



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Desdoblamiento de la red de abastecimiento de la  
urbanización Los Monasterios de Puzol (Valencia)

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

AUTOR/A: Montabes Sierra, Pablo

Tutor/a: Iglesias Rey, Pedro Luis

Cotutor/a externo: Tordera Lledó, Francesc Vicent

CURSO ACADÉMICO: 2024/2025

# Trabajo Fin de Máster

## *DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)*

**Intensificación:** *HIDRÁULICA URBANA*

**Autor:**

*PABLO MONTABES SIERRA*

**Tutor:**

*PEDRO LUIS IGLESIAS REY*

**DICIEMBRE, 2024**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**

## RESUMEN

El proyecto aborda la instalación de la red de agua potable en la urbanización Los Monasterios, que actualmente se abastece desde tres depósitos. El agua llega a los depósitos Gemelos desde el sistema de la EMSHI y pozos locales, y se bombea a los depósitos Intermedio y Superior, desde donde se distribuye por gravedad a la urbanización.

Debido a la antigüedad de la red y la falta de información actualizada sobre las infraestructuras, se decide construir una nueva red de agua potable, destinando la existente para riego y otros usos. La nueva red permitirá separar el agua potable de mejor calidad para el consumo humano de la destinada para usos secundarios.

El trabajo incluye la actualización del modelo matemático de la red, ajustando las demandas de agua en diferentes nudos. Se ha rediseñado el trazado de las tuberías principales y añadido elementos hidráulicos. También se realiza el dimensionamiento de las estaciones de bombeo, la comprobación del volumen del depósito Intermedio, la ubicación y dimensionamiento de las válvulas reductoras de presión, y el análisis del funcionamiento de la red. Además, se estudia el fenómeno transitorio en la tubería de impulsión contra depósito y la evolución del nivel del depósito Intermedio a lo largo del día.

**Palabras clave:** Modelo matemático de la red, dimensionamiento de las estaciones de bombeo, válvulas reductoras de presión, ajuste de las demandas en diferentes nudos, estudio de fenómeno transitorio.

## RESUM

El projecte aborda la instal·lació de la xarxa d'aigua potable a la urbanització Els Monestirs, que actualment s'abasteix des de tres dipòsits. L'aigua arriba als dipòsits Bessons des del sistema de l'EMSHI i pous locals, i es bombeja als dipòsits Intermedi i Superior, des d'on es distribueix per gravetat a la urbanització.

A causa de l'antiguitat de la xarxa i la manca d'informació actualitzada sobre les infraestructures, es decideix construir una nova xarxa d'aigua potable, destinant l'existent per a reg i altres usos. La nova xarxa permetrà separar l'aigua potable de millor qualitat per al consum humà de la destinada a usos secundaris.

El treball inclou l'actualització del model matemàtic de la xarxa, ajustant les demandes d'aigua en diferents nusos. S'ha redissenyat el traçat de les canonades principals i s'han afegit elements hidràulics. També es realitza el dimensionament de les estacions de bombeig, la comprovació del volum del dipòsit Intermedi, la ubicació i dimensionament de les vàlvules reductores de pressió, i l'anàlisi del funcionament de la xarxa. A més, s'estudia el fenomen transitori en la canonada d'impulsió contra el dipòsit i l'evolució del nivell del dipòsit Intermedi al llarg del dia.

**Palabras clave:** Model matemàtic de la xarxa, dimensionament de les estacions de bombeig, vàlvules reductores de pressió, ajust de les demandes en diferents nusos, estudi del fenomen transitori.

### ABSTRACT

The project addresses the installation of the potable water network in the Los Monasterios urbanization, which is currently supplied by three tanks. Water is delivered to the Gemelos tanks from the EMSHI system and local wells, and then pumped to the Intermedio and Superior tanks, from where it is distributed by gravity to the urbanization.

Due to the age of the network and the lack of updated information on the infrastructure, the decision has been made to build a new potable water network, designating the existing one for irrigation and other uses. The new network will allow for the separation of higher-quality potable water for human consumption from water designated for secondary uses.

The work includes updating the mathematical model of the network, adjusting water demands at different points. The layout of the main pipelines has been redesigned, and hydraulic elements have been added. Additionally, the project includes the sizing of pumping stations, verifying the volume of the Intermedio tank, the location and sizing of pressure-reducing valves, and analyzing the network's operation. Furthermore, the transient phenomenon in the discharge pipeline against the reservoir and the evolution of the intermediate reservoir level throughout the day are studied.

**Keywords:** Mathematical model of the network, sizing of pumping stations, pressure-reducing valves, adjustment of demands at different nodes, study of transient phenomena.

