido a que se disminuiría las presiones del este de

San Rafael Sur en exceso, ni mayores a 380,4 mm ya que la velocidad en la unión entre las dos redes sería muy pequeña.

## ANEXO 6. PRESUPUESTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORA

El siguiente anexo recoge los presupuestos de las propuestas de mejora no seleccionadas para llevar a cabo el proceso de optimización del funcionamiento de la red de riego de San Rafael, cuya elección en base a criterios económicos y de funcionamiento ha sido argumentada en el apartado 7 del documento "Memoria Descriptiva". Por otro lado, el presupuesto de la opción elegida "Colocación de Válvulas Reductoras de Presión" (ver apartado 6.2 del documento "Memoria Descriptiva") se encuentra en el documento "Presupuestos", al igual que la información previa en cuanto a normativa para elaboración de los presupuestos que se muestran a continuación:

### 6.1. Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro

**Tabla A.6.** Cuadro de precios de mano de obra para la alternativa "Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/h)	Cantidad (h)	Total (€)
1	MO.01	Peón especializado	10,32	1,1	<b>11,35</b>
2	MO.02	Peón ordinario	10,24	17,534	<b>179,55</b>
3	MO.03	Oficial primera	10,71	9,041	<b>96,83</b>
4	MO.04	Ayudante	10,4	7,941	<b>82,59</b>
<b>Total mano de obra</b>					<b>370,32</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

**Tabla A.7.** Cuadro de precios de maquinaria para la alternativa "Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/und)	Cantidad		Total (€)
1	MQ.02	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3	43,3	1,803	h	<b>78,07</b>
2	MQ.03	Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man	4,7	0,039	h	<b>0,18</b>
3	MQ.04	Panel lig.alumin.200x50cm.(300p)	0,8	15,68	ud	<b>12,54</b>
4	MQ.05	Codal met.exten.p/panel aluminio	0,19	15,68	ud	<b>2,98</b>
5	MQ.06	Retrocargadora neum. 100 CV	39,39	1,4	h	<b>55,15</b>
6	MQ.07	Bandeja vib.300kg (70 cm) rever.	4,91	0,941	h	<b>4,62</b>
7	MQ.08	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	39,65	2,712	h	<b>107,53</b>
8	MQ.09	Camión basculante 6x4 20 t.	32,36	0,517	h	<b>16,73</b>
9	MQ.10	Canon de tierra a vertedero	0,26	3,136	m <sup>3</sup>	<b>0,82</b>
<b>Total Maquinaria</b>						<b>278,62</b>

**Tabla A.8.** Cuadro de precios de materiales para la alternativa "Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/und)	Cantidad		Total (€)
1	MT.01	Arena de río 0/5 mm.	11,34	1,602	m <sup>3</sup>	<b>18,17</b>
2	MT.02	Adhesivo para tubos de PVC	18,79	1,255	kg	<b>23,58</b>
3	MT.03	Tub.liso PVC san.j.peg.125mm s.F	4,87	5	m	<b>24,35</b>
4	MT.04	Tub.liso PVC san.j.peg.160mm s.F	3,3	2	m	<b>6,6</b>
5	MT.05	Tub.liso PVC san.j.peg.110mm s.F	4,27	2	m	<b>8,54</b>
6	MT.06	Tub.liso PVC san.j.peg.90mm se.F	1,8	1	m	<b>1,8</b>
7	MT.07	Tub.liso PVC san.j.peg.110mm s.F	4,27	1	m	<b>4,27</b>
8	MT.09	Agua	0,76	6,272	m <sup>3</sup>	<b>4,77</b>
<b>Total Materiales</b>						<b>92,08</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

**Tabla A.9.** Cuadro de precios para la propuesta "Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro".  
Fuente: Propia

<b>CUADRO DE PRECIOS</b>				
Nº	Designación	Importe		
		Parcial (€)	Total (€)	
1.1	<b>1 Excavación de tierras</b>			
	m2 Retirada y apilado de capa de tierra vegetal superficial, por medios mecánicos, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,100 h	10,240	1,02
	(Maquinaria)			
	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3	0,230 h	43,300	9,96
	Medios auxiliares 3%			0,33
	3% Costes indirectos			0,34
				<b>11,65</b>
1.2	m3 Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,100 h.	10,240	1,02
	(Maquinaria)			
	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	0,330 h	39,650	13,08
	Medios auxiliares 3%			0,42
	3% Costes indirectos			0,44
				<b>14,96</b>
1.3	m3 Principalmente se usa por la existencias de otras tuberías. Excavación en zanjas, hasta 2 m. de profundidad, en terrenos compactos, por medios manuales, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	2,200 h	10,240	22,53
	Medios auxiliares 3%			0,68
	3% Costes indirectos			0,70
				<b>23,91</b>
2.1	<b>2 Retirada de las tuberías y relleno, extendido y compactado de arenas</b>			
	m Donde se presupuesta el precio de la retirada de las tuberías (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,250 h	10,240	2,56
	Oficial primera	0,500 h	10,710	5,36

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

	Ayudante (Maquinaria)	0,500 h	10,400	5,20	
	Retrocargadora neum. 100 CV	0,100 h	39,390	3,94	
	Medios auxiliares 3%			0,51	
	3% Costes indirectos			0,53	
2.2	m3 Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena, por medios manuales, con rodillo vibratorio, considerando la arena a pie de tajo. (Mano de obra)				<b>18,10</b>
	Peón ordinario (Maquinaria)	0,700 h	10,240	7,17	
	Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man (Materiales)	0,050 h	4,700	0,24	
	Arena de río 0/5 mm.	1,150 m <sup>3</sup>	11,340	13,04	
	Medios auxiliares 3%			0,61	
	3% Costes indirectos			0,63	
2.3	m2 Entibación cuajada en zanjas de hasta 3 m. de profundidad, mediante paneles ligeros de aluminio y codales extensibles metálicos. (Mano de obra)				<b>21,69</b>
	Oficial primera	0,120 h	10,710	1,29	
	Ayudante (Maquinaria)	0,120 h	10,400	1,25	
	Panel lig.alumin.200x50cm.(300p)	2,000 ud	0,800	1,60	
	Codal met.exten.p/panel aluminio	2,000 ud	0,190	0,38	
	Medios auxiliares 3%			0,14	
	3% Costes indirectos			0,14	
3.1	<b>3 Retirada e instalación de las tuberías</b> m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 125 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 3'1 mm., colocada sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas. (Mano de obra)				<b>4,80</b>
	Peón especializado	0,100 h	10,320	1,03	
	Oficial primera (Materiales)	0,100 h	10,710	1,07	
	Arena de río 0/5 mm.	0,065 m <sup>3</sup>	11,340	0,74	
	Adhesivo para tubos de PVC	0,115 kg	18,790	2,16	

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

	Tub.liso PVC san.j.peg.125mm	1,000 m	4,870	4,87	
	s.F				
	Medios auxiliares 3%			0,30	
	3% Costes indirectos			0,31	
3.2	m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 160 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 3'9 mm., colocado sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas. (Mano de obra)				<b>10,48</b>
	Peón especializado	0,100 h	10,320	1,03	
	Oficial primera	0,100 h	10,710	1,07	
	(Materiales)				
	Arena de río 0/5 mm.	0,070 m <sup>3</sup>	11,340	0,79	
	Adhesivo para tubos de PVC	0,150 kg	18,790	2,82	
	Tub.liso PVC san.j.peg.160mm	1,000 m	3,300	3,30	
	s.F				
	Medios auxiliares 3%			0,27	
	3% Costes indirectos			0,28	
3.3	m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 110 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 2.7 mm., colocada sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas. (Mano de obra)				<b>9,56</b>
	Peón especializado	0,100 h	10,320	1,03	
	Oficial primera	0,100 h	10,710	1,07	
	(Materiales)				
	Arena de río 0/5 mm.	0,060 m <sup>3</sup>	11,340	0,68	
	Adhesivo para tubos de PVC	0,100 kg	18,790	1,88	
	Tub.liso PVC san.j.peg.110mm	1,000 m	4,270	4,27	
	s.F				
	Medios auxiliares 3%			0,27	
	3% Costes indirectos			0,28	
3.4	m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 90 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 2'7 mm., colocada sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas. (Mano de obra)				<b>9,48</b>
	Peón especializado	0,100 h	10,320	1,03	
	Oficial primera	0,100 h	10,710	1,07	

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

	(Materiales)				
	Arena de río 0/5 mm.	0,055 m <sup>3</sup>	11,340	0,62	
	Adhesivo para tubos de PVC	0,080 kg	18,790	1,50	
	Tub.liso PVC san.j.peg.90mm	1,000 m	1,800	1,80	
	se.F				
	Medios auxiliares 3%			0,18	
	3% Costes indirectos			0,19	
3.5	m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 110 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 4.2 mm., colocada sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas.				<b>6,39</b>
	(Mano de obra)				
	Peón especializado	0,100 h	10,320	1,03	
	Oficial primera	0,100 h	10,710	1,07	
	(Materiales)				
	Arena de río 0/5 mm.	0,060 m <sup>3</sup>	11,340	0,68	
	Adhesivo para tubos de PVC	0,100 kg	18,790	1,88	
	Tub.liso PVC san.j.peg.110mm	1,000 m	4,270	4,27	
	s.F				
	Medios auxiliares 3%			0,27	
	3% Costes indirectos			0,28	
4.1	<b>4 Relleno, extendido y compactado de tierras propias</b> m3 Relleno, extendido y compactado de tierras propias en zanjas, por medios manuales, con plancha vibrante, en tongadas de 30 cm. de espesor, sin aporte de tierras, incluso regado de las mismas.				<b>9,48</b>
	(Mano de obra)				
	Peón ordinario	0,800 h	10,240	8,19	
	(Maquinaria)				
	Bandeja vib.300kg (70 cm) rever.	0,150 h	4,910	0,74	
	(Materiales)				
	Agua	1,000 m <sup>3</sup>	0,760	0,76	
	Medios auxiliares 3%			0,29	
	3% Costes indirectos			0,30	
5.1	<b>5 Transporte de tierras</b> m3 Carga de tierras procedentes de excavaciones, sobre camión basculante, con retroexcavadora, sin incluir el transporte.				<b>10,28</b>
	(Maquinaria)				
	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	0,040 h	39,650	1,59	

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

	Camión basculante 6x4 20 t.	0,040 h	32,360	1,29	
	Medios auxiliares 3%			0,09	
	3% Costes indirectos			0,09	
					<b>3,06</b>
5.2	m3 Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20 km., considerando ida y vuelta, con camión bañera basculante y canon de vertedero sin incluir la carga. (Maquinaria)				
	Camión basculante 6x4 20 t.	0,125 h	32,360	4,05	
	Canon de tierra a vertedero	1,000 m <sup>3</sup>	0,260	0,26	
	Medios auxiliares 3%			0,13	
	3% Costes indirectos			0,13	
					<b>4,57</b>

**Tabla A.10.** Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación para la propuesta "Sustitución por Tuberías de Mayor Diámetro". Fuente: Propia

### Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación.

1	Excavación de tierras	283,61
2	Retirada de las tuberías y relleno, extendido y compactado de arenas	308,03
3	Retirada e instalación de las tuberías	106,35
4	Relleno, extendido y compactado de tierras propias	64,48
5	Transporte de tierras	23,93
	<b>Total .....</b>	<b>786,40</b>

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **SETECIENTOS OCHENTA Y SEIS EUROS CON CUARENTA CÉNTIMOS.**

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

Gastos generales 13%	102,23
Beneficio industrial 6%	47,18
Presupuesto ejecución por contrata	935,81

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de **NOVECIENTOS TREINTA Y CINCO EUROS CON OCHENTA Y UN CÉNTIMOS.**

IVA 21%	196,52
Presupuesto base de licitación	1132,33

Asciende el presupuesto base de licitación a la expresada cantidad de **MIL CIENTO TREINTA Y DOS EUROS CON TREINTA Y TRES CÉNTIMOS**

## 6.2. Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael

**Tabla A.11.** Cuadro de precios de mano de obra para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/h)	Cantidad (h)	Total (€)
1	MO.02	Peón ordinario	10,24	2.544,23	<b>26.052,96</b>
2	MO.03	Oficial primera	10,71	506,829	<b>5.428,14</b>
3	MO.04	Ayudante	10,4	296,068	<b>3.079,11</b>
4	MO.06	Oficial 1ª Ferrallista	10,71	3,168	<b>33,93</b>
5	MO.07	Ayudante-Ferrallista	10,4	7,668	<b>79,75</b>
6	MO.08	Ayudante-Carpintero	9,68	2,25	<b>21,78</b>
7	MO.09	Oficial 1ª Cerrajero	11,44	0,5	<b>5,72</b>
8	MO.10	Ayudante-Cerrajero	10,56	0,25	<b>2,64</b>
9	MO.11	Oficial 1ª Pintor	10,71	5,67	<b>60,73</b>
10	MO.12	Ayudante-Pintor	10,4	5,67	<b>58,97</b>
11	MT.02	Oficial primera	10,71	56,481	<b>604,91</b>
12	MT.03	Peón ordinario	10,24	25,316	<b>259,24</b>
<b>Total mano de obra</b>					<b>35.687,88</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

**Tabla A.12.** Cuadro de precios de maquinaria para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/und)	Cantidad		Total (€)
1	MQ.02	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3	43,3	350,52	h	<b>15.177,52</b>
2	MQ.03	Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man	4,7	6,905	h	<b>32,45</b>
3	MQ.04	Panel lig.alumin.200x50cm.(300p)	0,8	3.048,00	ud	<b>2.438,40</b>
4	MQ.05	Codal met.exten.p/panel aluminio	0,19	3.048,00	ud	<b>579,12</b>
5	MQ.06	Retrocargadora neum. 100 CV	39,39	19,074	h	<b>751,32</b>
6	MQ.07	Bandeja vib.300kg (70 cm) rever.	4,91	295,656	h	<b>1.451,67</b>
7	MQ.08	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	39,65	943,044	h	<b>37.391,69</b>
8	MQ.09	Camión basculante 6x4 20 t.	32,36	130,431	h	<b>4.220,75</b>
9	MQ.10	Canon de tierra a vertedero	0,26	790,49	m <sup>3</sup>	<b>205,53</b>
10	MQ.11	Pala carg.neumát. 85 CV/1,2m3	33,61	0,4	h	<b>13,44</b>
11	MQ.12	Retrocargadora neum. 75 CV	32,15	1,228	h	<b>39,48</b>
12	MQ.13	Vibrador hormigón gasolina 75 mm	2,25	2,059	h	<b>4,63</b>
13	MQ.15	Hormigonera 200 l. gasolina	1,59	1,534	h	<b>2,44</b>
<b>Total Maquinaria</b>						<b>62.308,44</b>