## ÍNDICE

### DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFM

- Memoria
- Relación del TFM con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

### ÍNDICE DE LA MEMORIA

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS DEL TRABAJO.</b>	<b>12</b>
<b>3.</b>	<b>CONFIGURACIÓN ACTUAL.</b>	<b>13</b>
<b>4.</b>	<b>PLANIFICACIÓN.</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>CONDICIONES Y REQUISITOS.</b>	<b>15</b>
<b>4.2</b>	<b>ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.</b>	<b>15</b>
<b>4.2.1</b>	<b>OPCIÓN 1 – DEPÓSITO GEMELO + DEPÓSITO INTERMEDIO.</b>	<b>18</b>
<b>4.2.2</b>	<b>OPCIÓN 2 – DEPÓSITO GEMELO + DEPÓSITO INTERMEDIO + DEPÓSITO SUPERIOR.</b>	<b>20</b>
<b>4.2.3</b>	<b>OPCIÓN 3 – DEPÓSITO GEMELO + DEPÓSITO SUPERIOR.</b>	<b>22</b>
<b>4.3</b>	<b>SOLUCIÓN.</b>	<b>23</b>
<b>5.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO.</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>SECTORIZACIÓN.</b>	<b>26</b>
<b>5.2</b>	<b>CÁLCULO DE DOTACIONES Y DEMANDAS.</b>	<b>27</b>
<b>6.</b>	<b>DIMENSIONADO DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS.</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>TUBERÍA DE IMPULSIÓN CONTRA DEPÓSITO.</b>	<b>32</b>
<b>6.2</b>	<b>RED DE SUMINISTRO POR BOMBEO.</b>	<b>33</b>
<b>6.3</b>	<b>RED DE SUMINISTRO POR GRAVEDAD.</b>	<b>35</b>
<b>6.4</b>	<b>RED GENERAL.</b>	<b>39</b>
<b>6.5</b>	<b>ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO GEMELO.</b>	<b>41</b>
<b>6.6</b>	<b>ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO INTERMEDIO.</b>	<b>44</b>
<b>6.7</b>	<b>VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN.</b>	<b>52</b>
<b>7.</b>	<b>REGULACIÓN DEL SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO.</b>	<b>65</b>
<b>7.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>65</b>
<b>7.2</b>	<b>CURVAS DE MODULACIÓN.</b>	<b>65</b>
<b>7.3</b>	<b>TARIFA ELÉCTRICA.</b>	<b>66</b>
<b>7.4</b>	<b>DEPÓSITO INTERMEDIO.</b>	<b>67</b>
<b>7.5</b>	<b>ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO GEMELO.</b>	<b>72</b>
<b>7.6</b>	<b>ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO INTERMEDIO.</b>	<b>72</b>
<b>8.</b>	<b>PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES.</b>	<b>77</b>
<b>8.1</b>	<b>PROTECCIÓN GENERAL.</b>	<b>77</b>
<b>8.2</b>	<b>PROTECCIÓN DE LA TUBERÍA CONTRA DEPÓSITO.</b>	<b>80</b>
<b>8.2.1</b>	<b>VENTOSAS.</b>	<b>81</b>
<b>8.2.2</b>	<b>FENÓMENO TRANSITORIO.</b>	<b>84</b>

9.	VALORACIÓN ECONÓMICA.....	87
10.	CONCLUSIÓN. ....	88
11.	REFERENCIAS. ....	89

#### ÍNDICE DE LA RELACIÓN DEL TFM CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

1.	INTRODUCCIÓN. ....	91
2.	GADO DE RELACIÓN ALTO. ....	91
2.1	ODS 3: SALUD Y BIENESTAR. ....	91
2.2	ODS 6: AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO. ....	91
3.	GADO DE RELACIÓN MEDIO. ....	91
3.1	ODS 9: INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA. ....	91
3.2	ODS 11: CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES. ....	92
3.3	ODS 13: ACCIÓN POR EL CLIMA. ....	92
4.	CONCLUSIÓN. ....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

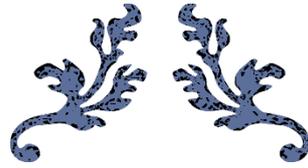
FIGURA 1: DISTRIBUCIÓN DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS. ....	13
FIGURA 2: ESQUEMA DE LA RED ACTUAL DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS. ....	14
FIGURA 3: RED ACTUAL DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS. ....	14
FIGURA 4: OPCIÓN 1 - DEPÓSITO INTERMEDIO + DEPÓSITO GEMELO. ....	16
FIGURA 5: OPCIÓN 2 - DEPÓSITO SUPERIOR + DEPÓSITO INTERMEDIO + DEPÓSITO GEMELO. ....	16
FIGURA 6: OPCIÓN 3 - DEPÓSITO SUPERIOR + DEPÓSITO GEMELO. ....	17
FIGURA 7: PRESIONES OBTENIDAS CON LA OPCIÓN 1. ....	19
FIGURA 8: OPCIÓN 1 CON SUS ELEMENTOS HIDRÁULICOS. ....	19
FIGURA 9: PRESIONES OBTENIDAS CON LA OPCIÓN 2. ....	21
FIGURA 10: OPCIÓN 2 CON SUS ELEMENTOS HIDRÁULICOS. ....	21
FIGURA 11: PRESIONES OBTENIDAS CON LA OPCIÓN 3. ....	22
FIGURA 12: OPCIÓN 3 CON SUS ELEMENTOS HIDRÁULICOS. ....	23
FIGURA 13: SECTORIZACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS. ....	26
FIGURA 14: SIMULACIÓN DE LA RED DE BOMBEO CON DIÁMETRO DE 4 METROS. ....	34
FIGURA 15: SIMULACIÓN DE LA RED DE BOMBEO CON DIÁMETRO DE 4 METROS CON 212 METROS DE ALTURA DE CABECERA. ....	34
FIGURA 16: DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR BOMBEO. ....	35
FIGURA 17: TRAZADO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR GRAVEDAD DEL DEPÓSITO GEMELO. ....	36
FIGURA 18: SIMULACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR GRAVEDAD DEL DEPÓSITO GEMELO CON DIÁMETRO DE 4 METROS. ....	36
FIGURA 19: DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR GRAVEDAD DEL DEPÓSITO GEMELO. ....	37
FIGURA 20: RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR GRAVEDAD EN CONJUNTO. ....	37
FIGURA 21: SIMULACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR GRAVEDAD EN CONJUNTO CON DIÁMETROS DE 4 METROS. ....	38
FIGURA 22: DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR GRAVEDAD EN CONJUNTO. ....	39
FIGURA 23: DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS. ....	39
FIGURA 24: DIMENSIONAMIENTO FINAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS. ...	40
FIGURA 25: CURVA DE LA BOMBA VSX 89/11F/4-21/E-15. ....	42
FIGURA 26: CURVA DE LA BOMBA VSX 89/11F/4-21/E-15 MEDIANTE TRES PUNTOS EN ÉPANET. ....	42
FIGURA 27: PERFIL LONGITUDINAL DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN. ....	44
FIGURA 28: SIMULACIÓN INICIAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR BOMBEO. ....	45
FIGURA 29: CURVAS DE LA BOMBA HYDRO MPC-E 3 CRE5-4. ....	45
FIGURA 30: CURVA DE LA BOMBA HYDRO MPC-E 3 CRE5-4 MEDIANTE TRES PUNTOS EN ÉPANET. ....	46
FIGURA 31: CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA HYDRO MPC-E 3 CRE5-4 EN PARALELO A DISTINTAS VELOCIDADES. ....	47
FIGURA 32: CURVA DE RENDIMIENTO DE LA BOMBA HYDRO MPC-E 3 CRE5-4. ....	48
FIGURA 33: CURVA DE LA BOMBA HYDRO MPC-E 3 CRE5-4 A DISTINTAS VELOCIDADES JUNTO A LAS CURVAS DE ISORRENDIMIENTO. ....	49
FIGURA 34: SIMULACIÓN EN ÉPANET DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR BOMBEO. ....	52
FIGURA 35: SIMULACIÓN INICIAL EN ÉPANET DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE. ....	53
FIGURA 36: UBICACIÓN DE LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN PARA LA ZONA ALTA PUZOL. ....	54
FIGURA 37: UBICACIÓN DE LA TUBERÍA QUE SE ENCONTRARÍA CERRADA, DE LAS TUBERÍAS DE CONEXIÓN Y DE LAS VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN CUANDO EL DEPÓSITO GEMELO SE ENCUENTRE EN MANTENIMIENTO. ....	55
FIGURA 38: DIAGRAMA DE CARACTERÍSTICAS DE FLUJO DE LA VÁLVULA. ....	57
FIGURA 39: COMPROBACIÓN POR CAVITACIÓN. ....	58
FIGURA 40: SIMULACIÓN EN ÉPANET DEL ESCENARIO 1. ....	61
FIGURA 41: SIMULACIÓN EN ÉPANET DEL ESCENARIO 2. ....	61
FIGURA 42: SIMULACIÓN EN ÉPANET DEL ESCENARIO 3. ....	62
FIGURA 43: SIMULACIÓN EN ÉPANET DEL ESCENARIO 4. ....	62
FIGURA 44: SIMULACIÓN EN ÉPANET DEL ESCENARIO 5. ....	63
FIGURA 45: SIMULACIÓN EN ÉPANET DEL ESCENARIO 6. ....	63

FIGURA 46: EVOLUCIÓN DE CAUDAL DEL SECTOR MICALET EN UN AÑO. ....	65
FIGURA 47: PATRONES DIARIOS BASADOS EN PERCENTILES. ....	66
FIGURA 48: PATRÓN DE CONSUMO CON PERCENTIL 0,80 DEL DEPÓSITO INTERMEDIO.....	68
FIGURA 49: EVOLUCIÓN DE VOLUMEN DEL DEPÓSITO INTERMEDIO CON UN PATRÓN DE CONSUMO DE PERCENTIL 0,80. ....	70
FIGURA 50: VARIACIÓN DE VOLUMEN DEL DEPÓSITO INTERMEDIO A LO LARGO DEL DÍA EN FUNCIÓN DEL PATRÓN DE CONSUMO. ....	71
FIGURA 51: VARIACIÓN DE VOLUMEN DE DEPÓSITO INTERMEDIO NECESARIO, VOLUMEN CONSUMIDO Y TIEMPO DE BOMBEO EN FUNCIÓN DEL PATRÓN DE CONSUMO.....	71
FIGURA 52: UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	77
FIGURA 53: CURVAS DE CAPACIDAD DE AIREACIÓN DE LAS VENTOSAS IRUA. ....	78
FIGURA 54: PURGADORES DE IRUA.....	80
FIGURA 55: TUBERÍA DE IMPULSIÓN CON VENTOSAS Y DESAGÜES. ....	81
FIGURA 56: PERFIL DE PRESIONES GENERADO POR EL FENÓMENO TRANSITORIO EN LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN.....	85
FIGURA 57: PERFIL DE PRESIONES CON CALDERÍN GENERADO POR EL FENÓMENO TRANSITORIO EN LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN. ....	86