**Tabla A.13.** Cuadro de precios de materiales para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/und)	Cantidad		Total (€)
1	MT.01	Arena de río 0/5 mm.	11,34	163,021	m <sup>3</sup>	<b>1.848,66</b>
2	MT.04	Arena de río 0/6 mm.	11,394	172,72	m <sup>3</sup>	<b>1.958,64</b>
3	MT.05	Adhesivo para tubos de PVC	18,79	619,76	kg	<b>11.645,29</b>
4	MT.06	Albañal PVC saneam.j.peg.315 mm.	15,29	2.032,00	m	<b>31.069,28</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

5	MT.09	Agua	0,76	1.972,20	m <sup>3</sup>	<b>1.498,87</b>
6	MT.10	Hormigón HA-25/B/40/Ila central	51,34	8,712	m <sup>3</sup>	<b>447,27</b>
7	MT.11	Acero corrugado B 500 S	1,51	342,144	kg	<b>516,64</b>
8	MT.12	Alambre atar 1,30 mm.	1,2	1,584	kg	<b>1,9</b>
9	MT.13	Horm.elem. no rest.HM-17,5/B/20 central	43,89	5,25	m <sup>3</sup>	<b>230,42</b>
10	MT.14	Grava 40/80 mm.	9,97	8,25	m <sup>3</sup>	<b>82,25</b>
11	MT.15	Cargadero h.19 cm. D/T	7,15	10	m	<b>71,5</b>
12	MT.16	Acero laminado E 275(A 42b)	1,48	240,15	kg	<b>355,42</b>
13	MT.17	Bloque hormigón gris 40x20x20	0,5	791,7	ud	<b>395,85</b>
14	MT.18	Cemento CEM II/B-M 32,5 R sacos	90,33	0,959	t	<b>86,63</b>
15	MT.19	Puntas 20x100	1,02	1,228	kg	<b>1,25</b>
16	MT.20	Yeso negro en sacos	48	0,261	t	<b>12,53</b>
17	MT.21	Placa fibro. granonda natu.e=6	9,97	35,88	m <sup>2</sup>	<b>357,72</b>
18	MT.22	Caballote articu. natural	12,2	1,872	m	<b>22,84</b>
19	MT.23	Tornillo autotaladran.6,3x120	0,84	68,85	ud	<b>57,83</b>
20	MT.24	Pasta para juntas placas de yeso	0,83	9,87	kg	<b>8,19</b>
21	MT.25	Perfil laminado U 34x31x34 mm	1,06	14,7	m	<b>15,58</b>
22	MT.26	Cinta juntas placas cart-yeso	0,07	39,69	m	<b>2,78</b>
23	MT.27	Perfil techo continuo T/C	1,23	54,6	m	<b>67,16</b>
24	MT.28	Tornillo PM-25 mm.	0,01	210	ud	<b>2,1</b>
25	MT.29	Tornillo MM-9,5 mm.	0,03	105	ud	<b>3,15</b>
26	MT.30	Pieza empalme techo T-40	0,26	6,72	ud	<b>1,75</b>
27	MT.31	Horquilla techo T-40	0,38	26,46	ud	<b>10,05</b>
28	MT.32	Pasta de agarre para placa yeso	0,57	11,13	kg	<b>6,34</b>
29	MT.33	Cerco direc.pino melis m.70x50mm	12,56	26	m	<b>326,56</b>
30	MT.34	Tapajunt. DM LR pino melis 70x10	1,65	51	m	<b>84,15</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

31	MT.35	P.paso CLH pino para pintar	38,25	5	ud	<b>191,25</b>
32	MT.36	Pernio latón 80/95 mm. codillo	0,52	15	ud	<b>7,8</b>
33	MT.37	Tornillo ensamble zinc/pavón	0,02	90	ud	<b>1,8</b>
34	MT.38	Pomo latón normal con resbalón	12,82	5	ud	<b>64,1</b>
35	MT.39	Premarco aluminio	2,31	9,6	m	<b>22,18</b>
36	MT.40	Ventana corred.2 hojas 120x120cm	56,8	2	ud	<b>113,6</b>
37	MT.41	Luna pulida incolora 6mm.	46,65	2,897	m2	<b>135,15</b>
38	MT.42	Instalac. eléctrica caseta 20 m2	180	1	ud	<b>180</b>
39	MT.43	Imprimación poro abierto (fondo)	4,91	1,68	l.	<b>8,25</b>
40	MT.44	Fondo esmalte satinado	5,21	2,52	kg	<b>13,13</b>
41	MT.45	Fondo esmalte mate	4,53	1,575	kg	<b>7,13</b>
42	MT.46	Pequeño material	0,92	1,68	ud	<b>1,55</b>
43	P03AC090	Acero corrugado B 400 S	1,14	140,07	kg	<b>159,68</b>
<b>Total Materiales</b>						<b>52.094,22</b>

**Tabla A.14.** Cuadro de precios para la propuesta "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael". Fuente: Propia

<b>CUADRO DE PRECIOS</b>			
Nº	Designación	Importe	
		Parcial (€)	Total (€)
1.1	<b>1 Excavación de tierras</b>		
	m2 Retirada y apilado de capa de tierra vegetal superficial, por medios mecánicos, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)		
	Peón ordinario	0,100 h	10,240
	(Maquinaria)		
	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3	0,230 h	43,300
	Medios auxiliares 3%		0,33
	3% Costes indirectos		0,34

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

1.2	m3 Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra) Peón ordinario (Maquinaria) Excav.hidr.neumáticos 100 CV Medios auxiliares 3% 3% Costes indirectos	0,100 h 10,240 0,330 h 39,650	1,02 13,08 0,42 0,44	<b>11,65</b>
1.3	m3 Principalmente se usa por la existencias de otras tuberías. Excavación en zanjas, hasta 2 m. de profundidad, en terrenos compactos, por medios manuales, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra) Peón ordinario Medios auxiliares 3% 3% Costes indirectos	2,200 h 10,240	22,53 0,68 0,70	<b>14,96</b>
2.1	<b>2 Retirada de las tuberías y relleno, extendido y compactado de arenas</b> m Donde se presupuesta el precio de la retirada de las tuberías (Mano de obra) Peón ordinario Oficial primera Ayudante (Maquinaria) Retrocargadora neum. 100 CV Medios auxiliares 3% 3% Costes indirectos	0,250 h 10,240 0,500 h 10,710 0,500 h 10,400 0,100 h 39,390	2,56 5,36 5,20 3,94 0,51 0,53	<b>23,91</b>
2.2	m3 Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena, por medios manuales, con rodillo vibratorio, considerando la arena a pie de tajo. (Mano de obra) Peón ordinario (Maquinaria) Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man (Materiales)	0,700 h 10,240 0,050 h 4,700	7,17 0,24	<b>18,10</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

	Arena de río 0/5 mm.	1,150 m <sup>3</sup>	11,340	13,04	
	Medios auxiliares 3%			0,61	
	3% Costes indirectos			0,63	
2.3	m2 Entibación cuajada en zanjas de hasta 3 m. de profundidad, mediante paneles ligeros de aluminio y codales extensibles metálicos. (Mano de obra)				<b>21,69</b>
	Oficial primera	0,120 h	10,710	1,29	
	Ayudante	0,120 h	10,400	1,25	
	(Maquinaria)				
	Panel	2,000 ud	0,800	1,60	
	lig.alumin.200x50cm.(300p)				
	Codal met.exten.p/panel	2,000 ud	0,190	0,38	
	aluminio				
	Medios auxiliares 3%			0,14	
	3% Costes indirectos			0,14	
3.1	<b>3 Instalación de las tuberías</b> m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 315 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 7'7 mm., colocado sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas. (Mano de obra)				<b>4,80</b>
	Peón ordinario	0,110 h	10,240	1,13	
	Oficial primera	0,110 h	10,710	1,18	
	(Materiales)				
	Arena de río 0/5 mm.	0,085 m <sup>3</sup>	11,340	0,96	
	Adhesivo para tubos de PVC	0,305 kg	18,790	5,73	
	Albañal PVC	1,000 m	15,290	15,29	
	saneam.j.peg.315 mm.				
	Medios auxiliares 3%			0,73	
	3% Costes indirectos			0,75	
4.1	<b>4 Construcción de la caseta del filtro y filtro</b> ud Ejecución de caseta para filtro de dimensiones 5x4 con una totalidad de 20 m2 de superficie formada por: Preparación del terreno, excavación de zanjas, cimentación de hormigón armado, solera de 10 cm. sobre encachado de piedra, cerramiento de bloque de hormigón gris 40x20x20 a una cara vista enfoscado en su interior con mortero de cemento 1/4, falso techo de placas aislantes, cubierta de placa de fibrocemento g.o. gris sobre perfilería metálica, puertas en madera				<b>25,77</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

enrasada pintadas, 2 ventanas correderas de aluminio natural con luna de 6 mm. i. pintura, instalación eléctrica, p.p. de desmontaje, demolición y ayudas de albañilería, totalmente terminada. Según R.D. 486/97.			
(Mano de obra)			
Peón ordinario	13,601 h	10,240	139,27
Oficial primera	5,059 h	10,710	54,18
Ayudante	17,818 h	10,400	185,31
Oficial 1ª Ferrallista	3,168 h	10,710	33,93
Ayudante- Ferrallista	7,668 h	10,400	79,75
Ayudante-Carpintero	2,250 h	9,680	21,78
Oficial 1ª Cerrajero	0,500 h	11,440	5,72
Ayudante-Cerrajero	0,250 h	10,560	2,64
Oficial 1ª Pintor	5,670 h	10,710	60,73
Ayudante-Pintor	5,670 h	10,400	58,97
Oficial primera	56,481 h	10,710	604,91
Peón ordinario	25,315 h	10,240	259,23
(Maquinaria)			
Pala carg.neumát. 85 CV/1,2m3	0,400 h	33,610	13,44
Retrocargadora neum. 75 CV	1,228 h	32,150	39,48
Vibrador hormigón gasolina 75 mm	2,059 h	2,250	4,63
Hormigonera 200 l. gasolina	1,534 h	1,590	2,44
(Materiales)			
Arena de río 0/5 mm.	4,218 m <sup>3</sup>	11,340	47,83
Agua	1,162 m <sup>3</sup>	0,760	0,88
Hormigón HA-25/B/40/Ila central	8,712 m <sup>3</sup>	51,340	447,27
Acero corrugado B 500 S	342,144 kg	1,510	516,64
Alambre atar 1,30 mm.	1,584 kg	1,200	1,90
Horm.elem. no rest.HM-17,5/B/20 central	5,250 m <sup>3</sup>	43,890	230,42
Grava 40/80 mm.	8,250 m <sup>3</sup>	9,970	82,25
Cargadero h.19 cm. D/T	10,000 m	7,150	71,50
Acero laminado E 275(A 42b)	240,150 kg	1,480	355,42
Bloque hormigón gris 40x20x20	791,700 ud	0,500	395,85
Cemento CEM II/B-M 32,5 R sacos	0,959 t	90,330	86,63
Puntas 20x100	1,228 kg	1,020	1,25

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

Yeso negro en sacos	0,261 t	48,000	12,53
Placa fibro. granonda natu.e=6	35,880 m <sup>2</sup>	9,970	357,72
Caballote articu. natural	1,872 m	12,200	22,84
Tornillo autotaladran.6,3x120	68,850 ud	0,840	57,83
Pasta para juntas placas de yeso	9,870 kg	0,830	8,19
Perfil laminado U 34x31x34 mm	14,700 m	1,060	15,58
Cinta juntas placas cart-yeso	39,690 m	0,070	2,78
Perfil techo continuo T/C	54,600 m	1,230	67,16
Tornillo PM-25 mm.	210,000 ud	0,010	2,10
Tornillo MM-9,5 mm.	105,000 ud	0,030	3,15
Pieza empalme techo T-40	6,720 ud	0,260	1,75
Horquilla techo T-40	26,460 ud	0,380	10,05
Pasta de agarre para placa yeso	11,130 kg	0,570	6,34
Cerco direc.pino melis m.70x50mm	26,000 m	12,560	326,56
Tapajunt. DM LR pino melis 70x10	51,000 m	1,650	84,15
P.paso CLH pino para pintar	5,000 ud	38,250	191,25
Pernio latón 80/95 mm. codillo	15,000 ud	0,520	7,80
Tornillo ensamble zinc/pavón	90,000 ud	0,020	1,80
Pomo latón normal con resbalón	5,000 ud	12,820	64,10
Premarco aluminio	9,600 m	2,310	22,18
Ventana corred.2 hojas 120x120cm	2,000 ud	56,800	113,60
Luna pulida incolora 6mm.	2,897 m <sup>2</sup>	46,650	135,15
Instalac. eléctrica caseta 20 m <sup>2</sup>	1,000 ud	180,000	180,00
Imprimación poro abierto (fondo)	1,680 l.	4,910	8,25
Fondo esmalte satinado	2,520 kg	5,210	13,13
Fondo esmalte mate	1,575 kg	4,530	7,13
Pequeño material	1,680 ud	0,920	1,55
Acero corrugado B 400 S	140,070 kg	1,140	159,68
Medios auxiliares 3%			324,79
3% Costes indirectos			180,40
			<b>6.193,79</b>



Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

6.2	m3 Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20 km., considerando ida y vuelta, con camión bañera basculante y canon de vertedero sin incluir la carga. (Maquinaria)				
	Camión basculante 6x4 20 t.	0,125 h	32,360	4,05	
	Canon de tierra a vertedero	1,000 m <sup>3</sup>	0,260	0,26	
	Medios auxiliares 3%			0,13	
	3% Costes indirectos			0,13	
					<b>4,57</b>

**Tabla A.15.** Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación para la propuesta "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael". Fuente: Propia

### Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación.