**ÍNDICE DE TABLAS**

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LA OPCIÓN 1.....	18
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DE LA OPCIÓN 2.....	20
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DE LA OPCIÓN 3.....	22
TABLA 4: TABLA COMPARATIVA ENTRE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS.....	23
TABLA 5: DOTACIÓN Y COEFICIENTE PUNTA DE LOS CONSUMOS ESPECÍFICOS.....	27
TABLA 6: OCUPANTES DEL CLUB DEPORTIVO.....	28
TABLA 7: NÚMERO DE USUARIOS POR SECTOR.....	28
TABLA 8: CAUDAL MEDIO POR SECTOR.....	29
TABLA 9: COEFICIENTES PUNTA.....	29
TABLA 10: CAUDALES PUNTA POR SECTOR.....	30
TABLA 11: CAUDALES PUNTA DE CADA NUDO QUE CORRESPONDE A LAS VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE CADA SECTOR.....	30
TABLA 12: CAUDAL PUNTA DE CADA NUDO DE VIVIENDA MULTIFAMILIAR.....	31
TABLA 13: CAUDAL PUNTA DE LOS NUDOS DE CONSUMO ESPECÍFICO.....	31
TABLA 14: CAUDAL MEDIO QUE SUMINISTRA EL DEPÓSITO INTERMEDIO.....	32
TABLA 15: CAUDAL DE BOMBEO EN LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN.....	32
TABLA 16: DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN.....	33
TABLA 17: DIÁMETROS EMPLEADOS.....	35
TABLA 18: CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DEL DIMENSIONAMIENTO INICIAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	40
TABLA 19: CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DEL DIMENSIONAMIENTO FINAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	40
TABLA 20: CÁLCULO DE LA ALTURA DE BOMBEO PARA LA ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO GEMELO.....	41
TABLA 21: CARACTERÍSTICAS ACTUALIZADAS DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN.....	43
TABLA 22: RESULTADOS DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO JUNTO AL DEPÓSITO GEMELO.....	43
TABLA 23: CAUDALES SUMINISTRADOS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR BOMBEO.....	44
TABLA 24: CURVA DE RENDIMIENTO DE LA BOMBA HYDRO MPC-E 3 CRE5-4.....	47
TABLA 25: CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA HYDRO MPC-E 3 CRE5-4 EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE GIRO.....	49
TABLA 26: RENDIMIENTO REAL EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE GIRO.....	51
TABLA 27: PRESIONES EN LOS NUDOS CRÍTICOS AL EMPLEAR LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN QUE AFECTA A LA ZONA ALTA PUZOL (VRP GENERAL).....	54
TABLA 28: PRESIONES EN LOS NUDOS CRÍTICOS AL EMPLEAR LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN QUE AFECTA A LA ZONA F4 (VRP RESTO F4).....	55
TABLA 29: DATOS OBTENIDOS DE LAS SIMULACIONES DEL DEPÓSITO GEMELO EN MANTENIMIENTO.....	56
TABLA 30: PRESIONES DE CONSIGNA DE LAS VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN N9 Y N12.....	56
TABLA 31: DIÁMETROS DE LAS VÁLVULAS Y SUS COEFICIENTES DE PÉRDIDAS.....	57
TABLA 32: FACTOR DE DEMANDA PARA OBTENER CAUDAL MÍNIMO.....	58
TABLA 33: DATOS VRP GENERAL.....	59
TABLA 34: DIMENSIONAMIENTO VRP GENERAL.....	59
TABLA 35: DATOS VRP RESTO F4.....	59
TABLA 36: DIMENSIONAMIENTO VRP RESTO F4.....	59
TABLA 37: DATOS VRP N9 Y VRP N12.....	60
TABLA 38: DIMENSIONAMIENTO VRP N9.....	60
TABLA 39: DIMENSIONAMIENTO VRP N12.....	60
TABLA 40: RESUMEN ANUAL DE LA DISCRIMINACIÓN HORARIA QUE PRESENTA LA TARIFA 6.1 TD.....	67
TABLA 41: VOLUMEN DE CONSUMO MEDIO.....	67
TABLA 42: EVOLUCIÓN DE VOLUMEN DEL DEPÓSITO INTERMEDIO CON UN PATRÓN DE CONSUMO DE PERCENTIL 0,80.....	69
TABLA 43: VOLUMEN CONSUMIDO Y TIEMPO DE BOMBEO PARA UN PATRÓN DE CONSUMO DE PERCENTIL 0,80.....	70
TABLA 44: COSTE Y CONSUMO ENERGÉTICO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO GEMELO.....	72
TABLA 45: CONSUMO ENERGÉTICO A LO LARGO DEL DÍA CON EL PATRÓN DE PERCENTIL 0,10.....	73
TABLA 46: COSTE ENERGÉTICO DIARIO EN CADA MES PARA EL PATRÓN DE PERCENTIL 0,10.....	74