1 Excavación de tierras	60.782,51
2 Retirada de las tuberías y relleno, extendido y compactado de arenas	13.762,76
3 Instalación de las tuberías	52.364,64
4 Construcción de la caseta del filtro y filtro	6.193,79
5 Relleno, extendido y compactado de tierras propias	20.262,29
6 Transporte de tierras	6.031,44
Total .....	<b>159.397,43</b>

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **CIENTO CINCUENTA Y NUEVE MIL TRESCIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS.**

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

Gastos generales 13%	20.721,66
Beneficio industrial 6%	9.563,84
Presupuesto ejecución por contrata	189.682,94

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de **CIENTO OCHENTA Y NUEVE MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y DOS EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.**

IVA 21%	39.833,42
Presupuesto base de licitación	229.516,35

Asciende el presupuesto base de licitación a la expresada cantidad de **DOSCIENTOS VEINTI NUEVE MIL QUINIENTOS DIECISEIS EUROS CON TREINTA Y CINCO CÉNTIMOS.**

### 6.2.1. Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)

**Tabla A.16.** Cuadro de precios de mano de obra para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/h)	Cantidad (h)	Total (€)
1	MO.02	Peón ordinario	10,24	6.293,13	<b>64.441,65</b>
2	MO.03	Oficial primera	10,71	1.502,11	<b>16.087,57</b>
3	MO.04	Ayudante	10,4	1.147,07	<b>11.929,51</b>
4	MO.06	Oficial 1ª Ferrallista	10,71	3,168	<b>33,93</b>
5	MO.07	Ayudante-Ferrallista	10,4	7,668	<b>79,75</b>
6	MO.08	Ayudante-Carpintero	9,68	2,25	<b>21,78</b>
7	MO.09	Oficial 1ª Cerrajero	11,44	0,5	<b>5,72</b>
8	MO.10	Ayudante-Cerrajero	10,56	0,25	<b>2,64</b>
9	MO.11	Oficial 1ª Pintor	10,71	5,67	<b>60,73</b>
10	MO.12	Ayudante-Pintor	10,4	5,67	<b>58,97</b>
11	MT.02	Oficial primera	10,71	56,481	<b>604,91</b>
12	MT.03	Peón ordinario	10,24	25,316	<b>259,24</b>
<b>Total mano de obra</b>					<b>93.586,40</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

**Tabla A.17.** Cuadro de precios de maquinaria para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/und)	Cantidad		Total (€)
1	MQ.02	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3	43,3	359,177	h	<b>15.552,36</b>
2	MQ.03	Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man	4,7	12,315	h	<b>57,88</b>
3	MQ.04	Panel lig.alumin.200x50cm.(300p)	0,8	5.208,16	ud	<b>4.166,53</b>
4	MQ.05	Codal met.exten.p/panel aluminio	0,19	5.208,16	ud	<b>989,55</b>
5	MQ.06	Retrocargadora neum. 100 CV	39,39	163,352	h	<b>6.434,44</b>
6	MQ.07	Bandeja vib.300kg (70 cm) rever.	4,91	295,656	h	<b>1.451,67</b>
7	MQ.08	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	39,65	1.161,27	h	<b>46.044,20</b>
8	MQ.09	Camión basculante 6x4 20 t.	32,36	155,732	h	<b>5.039,49</b>
9	MQ.10	Canon de tierra a vertedero	0,26	943,83	m <sup>3</sup>	<b>245,4</b>
10	MQ.11	Pala carg.neumát. 85 CV/1,2m3	33,61	0,4	h	<b>13,44</b>
11	MQ.12	Retrocargadora neum. 75 CV	32,15	1,228	h	<b>39,48</b>
12	MQ.13	Vibrador hormigón gasolina 75 mm	2,25	2,059	h	<b>4,63</b>
13	MQ.15	Hormigonera 200 l. gasolina	1,59	1,534	h	<b>2,44</b>
14	MT.07	Pisón vibrante 70 kg.	1,97	1.102,34	h	<b>2.171,60</b>
<b>Total Maquinaria</b>						<b>82.213,11</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

**Tabla A.18.** Cuadro de precios de material para la alternativa "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/und)	Cantidad		Total (€)
1	MT.01	Arena de río 0/5 mm.	11,34	394,007	m <sup>3</sup>	<b>4.468,04</b>
2	MT.04	Arena de río 0/6 mm.	11,394	172,72	m <sup>3</sup>	<b>1.958,64</b>
3	MT.05	Adhesivo para tubos de PVC	18,79	880,669	kg	<b>16.547,77</b>
4	MT.06	Albañal PVC saneam.j.peg.315 mm.	15,29	2.032,00	m	<b>31.069,28</b>
5	MT.09	Agua	0,76	3.441,98	m <sup>3</sup>	<b>2.615,91</b>
6	MT.10	Hormigón HA-25/B/40/Ila central	51,34	8,712	m <sup>3</sup>	<b>447,27</b>
7	MT.11	Acero corrugado B 500 S	1,51	342,144	kg	<b>516,64</b>
8	MT.12	Alambre atar 1,30 mm.	1,2	1,584	kg	<b>1,9</b>
9	MT.13	Horm.elem. no rest.HM-17,5/B/20 central	43,89	5,25	m <sup>3</sup>	<b>230,42</b>
10	MT.14	Grava 40/80 mm.	9,97	8,25	m <sup>3</sup>	<b>82,25</b>
11	MT.15	Cargadero h.19 cm. D/T	7,15	10	m	<b>71,5</b>
12	MT.16	Acero laminado E 275(A 42b)	1,48	240,15	kg	<b>355,42</b>
13	MT.17	Bloque hormigón gris 40x20x20	0,5	791,7	ud	<b>395,85</b>
14	MT.18	Cemento CEM II/B-M 32,5 R sacos	90,33	0,959	t	<b>86,63</b>
15	MT.19	Puntas 20x100	1,02	1,228	kg	<b>1,25</b>
16	MT.20	Yeso negro en sacos	48	0,261	t	<b>12,53</b>
17	MT.21	Placa fibro. granonda natu.e=6	9,97	35,88	m <sup>2</sup>	<b>357,72</b>
18	MT.22	Caballote articu. natural	12,2	1,872	m	<b>22,84</b>
19	MT.23	Tornillo autotaladran.6,3x120	0,84	68,85	ud	<b>57,83</b>
20	MT.24	Pasta para juntas placas de yeso	0,83	9,87	kg	<b>8,19</b>
21	MT.25	Perfil laminado U 34x31x34 mm	1,06	14,7	m	<b>15,58</b>
22	MT.26	Cinta juntas placas cart-yeso	0,07	39,69	m	<b>2,78</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

23	MT.27	Perfil techo continuo T/C	1,23	54,6	m	<b>67,16</b>
24	MT.28	Tornillo PM-25 mm.	0,01	210	ud	<b>2,1</b>
25	MT.29	Tornillo MM-9,5 mm.	0,03	105	ud	<b>3,15</b>
26	MT.30	Pieza empalme techo T-40	0,26	6,72	ud	<b>1,75</b>
27	MT.31	Horquilla techo T-40	0,38	26,46	ud	<b>10,05</b>
28	MT.32	Pasta de agarre para placa yeso	0,57	11,13	kg	<b>6,34</b>
29	MT.33	Cerco direc.pino melis m.70x50mm	12,56	26	m	<b>326,56</b>
30	MT.34	Tapajunt. DM LR pino melis 70x10	1,65	51	m	<b>84,15</b>
31	MT.35	P.paso CLH pino para pintar	38,25	5	ud	<b>191,25</b>
32	MT.36	Pernio latón 80/95 mm. codillo	0,52	15	ud	<b>7,8</b>
33	MT.37	Tornillo ensamble zinc/pavón	0,02	90	ud	<b>1,8</b>
34	MT.38	Pomo latón normal con resbalón	12,82	5	ud	<b>64,1</b>
35	MT.39	Premarco aluminio	2,31	9,6	m	<b>22,18</b>
36	MT.40	Ventana corred.2 hojas 120x120cm	56,8	2	ud	<b>113,6</b>
37	MT.41	Luna pulida incolora 6mm.	46,65	2,897	m <sup>2</sup>	<b>135,15</b>
38	MT.42	Instalac. eléctrica caseta 20 m2	180	1	ud	<b>180</b>
39	MT.43	Imprimación poro abierto (fondo)	4,91	1,68	l.	<b>8,25</b>
40	MT.44	Fondo esmalte satinado	5,21	2,52	kg	<b>13,13</b>
41	MT.45	Fondo esmalte mate	4,53	1,575	kg	<b>7,13</b>
42	MT.46	Pequeño material	0,92	1,68	ud	<b>1,55</b>
43	MT.49	Tub.liso PVC san.j.peg.160mm s.F	3,3	330,49	m	<b>1.090,62</b>
44	MT.50	Albañal PVC saneam.j.peg.200 mm.	7,21	1.112,29	m	<b>8.019,61</b>
45	P03AC090	Acero corrugado B 400 S	1,14	140,07	kg	<b>159,68</b>
<b>Total Materiales</b>						<b>69.843,35</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

**Tabla A.19.** Cuadro de precios para la propuesta "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)". Fuente: Propia

<b>CUADRO DE PRECIOS</b>				
Nº	Designación	Importe		
		Parcial (€)	Total (€)	
1.1	<b>1 Excavación de tierras</b>			
	m2 Retirada y apilado de capa de tierra vegetal superficial, por medios mecánicos, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,100 h	10,240	1,02
	(Maquinaria)			
	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3	0,230 h	43,300	9,96
	Medios auxiliares 3%			0,33
	3% Costes indirectos			0,34
				<b>11,65</b>
1.2	m3 Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,100 h	10,240	1,02
	(Maquinaria)			
	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	0,330 h	39,650	13,08
	Medios auxiliares 3%			0,42
	3% Costes indirectos			0,44
				<b>14,96</b>
1.3	m3 Principalmente se usa por la existencias de otras tuberías. Excavación en zanjas, hasta 2 m. de profundidad, en terrenos compactos, por medios manuales, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	2,200 h	10,240	22,53
	Medios auxiliares 3%			0,68
	3% Costes indirectos			0,70
2.1	<b>2 Retirada de las tuberías y relleno, extendido y compactado de arenas</b>			
	m Donde se presupuesta el precio de la retirada de las tuberías (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,250 h	10,240	2,56
	Oficial primera	0,500 h	10,710	5,36
	Ayudante	0,500 h	10,400	5,20

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

	(Maquinaria)				
	Retrocargadora neum. 100 CV	0,100 h	39,390	3,94	
	Medios auxiliares 3%			0,51	
	3% Costes indirectos			0,53	
2.2	m3 Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena, por medios manuales, con rodillo vibratorio, considerando la arena a pie de tajo. (Mano de obra)				<b>18,10</b>
	Peón ordinario	0,700 h	10,240	7,17	
	(Maquinaria)				
	Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man	0,050 h	4,700	0,24	
	(Materiales)				
	Arena de río 0/5 mm.	1,150 m <sup>3</sup>	11,340	13,04	
	Medios auxiliares 3%			0,61	
	3% Costes indirectos			0,63	
2.3	m2 Entibación cuajada en zanjas de hasta 3 m. de profundidad, mediante paneles ligeros de aluminio y codales extensibles metálicos. (Mano de obra)				<b>21,69</b>
	Oficial primera	0,120 h	10,710	1,29	
	Ayudante	0,120 h	10,400	1,25	
	(Maquinaria)				
	Panel lig.alumin.200x50cm.(300p)	2,000 ud	0,800	1,60	
	Codal met.exten.p/panel aluminio	2,000 ud	0,190	0,38	
	Medios auxiliares 3%			0,14	
	3% Costes indirectos			0,14	
3.1	<b>3 Instalación de las tuberías</b> m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 315 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 7'7 mm., colocado sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas. (Mano de obra)				<b>4,80</b>
	Peón ordinario	0,110 h	10,240	1,13	
	Oficial primera	0,110 h	10,710	1,18	
	(Materiales)				
	Arena de río 0/5 mm.	0,085 m <sup>3</sup>	11,340	0,96	
	Adhesivo para tubos de PVC	0,305 kg	18,790	5,73	
	Albañal PVC saneam.j.peg.315	1,000 m	15,290	15,29	

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

	mm.			
	Medios auxiliares 3%		0,73	
	3% Costes indirectos		0,75	
				<b>25,77</b>
	<b>4 Construcción de la caseta del filtro y filtro</b>			
4.1	ud Ejecución de caseta para filtro de dimensiones 5x4 con una totalidad de 20 m2 de superficie formada por: Preparación del terreno, excavación de zanjas, cimentación de hormigón armado, solera de 10 cm. sobre encachado de piedra, cerramiento de bloque de hormigón gris 40x20x20 a una cara vista enfoscado en su interior con mortero de cemento 1/4, falso techo de placas aislantes, cubierta de placa de fibrocemento g.o. gris sobre perfilera metálica, puertas en madera enrasada pintadas, 2 ventanas correderas de aluminio natural con luna de 6 mm. i. pintura, instalación eléctrica, p.p. de desmontaje, demolición y ayudas de albañilería, totalmente terminada. Según R.D. 486/97.			
	(Mano de obra)			
	Peón ordinario	13,601 h	10,240	139,27
	Oficial primera	5,059 h	10,710	54,18
	Ayudante	17,818 h	10,400	185,31
	Oficial 1ª Ferrallista	3,168 h	10,710	33,93
	Ayudante- Ferrallista	7,668 h	10,400	79,75
	Ayudante-Carpintero	2,250 h	9,680	21,78
	Oficial 1ª Cerrajero	0,500 h	11,440	5,72
	Ayudante-Cerrajero	0,250 h	10,560	2,64
	Oficial 1ª Pintor	5,670 h	10,710	60,73
	Ayudante-Pintor	5,670 h	10,400	58,97
	Oficial primera	56,481 h	10,710	604,91
	Peón ordinario	25,315 h	10,240	259,23
	(Maquinaria)			
	Pala carg.neumát. 85 CV/1,2m3	0,400 h	33,610	13,44
	Retrocargadora neum. 75 CV	1,228 h	32,150	39,48
	Vibrador hormigón gasolina 75 mm	2,059 h	2,250	4,63
	Hormigonera 200 l. gasolina	1,534 h	1,590	2,44
	(Materiales)			
	Arena de río 0/5 mm.	4,218 m <sup>3</sup>	11,340	47,83
	Agua	1,162 m <sup>3</sup>	0,760	0,88
	Hormigón HA-25/B/40/Ila central	8,712 m <sup>3</sup>	51,340	447,27
	Acero corrugado B 500 S	342,144 kg	1,510	516,64
	Alambre atar 1,30 mm.	1,584 kg	1,200	1,90
	Horm.elem. no rest.HM-17,5/B/20 central	5,250 m <sup>3</sup>	43,890	230,42
	Grava 40/80 mm.	8,250 m <sup>3</sup>	9,970	82,25

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

Cargadero h.19 cm. D/T	10,000 m	7,150	71,50
Acero laminado E 275(A 42b)	240,150 kg	1,480	355,42
Bloque hormigón gris 40x20x20	791,700 ud	0,500	395,85
Cemento CEM II/B-M 32,5 R sacos	0,959 t	90,330	86,63
Puntas 20x100	1,228 kg	1,020	1,25
Yeso negro en sacos	0,261 t	48,000	12,53
Placa fibro. granonda natu.e=6	35,880 m2	9,970	357,72
Caballete articu. natural	1,872 m	12,200	22,84
Tornillo autotaladran.6,3x120	68,850 ud	0,840	57,83
Pasta para juntas placas de yeso	9,870 kg	0,830	8,19
Perfil laminado U 34x31x34 mm	14,700 m	1,060	15,58
Cinta juntas placas cart-yeso	39,690 m	0,070	2,78
Perfil techo continuo T/C	54,600 m	1,230	67,16
Tornillo PM-25 mm.	210,000 ud	0,010	2,10
Tornillo MM-9,5 mm.	105,000 ud	0,030	3,15
Pieza empalme techo T-40	6,720 ud	0,260	1,75
Horquilla techo T-40	26,460 ud	0,380	10,05
Pasta de agarre para placa yeso	11,130 kg	0,570	6,34
Cerco direc.pino melis m.70x50mm	26,000 m	12,560	326,56
Tapajunt. DM LR pino melis 70x10	51,000 m	1,650	84,15
P.paso CLH pino para pintar	5,000 ud	38,250	191,25
Pernio latón 80/95 mm. codillo	15,000 ud	0,520	7,80
Tornillo ensamble zinc/pavón	90,000 ud	0,020	1,80
Pomo latón normal con resbalón	5,000 ud	12,820	64,10
Premarco aluminio	9,600 m.	2,310	22,18
Ventana corred.2 hojas 120x120cm	2,000 ud	56,800	113,60
Luna pulida incolora 6mm.	2,897 m <sup>2</sup>	46,650	135,15
Instalac. eléctrica caseta 20 m2	1,000 ud	180,000	180,00
Imprimación poro abierto (fondo)	1,680 l.	4,910	8,25
Fondo esmalte satinado	2,520 kg	5,210	13,13
Fondo esmalte mate	1,575 kg	4,530	7,13
Pequeño material	1,680 ud	0,920	1,55
Acero corrugado B 400 S	140,070 kg	1,140	159,68
Medios auxiliares 3%			324,79
3% Costes indirectos			180,40
			<b>6.193,79</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

4.2	<p>Ud Incluye: Replanteo. Colocación y fijación del filtro a la tubería. Conexionado. Así como la tubería de drenaje y su montaje</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p> <p>(Mano de obra)</p> <p>Oficial 1ª fontanero. 0,150 h 16,180 2,43</p> <p>Ayudante fontanero. 0,150 h 14,680 2,20</p> <p>(Materiales)</p> <p>Filtro malla 1,000 ud 306,890 306,89</p> <p>Material auxiliar para instalaciones de fontanería. 1,000 ud 1,400 1,40</p> <p>Medios auxiliares 3% 9,39</p> <p>3% Costes indirectos 9,67</p>		
			<b>331,98</b>
5.1	<p><b>5 Relleno, extendido y compactado de tierras propias</b></p> <p>m3 Relleno, extendido y compactado de tierras propias en zanjas, por medios manuales, con plancha vibrante, en tongadas de 30 cm. de espesor, sin aporte de tierras, incluso regado de las mismas.</p> <p>(Mano de obra)</p> <p>Peón ordinario 0,800 h 10,240 8,19</p> <p>(Maquinaria)</p> <p>Bandeja vib.300kg (70 cm) rever. 0,150 h 4,910 0,74</p> <p>(Materiales)</p> <p>Agua 1,000 m<sup>3</sup> 0,760 0,76</p> <p>Medios auxiliares 3% 0,29</p> <p>3% Costes indirectos 0,30</p>		
			<b>10,28</b>
6.1	<p><b>6 Transporte de tierras</b></p> <p>m3 Carga de tierras procedentes de excavaciones, sobre camión basculante, con retroexcavadora, sin incluir el transporte.</p> <p>(Maquinaria)</p> <p>Excav.hidr.neumáticos 100 CV 0,040 h 39,650 1,59</p> <p>Camión basculante 6x4 20 t. 0,040 h 32,360 1,29</p> <p>Medios auxiliares 3% 0,09</p> <p>3% Costes indirectos 0,09</p>		
6.2	<p>m3 Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20 km., considerando ida y vuelta, con camión bañera basculante y canon de vertedero sin incluir la carga.</p> <p>(Maquinaria)</p>		<b>3,06</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

	Camión basculante 6x4 20 t.	0,125 h	32,360	4,05	
	Canon de tierra a vertedero	1,000 m <sup>3</sup>	0,260	0,26	
	Medios auxiliares 3%			0,13	
	3% Costes indirectos			0,13	
					<b>4,57</b>
	<b>7 Optimización del modelo</b>				
7.1	m2 Desbroce y limpieza superficial del terreno por medios mecánicos, sin carga ni transporte al vertedero y con p.p. de medios auxiliares. (Mano de obra)				
	Peón ordinario	0,005 h	10,240	0,05	
	(Maquinaria)				
	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3	0,008 h	43,300	0,35	
	3% Costes indirectos			0,01	
					<b>0,41</b>
7.2	m3 Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero y con p.p. de medios auxiliares. (Mano de obra)				
	Peón ordinario	0,125 h	10,240	1,28	
	(Maquinaria)				
	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	0,196 h	39,650	7,77	
	3% Costes indirectos			0,27	
					<b>9,32</b>
7.3	m3 Excavación en zanjas, hasta 2 m. de profundidad, en terrenos compactos, por medios manuales, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero y con p.p. de medios auxiliares. (Mano de obra)				
	Peón ordinario	2,200 h	10,240	22,53	
	3% Costes indirectos			0,68	
					<b>23,21</b>
7.4	m3 Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena, por medios manuales, con rodillo vibratorio, considerando la arena a pie de tajo, y con p.p. de medios auxiliares. (Mano de obra)				
	Peón ordinario	0,700 h	10,240	7,17	
	(Maquinaria)				
	Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man	0,050 h	4,700	0,24	
	(Materiales)				
	Arena de río 0/5 mm.	1,150 m <sup>3</sup>	11,340	13,04	
	3% Costes indirectos			0,61	
					<b>21,06</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

7.5	m2 Entibación cuajada en zanjas de hasta 3 m. de profundidad, mediante paneles ligeros de aluminio y codales extensibles metálicos, incluso p.p. de medios auxiliares. (Mano de obra)			
	Oficial primera	0,120 h	10,710	1,29
	Ayudante	0,120 h	10,400	1,25
	(Maquinaria)			
	Panel	2,000 ud	0,800	1,60
	lig.alumin.200x50cm.(300p)			
	Codal met.exten.p/panel aluminio	2,000 ud	0,190	0,38
	3% Costes indirectos			0,14
				<b>4,66</b>
7.6	m Retirada de tuberías para optimización (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,250 h	10,240	2,56
	Oficial primera	0,500 h	10,710	5,36
	Ayudante	0,500 h	10,400	5,20
	(Maquinaria)			
	Retrocargadora neum. 100 CV	0,100 h	39,390	3,94
	3% Costes indirectos			0,51
				<b>17,57</b>
7.7	m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 160 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 3'9 mm., colocado sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas, y con p.p. de medios auxiliares. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,100 h	10,240	1,02
	Oficial primera	0,100 h	10,710	1,07
	(Materiales)			
	Arena de río 0/5 mm.	0,070 m <sup>3</sup>	11,340	0,79
	Adhesivo para tubos de PVC	0,150 kg	18,790	2,82
	Tub.liso PVC san.j.peg.160mm s.F	1,000 m	3,300	3,30
	3% Costes indirectos			0,27
				<b>9,27</b>
7.8	m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 200 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 4'9 mm., colocado sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas, y con p.p. de medios auxiliares. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,100 h	10,240	1,02
	Oficial primera	0,100 h	10,710	1,07
	(Materiales)			

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

	Arena de río 0/5 mm.	0,075 m <sup>3</sup>	11,340	0,85	
	Adhesivo para tubos de PVC	0,190 kg	18,790	3,57	
	Albañal PVC saneam.j.peg.200 mm.	1,000 m	7,210	7,21	
	3% Costes indirectos			0,41	
7.9	m3 Relleno, extendido y compactado de tierras propias en zanjás, por medios manuales, con pisón compactador manual tipo rana, en tongadas de 30 cm. de espesor, sin aporte de tierras, incluso regado de las mismas, y con p.p. de medios auxiliares. (Mano de obra)				<b>14,13</b>
	Peón ordinario	1,250 h	10,240	12,80	
	(Maquinaria)				
	Pisón vibrante 70 kg.	0,750 h	1,970	1,48	
	(Materiales)				
	Agua	1,000 m <sup>3</sup>	0,760	0,76	
	3% Costes indirectos			0,45	
7.10	m3 Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20 km., considerando ida y vuelta, con camión bañera basculante cargado a máquina, y con p.p. de medios auxiliares, considerando también la carga. (Maquinaria)				<b>15,49</b>
	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	0,040 h	39,650	1,59	
	Camión basculante 6x4 20 t.	0,165 h	32,360	5,34	
	Canon de tierra a vertedero	1,000 m <sup>3</sup>	0,260	0,26	
	3% Costes indirectos			0,22	
					<b>7,41</b>

**Tabla A.20.** Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación para la propuesta "Desconexión de una Bomba del Cabezal de San Rafael (Óptima)". Fuente: Propia

### Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación.

1 Excavación de tierras	60.782,51
2 Retirada de las tuberías y relleno, extendido y compactado de arenas	13.762,76

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

3 Instalación de las tuberías	52.364,64
4 Construcción de la caseta del filtro y filtro	6.193,79
5 Relleno, extendido y compactado de tierras propias	20.262,29
6 Transporte de tierras	6.031,44
7 Optimización del modelo	98.431,12
<b>Total</b>	<b>257.828,55</b>

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **DOSCIENTOS CINCUENTA Y SIETE MIL OCHOCIENTOS VEINTIOCHO EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS.**

Gastos generales 13%	33.517,71
Beneficio industrial 6%	15.469,71
Presupuesto ejecución por contrata	306.815,97

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de **TRESCIENTOS SEIS MIL OCHOCIENTOS QUINCE EUROS CON NOVENTA Y SIETE CÉNTIMOS.**

IVA 21%	64.431,35
Presupuesto base de licitación	371.247,33

Asciende el presupuesto base de licitación a la expresada cantidad de **TRESCIENTOS SETENTA Y UN MIL DOSCIENTOS CUARENTA Y SIETE EUROS CON TREINTA Y TRES CÉNTIMOS.**

### 6.3. Conexión con la Red de Sagrada Familia

**Tabla A.21.** Cuadro de precios de mano de obra para la alternativa "Conexión con la Red de Sagrada Familia". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/h)	Cantidad (h)	Total (€)
1	MO.02	Peón ordinario	10,24	3.304,13	<b>33.834,27</b>
2	MO.03	Oficial primera	10,71	613,002	<b>6.565,25</b>
3	MO.04	Ayudante	10,4	496,912	<b>5.167,88</b>
4	MO.06	Oficial 1ª fontanero.	17,82	0,721	<b>12,85</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

5	MO.07	Ayudante fontanero.	16,1	0,721	<b>11,61</b>
<b>Total mano de obra</b>					<b>45.591,86</b>

**Tabla A.22.** Cuadro de precios de maquinaria para la alternativa "Conexión con la Red de Sagrada Familia". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/und)	Cantidad		Total (€)
1	MQ.02	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3	43,3	308,281	h	<b>13.348,57</b>
2	MQ.03	Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man	4,7	6,702	h	<b>31,5</b>
3	MQ.04	Panel lig.alumin.200x50cm.(300p)	0,8	2.680,70	ud	<b>2.144,56</b>
4	MQ.05	Codal met.exten.p/panel aluminio	0,19	2.680,70	ud	<b>509,33</b>
5	MQ.06	Retrocargadora neum. 100 CV	39,39	67,214	h	<b>2.647,56</b>
6	MQ.07	Bandeja vib.300kg (70 cm) rever.	4,91	221,948	h	<b>1.089,76</b>
7	MQ.08	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	39,65	463,55	h	<b>18.379,76</b>
8	MQ.09	Camión basculante 6x4 20 t.	32,36	87,592	h	<b>2.834,48</b>
9	MQ.10	Canon de tierra a vertedero	0,26	530,86	m <sup>3</sup>	<b>138,02</b>
<b>Total Maquinaria</b>						<b>41.123,54</b>

**Tabla A.23.** Cuadro de precios de material para la alternativa "Conexión con la Red de Sagrada Familia". Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/und)	Cantidad		Total (€)
1	MT.01	Arena de río 0/5 mm.	11,34	154,135	m <sup>3</sup>	<b>1.747,89</b>
2	MT.04	Arena de río 0/6 mm.	11,396	113,21	m <sup>3</sup>	<b>1.283,80</b>
3	MT.05	Adhesivo para tubos de PVC	18,79	189,64	kg	<b>3.563,34</b>
4	MT.06	Albañal PVC saneam.j.peg.315 mm.	15,29	1.112,00	m	<b>17.002,48</b>
5	MT.09	Agua	0,76	1.479,65	m <sup>3</sup>	<b>1.124,53</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

6	MT.42	Material auxiliar	1,4	1	ud	1,4
7	MT.50	Válvula reductora de presión, de fundición dúctil, unión con bridas, de 10" de diámetro, PN=12 bar, pintada con pintura de poliéster color rojo RAL 3000.	5.156,52	1	ud	5.156,52
<b>Total Materiales</b>						<b>29.879,96</b>