TABLA 47: COSTE ENERGÉTICO EN CADA PERCENTIL Y COSTE ENERGÉTICO TOTAL. ....	74
TABLA 48: CONSUMO ENERGÉTICO A LO LARGO DEL DÍA CON EL PATRÓN DE PERCENTIL 0,99. ....	75
TABLA 49: DIMENSIONAMIENTO DE LAS VENTOSAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN. ....	79
TABLA 50: DIMENSIONAMIENTO DE LOS PURGADORES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN. ....	80
TABLA 51: PERFIL DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN. ....	81
TABLA 52: UBICACIÓN DE LAS VENTOSAS TRIFUNCIONALES. ....	82
TABLA 53: UBICACIÓN DE LOS DESAGÜES. ....	82
TABLA 54: CAUDAL DE AIRE A INYECTAR EN CASO DE ROTURA. ....	83
TABLA 55: DIMENSIONAMIENTO DE LOS PURGADORES. ....	84
TABLA 56: DISEÑO DEL CALDERÍN. ....	85
TABLA 57: COSTE DE LAS TUBERÍAS. ....	87
TABLA 58: COSTE DE LAS VRP. ....	87
TABLA 59: COSTE DE LA BOMBA VSX 89/11F/4-21/E-15. ....	87
TABLA 60: COSTE DEL GRUPO DE BOMBEO HYDRO MPC-E 3 CRE5-4. ....	87



---

# MEMORIA

---



## 1. INTRODUCCIÓN.

El Trabajo Final de Máster (TFM) se ha desarrollado durante la realización de prácticas en la empresa Aguas de Valencia. Esta empresa, con más de 130 años de experiencia, evidenció un crecimiento y una expansión que culminó con el nacimiento del grupo Global Omnium, una organización empresarial convertida en referente nacional e internacional en el sector del agua, donde actualmente está presente en 15 Comunidades Autónomas de nuestro país y con presencia en USA, Latinoamérica, África y Oriente Medio.

El Grupo Global Omnium gestiona, a lo largo de la geografía española, 28 plantas de tratamiento de agua potable, abasteciendo a más de 400 ciudades y más de 5 millones de personas. También gestiona 308 instalaciones de tratamiento de aguas residuales, 25 fosas sépticas, 155 bombeos exteriores y 2 instalaciones de fangos.

El trabajo se enfoca en la futura red de distribución de agua potable de la urbanización Los Monasterios, ubicada al oeste del municipio Puzol, València. Actualmente, se abastece desde cuatro depósitos diferentes. En primer lugar, los depósitos Gemelos reciben el agua potable procedente del sistema de la Entitat Metropolitana de Serveis Hidràulics (EMSHI) y de los distintos pozos locales. Desde dicho depósito se impulsa agua para llenar los depósitos que se encuentran a mayor cota (Intermedio y Superior). De esta manera, se suministra agua potable por gravedad a las distintas zonas de la urbanización.

Esta red de distribución de agua potable carece de datos actualizados en cuanto a localización y estado de las infraestructuras debido a la antigüedad de las instalaciones y al desconocimiento de las labores de mantenimiento y conservación por parte de la urbanización. Ante esta situación se decide ejecutar una nueva red de agua potable para toda la urbanización, empleando la actual para la distribución de agua de riego, llenado de piscinas, etc. Además, la alternativa de disponer de doble red permite que el agua de mejor calidad se canalice de forma independiente de la que se emplea para otros usos.

Este proyecto engloba gran parte de los conocimientos adquiridos durante la realización del Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, en concreto durante la intensificación de Hidráulica Urbana. Entre estos conocimientos incluye el empleo de programas como Epanet [1] y Allievi [2], los cuales permiten realizar simulaciones y conocer el comportamiento hidráulico de elementos hidráulicos. Además, se trata de un trabajo que se desarrolla en una empresa especializada en el sector hidráulico y el cual será ejecutado en un futuro, al igual que el anterior trabajo que realicé con Global Omnium durante mis prácticas curriculares y extracurriculares de mi carrera universitaria, el cual presenté como mi Trabajo Final de Grado (TFG). Gracias al trabajo que realicé me ha permitido volver al departamento de Ingeniería de Aguas de Valencia para poder desarrollar mi TFM, además que fue lo que me impulsó a especializarme más en este sector y cursar el Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.