**Tabla A.24.** Cuadro de precios para la propuesta "Conexión con la Red de Sagrada Familia". Fuente: Propia

<b>CUADRO DE PRECIOS</b>			
Nº	Designación	Importe	
		Parcial (€)	Total (€)
	<b>1 Excavación de tierras</b>		
1.1	m2 Retirada y apilado de capa de tierra vegetal superficial, por medios mecánicos, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)		
	Peón ordinario	0,100 h	10,240
	(Maquinaria)		
	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3	0,230 h	43,300
	Medios auxiliares 3%		0,33
	3% Costes indirectos		0,34
1.2	m3 Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)		<b>11,65</b>
	Peón ordinario	0,100 h	10,240
	(Maquinaria)		
	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	0,330 h	39,650
	Medios auxiliares 3%		0,42
	3% Costes indirectos		0,44
1.3	m3 Principalmente se usa por la existencias de otras tuberías. Excavación en zanjas, hasta 2 m. de profundidad, en terrenos		<b>14,96</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

	compactos, por medios manuales, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	2,200 h	10,240	22,53
	Medios auxiliares 3%			0,68
	3% Costes indirectos			0,70
				<b>23,91</b>
2.1	<b>2 Retirada de las tuberías y relleno, extendido y compactado de arenas</b> m Donde se presupuesta el precio de la retirada de las tuberías (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,250 h	10,240	2,56
	Oficial primera	0,500 h	10,710	5,36
	Ayudante	0,500 h	10,400	5,20
	(Maquinaria)			
	Retrocargadora neum. 100 CV	0,100 h	39,390	3,94
	Medios auxiliares 3%			0,51
	3% Costes indirectos			0,53
2.2	m3 Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena, por medios manuales, con rodillo vibratorio, considerando la arena a pie de tajo. (Mano de obra)			<b>18,10</b>
	Peón ordinario	0,700 h	10,240	7,17
	(Maquinaria)			
	Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man	0,050 h	4,700	0,24
	(Materiales)			
	Arena de río 0/5 mm.	1,150 m <sup>3</sup>	11,340	13,04
	Medios auxiliares 3%			0,61
	3% Costes indirectos			0,63
2.3	m2 Entibación cuajada en zanjas de hasta 3 m. de profundidad, mediante paneles ligeros de aluminio y codales extensibles metálicos. (Mano de obra)			<b>21,69</b>
	Oficial primera	0,120 h	10,710	1,29
	Ayudante	0,120 h	10,400	1,25
	(Maquinaria)			
	Panel lig.alumin.200x50cm.(300p)	2,000 ud	0,800	1,60
	Codal met.exten.p/panel aluminio	2,000 ud	0,190	0,38
	Medios auxiliares 3%			0,14

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

	3% Costes indirectos		0,14	
				<b>4,80</b>
	<b>3 Instalación de las tuberías</b>			
3.1	m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 315 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 7'7 mm., colocado sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,110 h	10,240	1,13
	Oficial primera	0,110 h	10,710	1,18
	(Materiales)			
	Arena de río 0/5 mm.	0,085 m <sup>3</sup>	11,340	0,96
	Adhesivo para tubos de PVC	0,305 kg	18,790	5,73
	Albañal PVC saneam.j.peg.315 mm.	1,000 m	15,290	15,29
	Medios auxiliares 3%			0,73
	3% Costes indirectos			0,75
				<b>25,77</b>
3.2	m. Tubería enterrada de PVC liso de saneamiento, de unión en copa lisa pegada, de 125 mm. de diámetro exterior, espesor de pared 3'1 mm., colocada sobre cama de arena de río, con p.p. de piezas especiales, sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,100 h	10,240	1,02
	Oficial primera	0,100 h	10,710	1,07
	(Materiales)			
	Arena de río 0/5 mm.	0,115 m <sup>3</sup>	11,340	1,30
	Adhesivo para tubos de PVC	0,065 kg	18,790	1,22
	Albañal PVC saneam.j.peg.315 mm.	1,000 m	15,290	15,29
	Medios auxiliares 3%			0,60
	3% Costes indirectos			0,62
				<b>21,12</b>
	<b>4 Instalación de las válvulas</b>			
4.1	Ud Suministro e instalación de válvula reductora de presión, de fundición dúctil, unión con bridas, de 10" de diámetro, PN=12 bar, pintada con pintura de poliéster color rojo RAL 3000. Incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada. Incluye: Replanteo de la situación de la válvula. Colocación de la válvula. Conexión a la red de distribución de agua. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.			

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

	<p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p> <p>(Mano de obra)</p> <p>Oficial 1ª fontanero. 0,721 h 17,820 12,85</p> <p>Ayudante fontanero. 0,721 h 16,100 11,61</p> <p>(Materiales)</p> <p>Material auxiliar 1,000 ud 1,400 1,40</p> <p>Válvula reductora de presión, de fundición dúctil, unión con bridas, de 10" de diámetro, PN=12 bar, pintada con pintura de poliéster color rojo RAL 3000. 1,000 ud 5.156,520 5.156,52</p> <p>Medios auxiliares 3% 155,47</p> <p>3% Costes indirectos 160,14</p>		
5.1	<p><b>5 Relleno, extendido y compactado de tierras propias</b></p> <p>m3 Relleno, extendido y compactado de tierras propias en zanjas, por medios manuales, con plancha vibrante, en tongadas de 30 cm. de espesor, sin aporte de tierras, incluso regado de las mismas.</p> <p>(Mano de obra)</p> <p>Peón ordinario 0,800 h 10,240 8,19</p> <p>(Maquinaria)</p> <p>Bandeja vib.300kg (70 cm) rever. 0,150 h 4,910 0,74</p> <p>(Materiales)</p> <p>Agua 1,000 m<sup>3</sup> 0,760 0,76</p> <p>Medios auxiliares 3% 0,29</p> <p>3% Costes indirectos 0,30</p>		<b>5.497,99</b>
6.1	<p><b>6 Transporte de tierras</b></p> <p>m3 Carga de tierras procedentes de excavaciones, sobre camión basculante, con retroexcavadora, sin incluir el transporte.</p> <p>(Maquinaria)</p> <p>Excav.hidr.neumáticos 100 CV 0,040 h 39,650 1,59</p> <p>Camión basculante 6x4 20 t. 0,040 h 32,360 1,29</p> <p>Medios auxiliares 3% 0,09</p> <p>3% Costes indirectos 0,09</p>		<b>10,28</b>
			<b>3,06</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

6.2	m3 Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20 km., considerando ida y vuelta, con camión bañera basculante y canon de vertedero sin incluir la carga. (Maquinaria)			
	Camión basculante 6x4 20 t.	0,125 h	32,360	4,05
	Canon de tierra a vertedero	1,000 m <sup>3</sup>	0,260	0,26
	Medios auxiliares 3%			0,13
	3% Costes indirectos			0,13
				<b>4,57</b>

**Tabla A.25.** Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación para la propuesta "Conexión con la Red de Sagrada Familia ". Fuente: Propia

### Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación.

1 Excavación de tierras	51.690,68
2 Retirada de las tuberías y relleno, extendido y compactado de arenas	21.506,52
3 Instalación de las tuberías	25.759,29
4 Instalación de las válvulas	5.497,99
5 Relleno, extendido y compactado de tierras propias	15.210,80
6 Transporte de tierras	4.050,46
<b>Total .....</b>	<b>123.715,74</b>

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **CIENTO VEINTITRES MIL SETECIENTOS QUINCE EUROS CON SETENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.**

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turia)

---

Gastos generales 13%	16.083,04
Beneficio industrial 6%	7.422,94
Presupuesto ejecución por contrata	147.221,73

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de **CIENTO CUARENTA Y SIETE MIL DOSCIENTO VEINTIÚN EUROS CON SETENTA Y TRES CÉNTIMOS.**

IVA 21%	30.916,56
Presupuesto base de licitación	178.138,29

Asciende el presupuesto base de licitación a la expresada cantidad de **CIENTO SETENTA Y OCHO MIL CIENTO TREINTA Y OCHO EUROS CON VEINTINUEVE CÉNTIMOS.**

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

# **DOCUMENTO III: PLANOS**

---

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

## **ÍNDICE DE PLANOS**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MAPA COMUNIDAD VALENCIANA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. PLANO SUBSECTOR NORTE DEL SECTOR 4 DE PICASSENT .....</b>	<b>3</b>
<b>4. ESQUEMA DE LA RED DE RIEGO .....</b>	<b>4</b>
<b>5. ESQUEMA GENERAL DEL CABEZAL DE SAN RAFAEL.....</b>	<b>5</b>
<b>6. TUBERÍA DE RIEGO POR GRAVEDAD DESDE EL CABEZAL DE SAN RAFAEL HASTA EL NUDO DEL SR-18 .....</b>	<b>6</b>
<b>7. TUBERÍA DE RIEGO POR GRAVEDAD DESDE LA RED DE SAGRADA FAMILIA HASTA EL NUDO DEL SR-21 .....</b>	<b>7</b>
<b>8. TUBERÍA DE RIEGO ENTRE LOS NUDOS DE LOS HIDRANTES SR-20 Y SR-27.....</b>	<b>8</b>

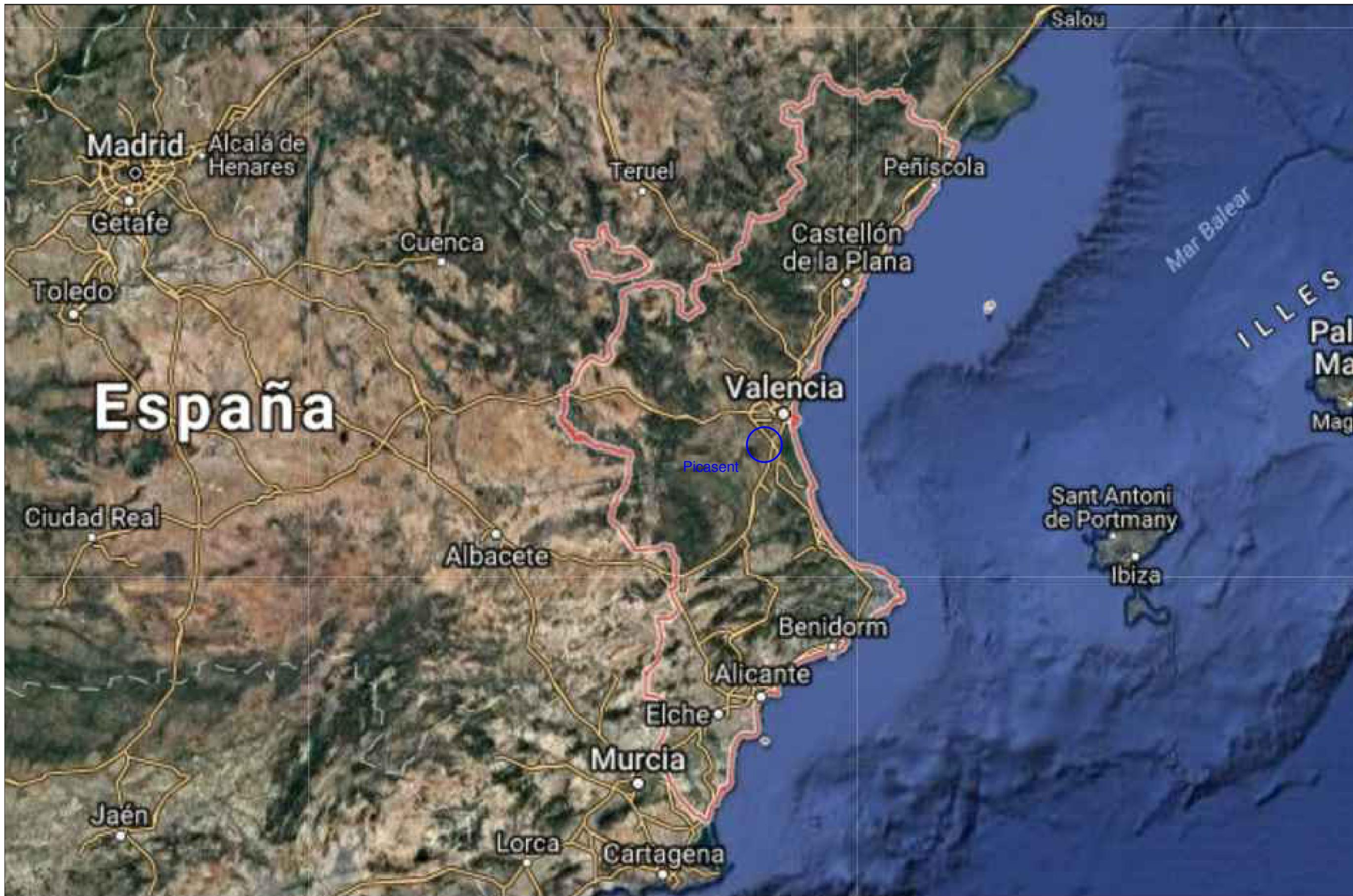
Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