## 2. OBJETIVOS DEL TRABAJO.

El objetivo general del trabajo es el **“DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)”**, para el análisis, diseño y valoración de las actuaciones necesarias para la renovación de la red de distribución de agua potable de la urbanización Los Monasterios de Puzol, de forma que se empleará la red actual para usos secundarios (riego, llenado de piscinas...). Para el desarrollo de este objetivo será necesario alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Estudio de las posibles configuraciones para el nuevo abastecimiento de agua potable a los diferentes usuarios.
- Desarrollo del modelo matemático de la red de agua potable de la urbanización Los Monasterios.
- Determinación de los caudales a suministrar.
- Dimensionamiento de la tubería de impulsión al depósito Intermedio y de la red de distribución de agua potable.
- Dimensionamiento de la estación de bombeo junto al depósito Gemelo.
- Dimensionamiento de la estación de bombeo junto al depósito Intermedio.
- Regulación del volumen del nuevo depósito Intermedio de 500 m<sup>3</sup>.
- Regulación y estudio energético de las estaciones de bombeo.
- Dimensionamiento de elementos hidráulicos y su ubicación en la red de agua potable como las válvulas reductoras de presión, en adelante VRP, válvulas de seccionamiento, ventosas y purgadores.
- Estudio del fenómeno transitorio que se genera en la tubería que impulsa agua potable desde el depósito Gemelo al depósito Intermedio.

### 3. CONFIGURACIÓN ACTUAL.

La urbanización Los Monasterios se encuentra dividida en 6 sectores, de los cuales se subdividen en más zonas, haciendo un total de 10 sectores. Esta sectorización se ve condicionada por la orografía que presenta la urbanización Los Monasterios, fases de desarrollo urbanístico y por su ubicación.

Algo a destacar de esta urbanización es que se encuentra entre dos términos municipales (Puzol y Sagunto). A continuación, en la Figura 1 se puede observar esta distribución además de la ubicación de los diferentes depósitos que la abastece.

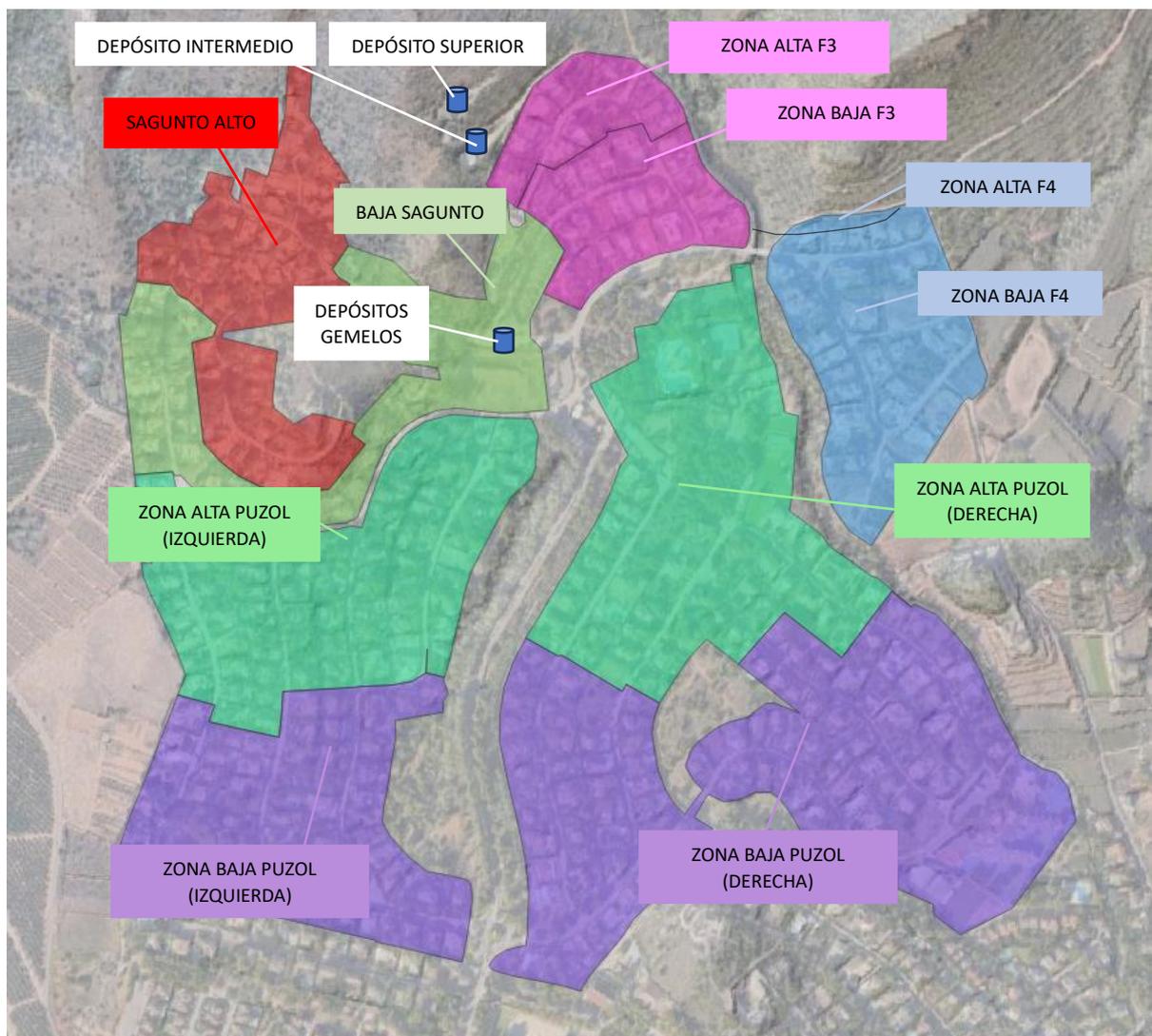


Figura 1: Distribución de la urbanización los Monasterios.

Como se ha mencionado anteriormente, las diferentes zonas son abastecidas de agua potable por gravedad por sus correspondientes depósitos. A continuación, en la Figura 2 y Figura 3 se puede observar el esquema de funcionamiento de la red y el trazado actual de la red de distribución de agua potable de la urbanización Los Monasterios.

DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

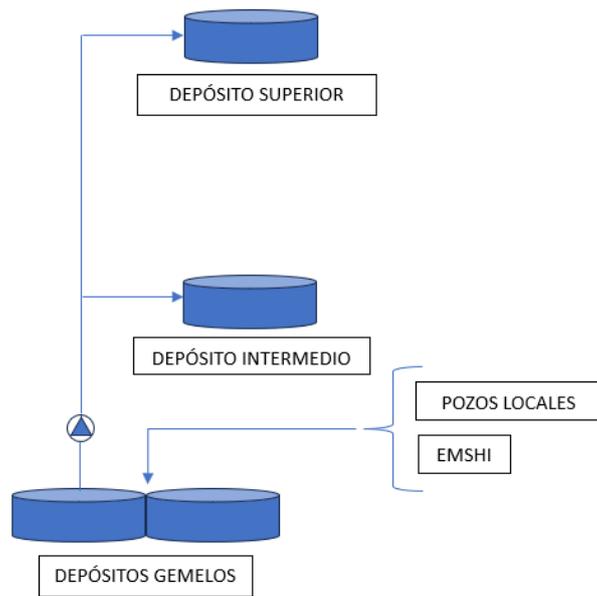


Figura 2: Esquema de la red actual de la urbanización los Monasterios.

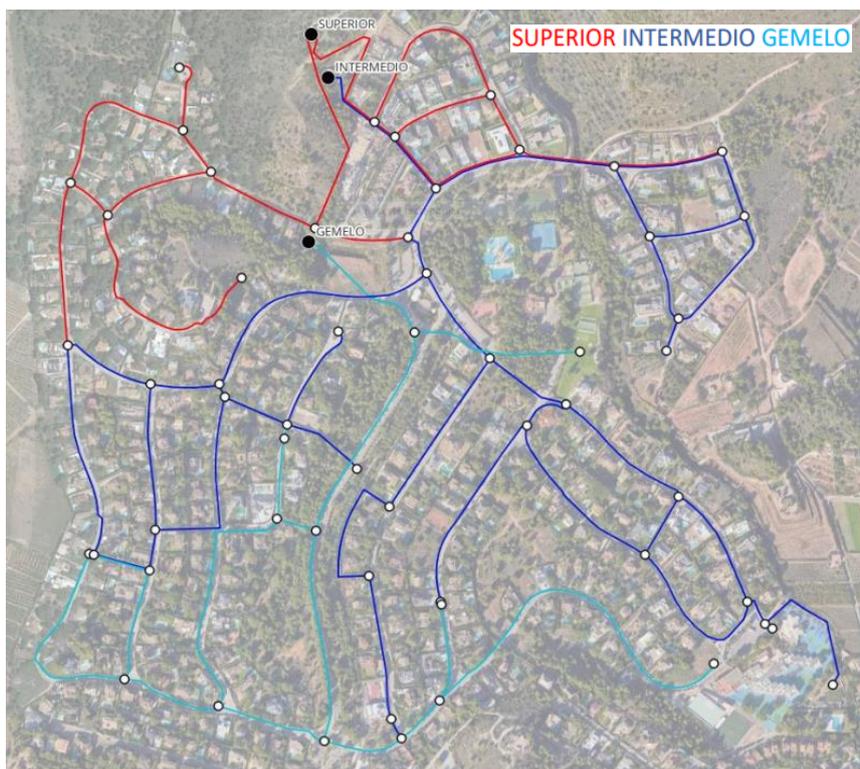


Figura 3: Red actual de la urbanización los Monasterios.

#### **4. PLANIFICACIÓN.**

Este apartado tiene como objetivo la planificación de la nueva red de agua potable de la urbanización Los Monasterios, donde a partir de la problemática descrita anteriormente, las condiciones y los requisitos que presenta se plantean posibles alternativas de configuración para su abastecimiento.