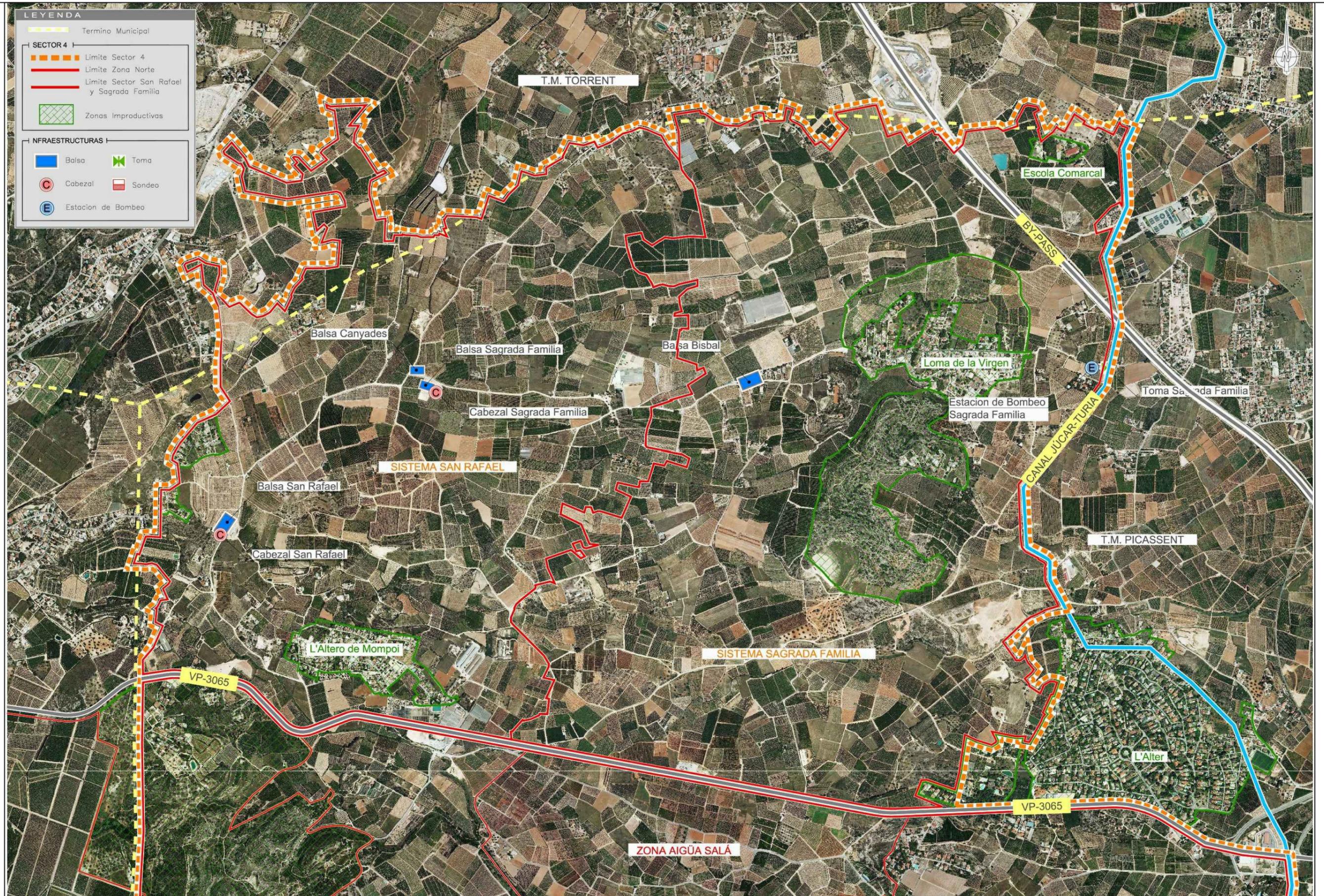
## **1. INTRODUCCIÓN**

En este documento se encuentran los planos necesarios para realizar una descripción minuciosa de la zona de estudio, a partir de la localización geográfica de la red, el esquema del cabezal, etc. Además, también existen planos relacionados con la sección de las nuevas tuberías instaladas para llevar a cabo las propuestas de mejora del comportamiento hidráulico de la red de San Rafael (ver punto 6.3 y 6.4 del documento "Memoria Descriptiva"), permitiendo conocer los requisitos de instalación para dichas conducciones y justificando las mediciones realizadas para elaborar sus respectivos presupuestos.

Por otro lado, cabe decir que las unidades de las medidas indicadas en los planos 5,6 y 7 se encuentran en metros.



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA		Proyecto: PROYECTO DE ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA RED DE RIEGO DE SAN RAFAEL (SECTOR 4 CANAL JÚCAR-TURIA)		Plano: Mapa Comunidad Valenciana		Fecha: Agosto 2017		Nº Plano: 1	
				Autor: Javier Hurtado Abellán		Escala: 1:100000			



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUIMICA

Proyecto: PROYECTO DE ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA RED DE RIEGO DE SAN RAFAEL (SECTOR 4 CANAL JÚCAR-TURIA)

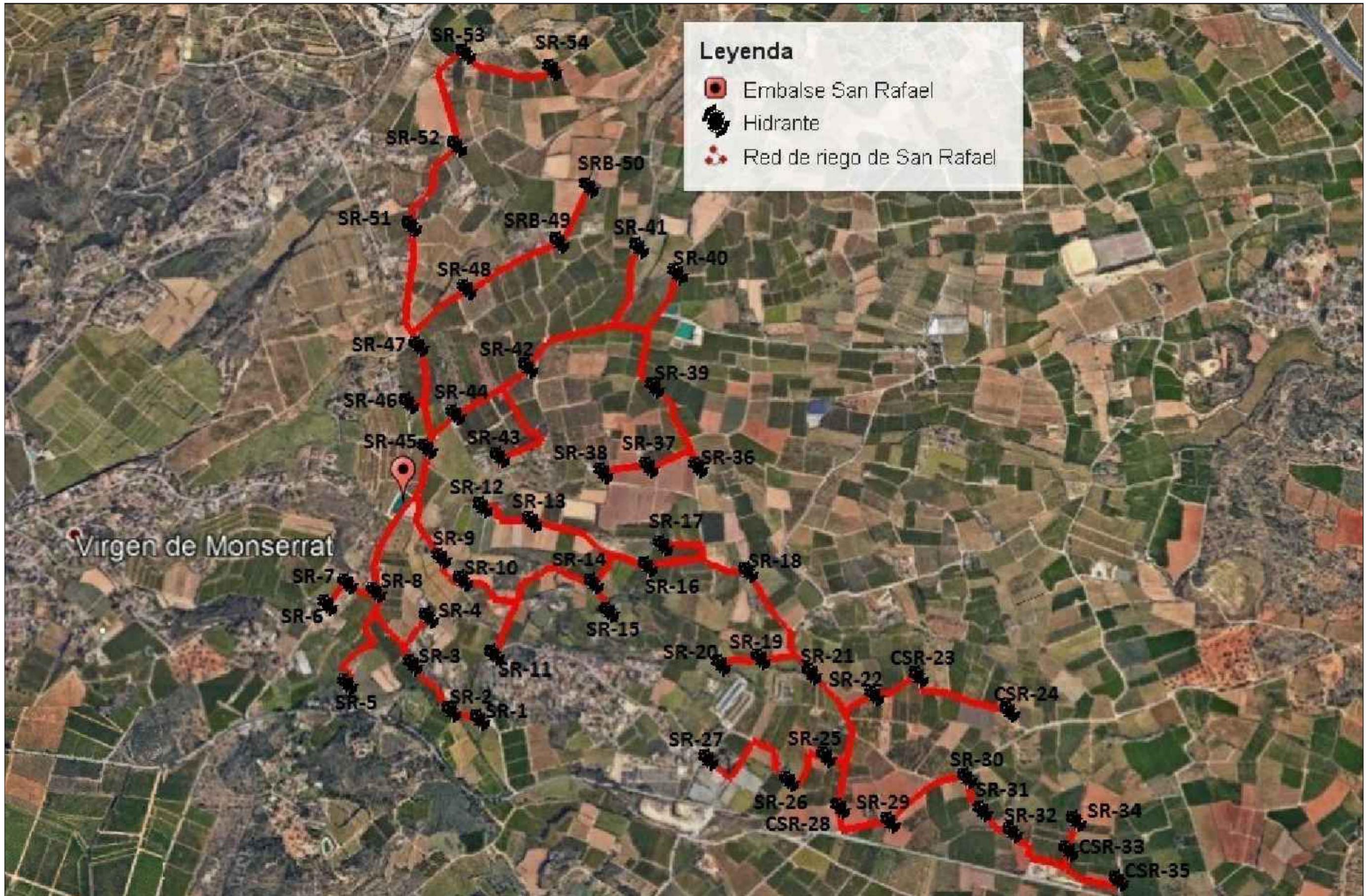
Plano: Plano Subsector Norte del Sector 4 de Picassent

Fecha: Agosto 2017

Nº Plano:

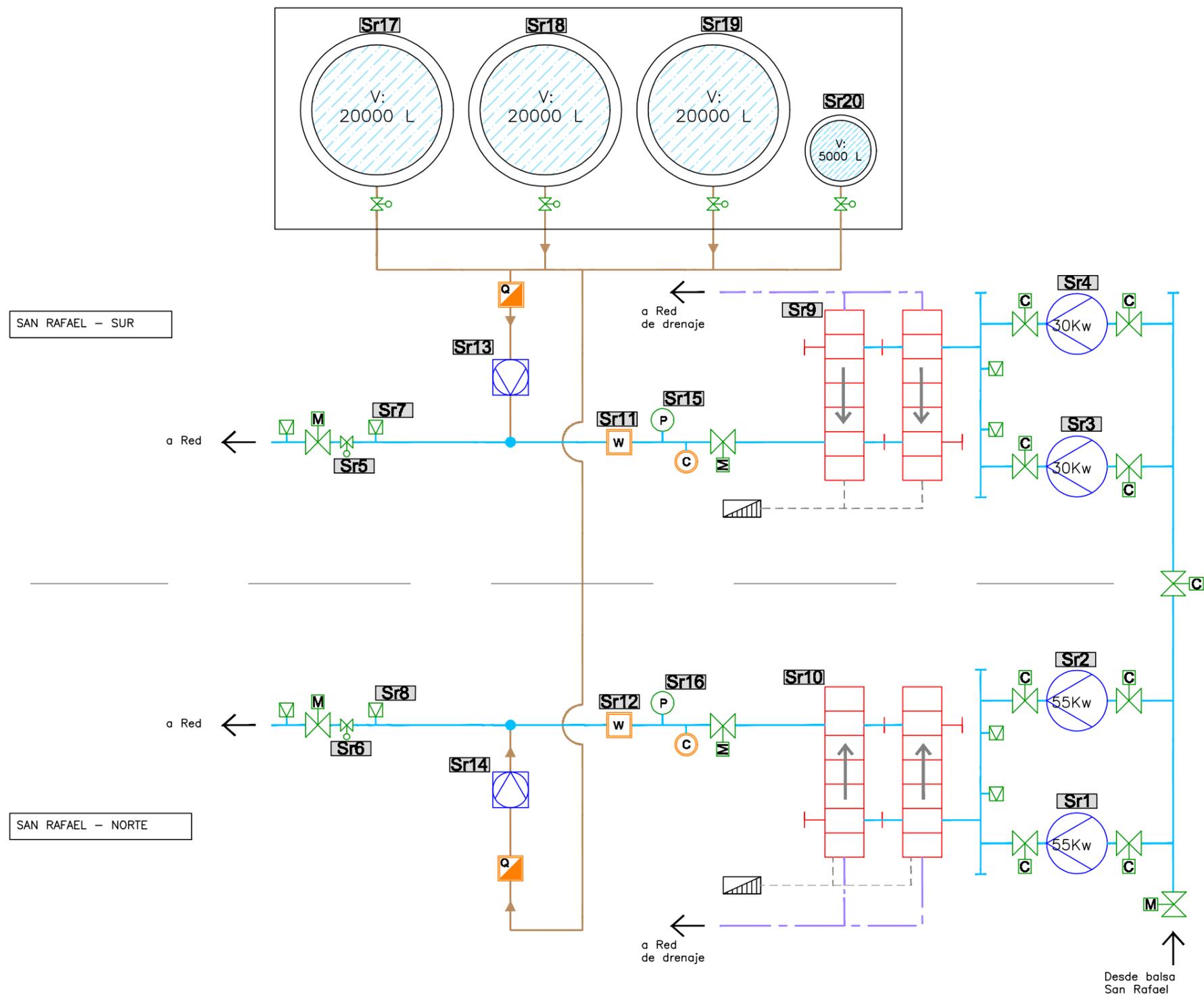
Autor: Javier Hurtado Abellán

Escala: 1:10000



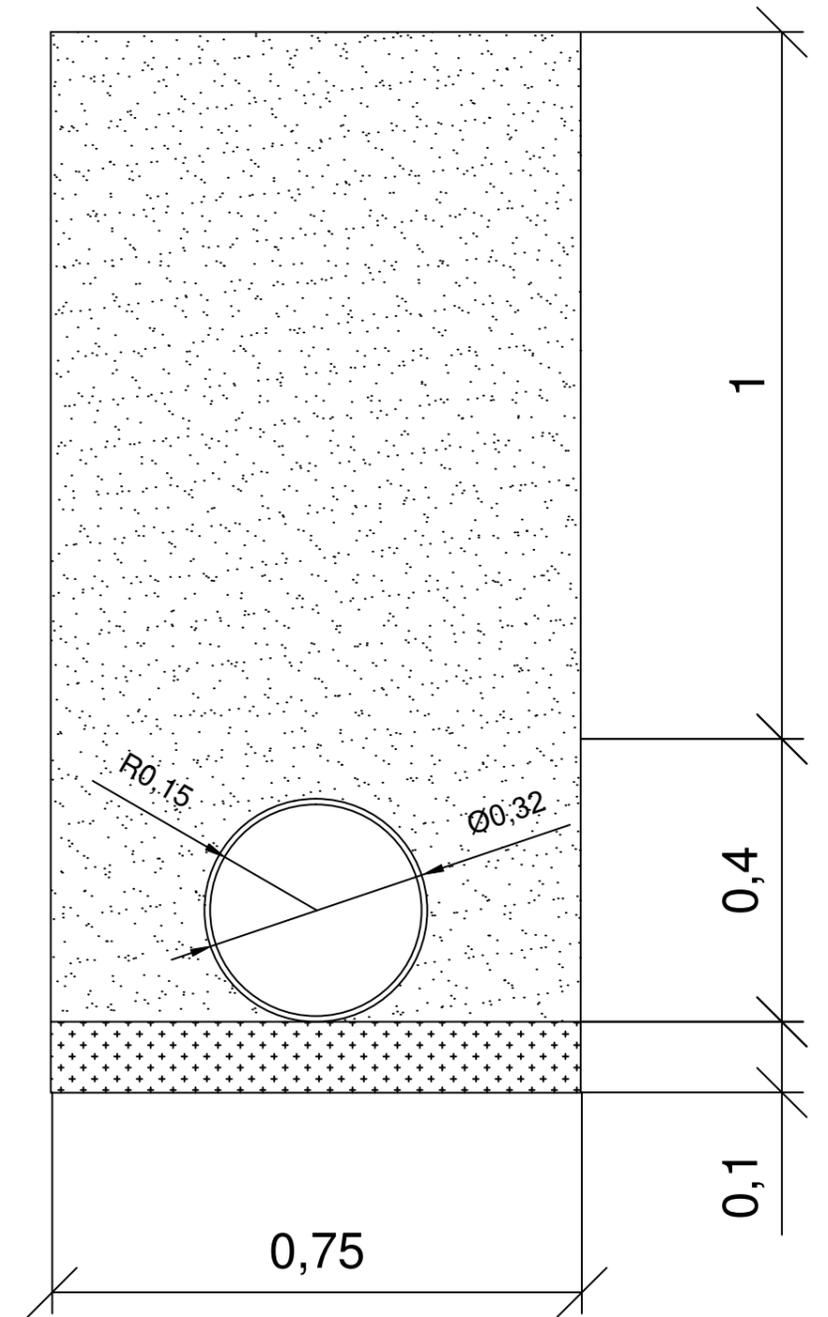
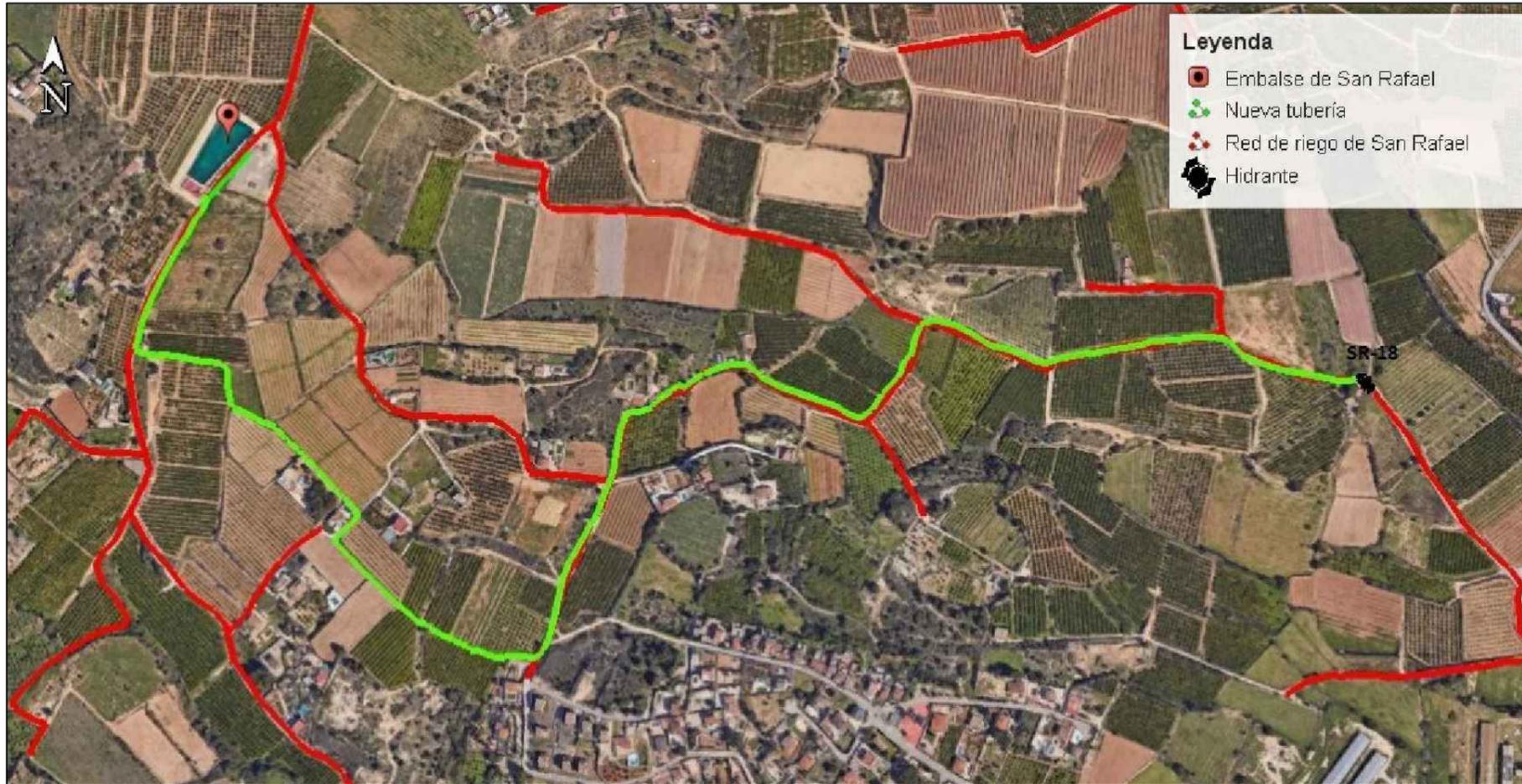
**Leyenda**

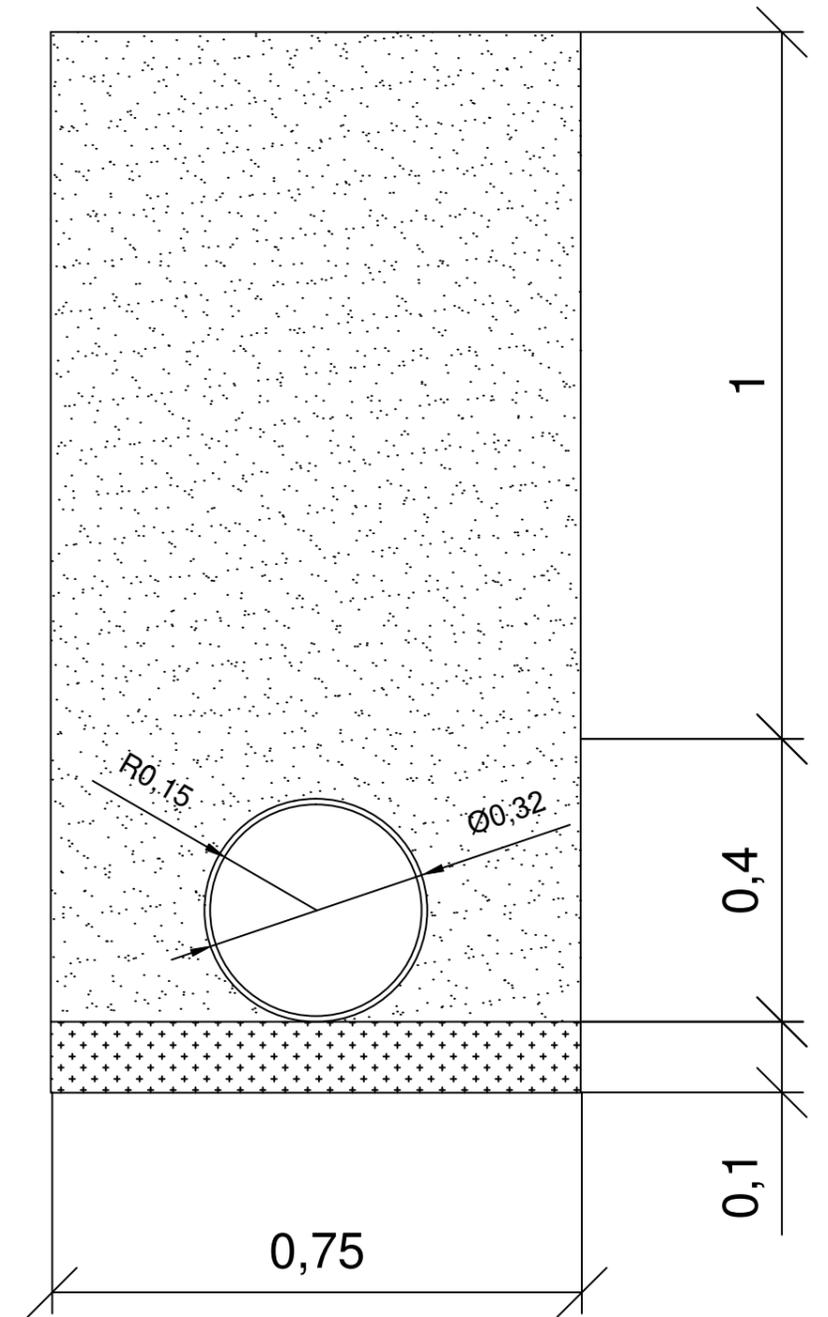
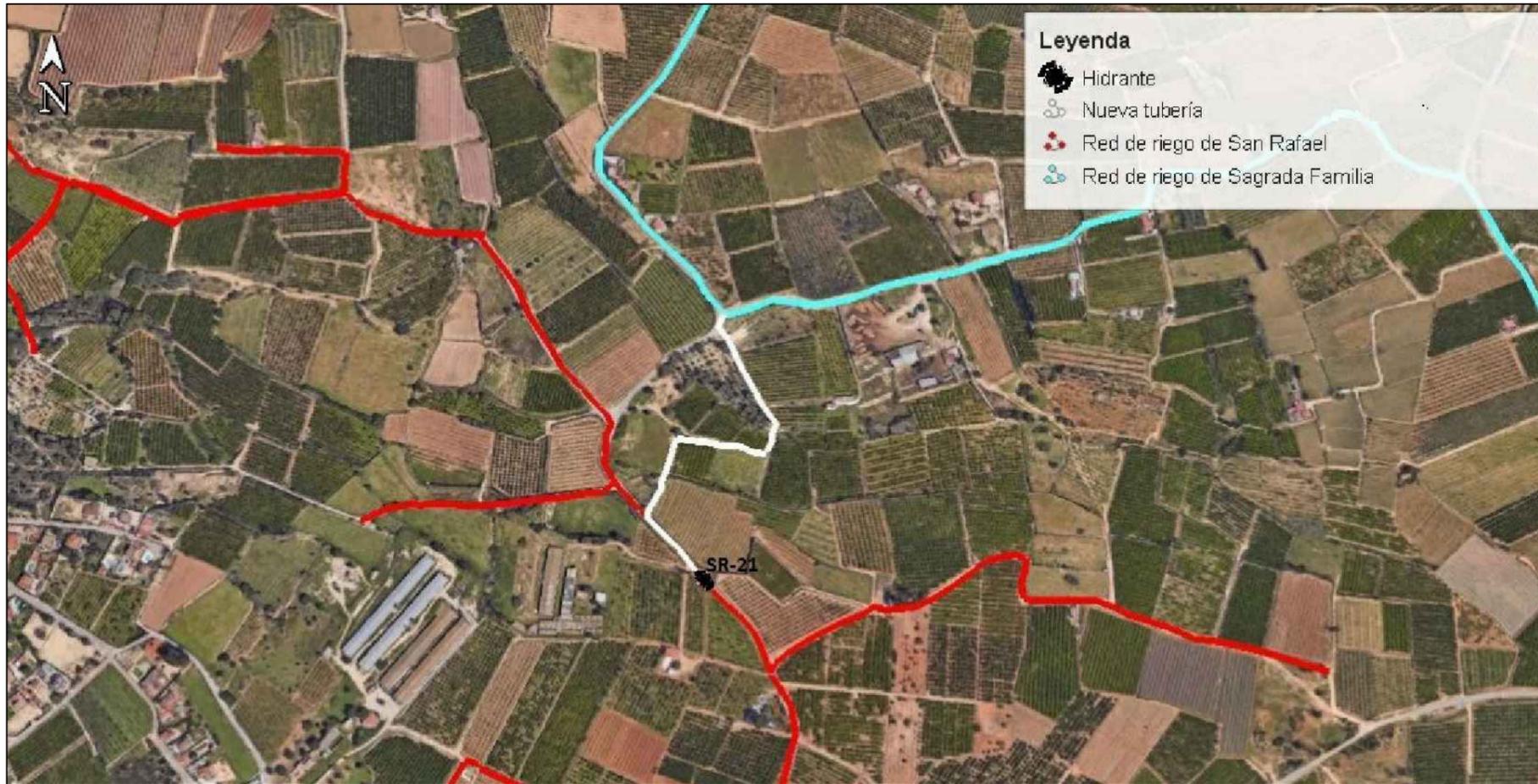
- Embalse San Rafael
- Hidrante
- Red de riego de San Rafael

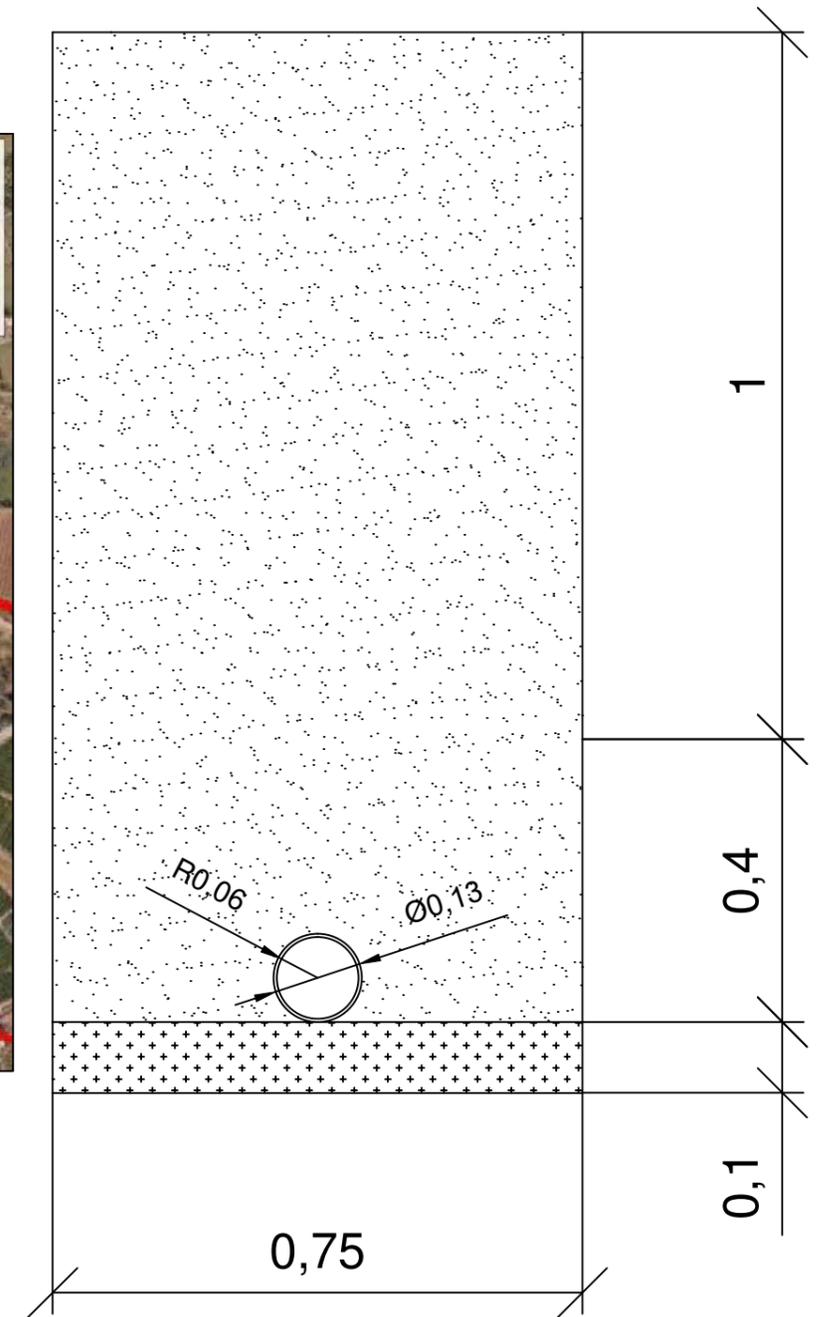


**LEYENDA**

- Filtros de malla
- Bomba
- Depósito para fertirrigación
- Válvula de control
- Medidor de caudal
- Medidor de presión







Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

# **DOCUMENTO IV: PRESUPUESTOS**

---

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

## **ÍNDICE PREPUESTOS**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. COLOCACIÓN DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN (VRP) .....</b>	<b>2</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

## **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla P.1.</b> Normas seguidas para la realización de los presupuestos llevados a cabo de cada una de las alternativas planteadas para mejorar la red de riego de San Rafael.....	1
<b>Tabla P.2.</b> Cuadro de precios de mano de obra para la alternativa "Colocación de Válvulas Reductoras" .....	2
<b>Tabla P.3.</b> Cuadro de precios de maquinaria para la alternativa "Colocación de Válvulas Reductoras" .....	2
<b>Tabla P.4.</b> Cuadro de precios de materiales para la alternativa "Colocación de Válvulas Reductoras" .....	3
<b>Tabla P.5.</b> Cuadro de precios para la propuesta "Colocación de Válvulas Reductoras " .....	4
<b>Tabla P.6.</b> Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación para la propuesta "Colocación de Válvulas Reductoras de Presión" .....	8

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

## 1. INTRODUCCIÓN

De forma general la realización de los presupuestos (incluidos los de las alternativas no elegidas para mejorar el comportamiento hidráulico de la red presentes en el anexo 6 del documento "Anejos de la Memoria") se hace siguiendo las siguientes normas:

**Tabla P.1.** Normas seguidas para la realización de los presupuestos llevados a cabo de cada una de las alternativas planteadas para mejorar la red de riego de San Rafael. Fuente: Aenor (2000)

Norma	Descripción
UNE-EN 805	-Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes.
UNE-EN 1610	Instalación y pruebas de acometidas y redes de saneamiento.
UNE-ENV 1046	-Sistemas de canalización y conducción en materiales plásticos. -Sistemas de conducción de agua o saneamiento en el exterior de la estructura de los edificios. -Práctica recomendada para la instalación aérea y enterrada.
UNE-ENV 1452-6	-Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua. -Policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U). -Parte 6: Práctica recomendada para la instalación

Las consideraciones que se han tenido para la realización de los presupuestos son perfectamente enumerados en este documento.

Para la realización de este presupuesto, es importante destacar que se usa el banco de precios de Extremadura de 2005, donde de este se obtienen las unidades de obras ya compuestas.

Para cualquier excavación de la zanja donde se encuentre ubicada una tubería, la cual quiera ser reemplazada o eliminada, se seguirá el siguiente procedimiento:

- Se excava con medios mecánicos el primer metro de profundidad, donde no existe la posibilidad de encontrar la tubería. Esto es así puesto que la norma establece que las tuberías enterradas con tierras propias sin cementar, deben estar como mínimo a un metro de profundidad.

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

- La profundidad restante, se excava con medios manuales debido a que en esta zona sí que se pueden encontrar tuberías y los medios manuales resultan más sofisticados para no dañarlas.

Además de forma general, si para el presupuesto en cuestión se ha de eliminar una tubería y colocar una nueva ajena a la eliminada, se aprovechará la zanja abierta de la tubería eliminada para poner la nueva tubería.

## 2. COLOCACIÓN DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN (VRP)

**Tabla P.2.** Cuadro de precios de mano de obra para la alternativa "Colocación de Válvulas Reductoras".  
Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/h)	Cantidad (h)	Total (€)
1	MO.02	Peón ordinario	10,24	47,5	<b>486,4</b>
2	MO.03	Oficial primera	10,71	4,74	<b>50,77</b>
3	MO.04	Ayudante	10,4	4,74	<b>49,3</b>
4	MO.06	Oficial 1ª fontanero.	17,82	1,923	<b>34,27</b>
5	MO.07	Ayudante fontanero.	16,1	1,923	<b>30,96</b>
<b>Total mano de obra</b>					<b>651,7</b>

**Tabla P.3.** Cuadro de precios de maquinaria para la alternativa "Colocación de Válvulas Reductoras".  
Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/und)	Cantidad		Total (€)
1	MQ.02	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3	43,30	6,21	h	<b>268,89</b>
2	MQ.03	Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man	4,70	0,135	h	<b>0,63</b>
3	MQ.04	Panel lig.alumin.200x50cm.(300p)	0,80	54	ud	<b>43,2</b>
4	MQ.05	Codal met.exten.p/panel aluminio	0,19	54	ud	<b>10,26</b>
5	MQ.06	Retrocargadora neum. 100 CV	39,39	0,3	h	<b>11,82</b>
6	MQ.07	Bandeja vib.300kg (70 cm) rever.	4,91	1,83	h	<b>8,99</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

7	MQ.08	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	39,65	10,042	h	<b>398,17</b>
8	MQ.09	Camión basculante 6x4 20 t.	32,36	4,67	h	<b>151,12</b>
9	MQ.10	Canon de tierra a vertedero	0,26	28,3	m <sup>3</sup>	<b>7,36</b>
<b>Total Maquinaria</b>						<b>900,44</b>

**Tabla P.4.** Cuadro de precios de materiales para la alternativa "Colocación de Válvulas Reductoras".  
Fuente: Propia

Nº	Código	Designación	Precio (€/und)	Cantidad		Total (€)
1	MT.01	Arena de río 0/5 mm.	11,34	3,105	m <sup>3</sup>	<b>35,21</b>
2	MT.09	Agua	0,76	12,2	m <sup>3</sup>	<b>9,27</b>
3	MT.42	Material auxiliar	1,4	3	ud	<b>4,2</b>
4	MT.50	Válvula reductora de presión, de fundición dúctil, unión con bridas, de 10" de diámetro, PN=12 bar, pintada con pintura de poliéster color rojo RAL 3000.	5.156,52	2	ud	<b>10.313,04</b>
5	MT.51	Válvula reductora de presión, de fundición dúctil, unión con bridas, de 8" de diámetro, PN=12 bar, pintada con pintura de poliéster color rojo RAL 3000.	3.240,77	1	ud	<b>3.240,77</b>
<b>Total Materiales</b>						<b>13.602,49</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

**Tabla P.5.** Cuadro de precios para la propuesta "Colocación de Válvulas Reductoras ". Fuente: Propia

<b>CUADRO DE PRECIOS</b>				
Nº	Designación	Importe		
		Parcial (€)	Total (€)	
1.1	<b>1 Excavación de tierras</b>			
	m2 Retirada y apilado de capa de tierra vegetal superficial, por medios mecánicos, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)			
	Peón ordinario 0,100 h 10,240	1,02		
	(Maquinaria)			
	Pala carg.neumát. 155 CV/2,5m3 0,230 h 43,300	9,96		
	Medios auxiliares 3%	0,33		
	3% Costes indirectos	0,34		
				<b>11,65</b>
1.2	m3 Excavación en zanjas, en terrenos compactos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)			
	Peón ordinario 0,100 h 10,240	1,02		
	(Maquinaria)			
	Excav.hidr.neumáticos 100 CV 0,330 h 39,650	13,08		
	Medios auxiliares 3%	0,42		
	3% Costes indirectos	0,44		
				<b>14,96</b>
1.3	m3 Principalmente se usa por la existencias de otras tuberías. Excavación en zanjas, hasta 2 m. de profundidad, en terrenos compactos, por medios manuales, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero. (Mano de obra)			
	Peón ordinario 2,200 h 10,240	22,53		
	Medios auxiliares 3%	0,68		
	3% Costes indirectos	0,70		
				<b>23,91</b>
2.1	<b>2 Corte de las tuberías y relleno, extendido y compactado de arenas</b>			
	m Donde se presupuesta el precio de la retirada de las tuberías (Mano de obra)			
	Peón ordinario 0,250 h 10,240	2,56		
	Oficial primera 0,500 h 10,710	5,36		

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

	Ayudante (Maquinaria)	0,500 h	10,400	5,20	
	Retrocargadora neum. 100 CV	0,100 h	39,390	3,94	
	Medios auxiliares 3%			0,51	
	3% Costes indirectos			0,53	
					<b>18,10</b>
2.2	m3 Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena, por medios manuales, con rodillo vibratorio, considerando la arena a pie de tajo. (Mano de obra)				
	Peón ordinario (Maquinaria)	0,700 h	10,240	7,17	
	Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man (Materiales)	0,050 h	4,700	0,24	
	Arena de río 0/5 mm.	1,150 m <sup>3</sup>	11,340	13,04	
	Medios auxiliares 3%			0,61	
	3% Costes indirectos			0,63	
					<b>21,69</b>
2.3	m2 Entibación cuajada en zanjas de hasta 3 m. de profundidad, mediante paneles ligeros de aluminio y codales extensibles metalicos. (Mano de obra)				
	Oficial primera	0,120 h	10,710	1,29	
	Ayudante (Maquinaria)	0,120 h	10,400	1,25	
	Panel lig.alumin.200x50cm.(300p)	2,000 ud	0,800	1,60	
	Codal met.exten.p/panel aluminio	2,000 ud	0,190	0,38	
	Medios auxiliares 3%			0,14	
	3% Costes indirectos			0,14	
					<b>4,80</b>
3.1	<b>3 Instalacion de las valvulas</b> Ud Suministro e instalación de válvula reductora de presión, de fundición dúctil, unión con bridas, de 10" de diámetro, PN=12 bar, pintada con pintura de poliéster color rojo RAL 3000. Incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada. Incluye: Replanteo de la situación de la válvula. Colocación de la válvula. Conexión a la red de distribución de agua. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de				

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

	unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.			
	(Mano de obra)			
	Oficial 1ª fontanero.	0,721 h	17,820	12,85
	Ayudante fontanero.	0,721 h	16,100	11,61
	(Materiales)			
	Material auxiliar	1,000 ud	1,400	1,40
	Válvula reductora de presión, de fundición dúctil, unión con bridas, de 10" de diámetro, PN=12 bar, pintada con pintura de poliéster color rojo RAL 3000.	1,000 ud	5.156,520	5.156,52
	Medios auxiliares 3%			103,65
	3% Costes indirectos			158,58
				<b>5.444,61</b>
3.2	Ud Suministro e instalación de válvula reductora de presión, de fundición dúctil, unión con bridas, de 8" de diámetro, PN=12 bar, pintada con pintura de poliéster color rojo RAL 3000. Incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada. Incluye: Replanteo de la situación de la válvula. Colocación de la válvula. Conexión a la red de distribución de agua. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.			
	(Mano de obra)			
	Oficial 1ª fontanero.	0,481 h	17,820	8,57
	Ayudante fontanero.	0,481 h	16,100	7,74
	(Materiales)			
	Material auxiliar	1,000 ud	1,400	1,40
	Válvula reductora de presión, de fundición dúctil, unión con bridas, de 8" de diámetro, PN=12 bar, pintada con pintura de poliéster color rojo RAL 3000.	1,000 ud	3.240,770	3.240,77
	Medios auxiliares 3%			65,17

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

	3% Costes indirectos		99,71	
				<b>3.423,36</b>
4.1	<b>4 Relleno, extendido y compactado de tierras propias</b> m3 Relleno, extendido y compactado de tierras propias en zanjás, por medios manuales, con plancha vibrante, en tongadas de 30 cm. de espesor, sin aporte de tierras, incluso regado de las mismas. (Mano de obra)			
	Peón ordinario	0,800 h	10,240	8,19
	(Maquinaria)			
	Bandeja vib.300kg (70 cm) rever.	0,150 h	4,910	0,74
	(Materiales)			
	Agua	1,000 m <sup>3</sup>	0,760	0,76
	Medios auxiliares 3%			0,29
	3% Costes indirectos			0,30
5.1	<b>5 Transporte de tierras</b> m3 Carga de tierras procedentes de excavaciones, sobre camión basculante, con retroexcavadora, sin incluir el transporte. (Maquinaria)			<b>10,28</b>
	Excav.hidr.neumáticos 100 CV	0,040 h	39,650	1,59
	Camión basculante 6x4 20 t.	0,040 h	32,360	1,29
	Medios auxiliares 3%			0,09
	3% Costes indirectos			0,09
5.2	m3 Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20 km., considerando ida y vuelta, con camión bañera basculante y canon de vertedero sin incluir la carga. (Maquinaria)			<b>3,06</b>
	Camión basculante 6x4 20 t.	0,125 h	32,360	4,05
	Canon de tierra a vertedero	1,000 m <sup>3</sup>	0,260	0,26
	Medios auxiliares 3%			0,13
	3% Costes indirectos			0,13
				<b>4,57</b>

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---

**Tabla P.6.** Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación para la propuesta "Colocación de Válvulas Reductoras de Presión". Fuente: Propia

**Presupuesto de ejecución material, por contrata y base de licitación.**

---

1 Excavación de tierras	1.041,26
2 Corte de las tuberías y relleno, extendido y compactado de arenas	242,46
3 Instalación de las válvulas	14.312,58
4 Relleno, extendido y compactado de tierras propias	125,42
5 Transporte de tierras	215,93
<b>Total .....</b>	<b>15.937,65</b>

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de **QUINCE MIL NOVECIENTOS TREINTA Y SIETE EUROS CON SESENTA Y CINCO CÉNTIMOS.**

Gastos generales 13%	2.071,90
Beneficio industrial 6%	956,26
Presupuesto ejecución por contrata	18.965,80

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de **DIECIOCHO MIL NOVECIENTOS SESENTA Y CINCO EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS.**

IVA 21%	3.982,82
Presupuesto base de licitación	22.948,61

Asciende el presupuesto base de licitación a la expresada cantidad de **VEINTIDOS MIL NOVECIENTOS CUARENTA Y OCHO EUROS CON SESENTA Y UN CÉNTIMOS.**

Análisis del comportamiento hidráulico y propuestas de mejora para la red de riego  
de San Rafael (Sector 4 canal Júcar-Turía)

---