##### **4.1 CONDICIONES Y REQUISITOS.**

El diseño de la red de abastecimiento de agua potable de la urbanización Los Monasterios está condicionada por los siguientes puntos:

- Ubicación geográfica y estructura de los depósitos. Por un lado, se tiene el depósito Gemelo a cota 145 metros compuesto por dos depósitos circulares. Por otro lado, el depósito intermedio se encuentra a cota 195 metros, con estructura circular de un único vaso. Por último, el depósito superior está a cota 225 metros y presenta la misma estructura que el depósito Intermedio.
- Condiciones de terreno de las parcelas de los depósitos. Por un lado, la parcela en la que se ubica el depósito Gemelo se encuentra totalmente ocupada. Por otro lado, las parcelas del depósito Intermedio y depósito Superior presentan mayor zona de trabajo posibilitando la construcción de nuevas infraestructuras.
- Conexión de la nueva red con las tuberías ya existentes de los sectores F3 y F4.
- Cotas topográficas determinadas por la orografía actual. Teniendo una diferencia aproximada de 80 metros entre la zona de consumo más elevada y más baja.
- Presión mínima de 25 mca en los nudos con demanda.
- Presión máxima de 50 mca o mínimo número de nudos de consumo por encima de esa presión para emplear polietileno de alta densidad PN10 definido por la delegación de la urbanización Los Monasterios.
- Diámetro mínimo interior de 100 mm debido a la presencia de hidrantes de incendio DN 100 mm.

##### **4.2 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.**

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente se plantean una serie de opciones de la configuración final de la red de la urbanización de los Monasterios en conjunto, donde el color verde se refiere a la red de usos secundarios y el azul al agua potable.

DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

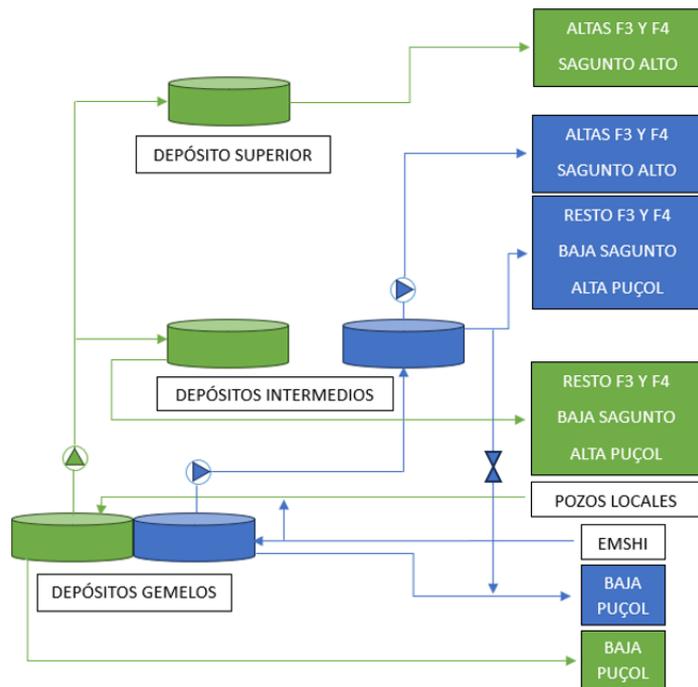


Figura 4: Opción 1 - depósito Intermedio + depósito Gemelo.

Como primera opción, se tiene la Figura 4 donde uno de los depósitos del depósito Gemelo suministra agua potable por gravedad y un nuevo depósito, ubicado junto al depósito Intermedio, abastece por bombeo y gravedad.

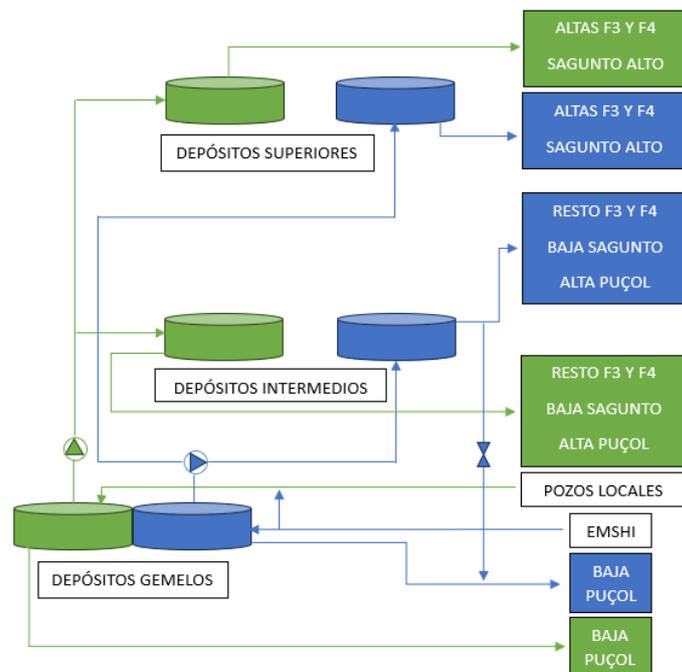


Figura 5: Opción 2 - depósito Superior + depósito Intermedio + depósito Gemelo.

La segunda opción, que se muestra en la Figura 5, consiste en el suministro de agua potable por gravedad desde tres depósitos distintos. Se emplea un depósito del depósito Gemelo y se construyen dos nuevos depósitos, uno junto al depósito Intermedio y el otro en la misma parcela que el depósito Superior.

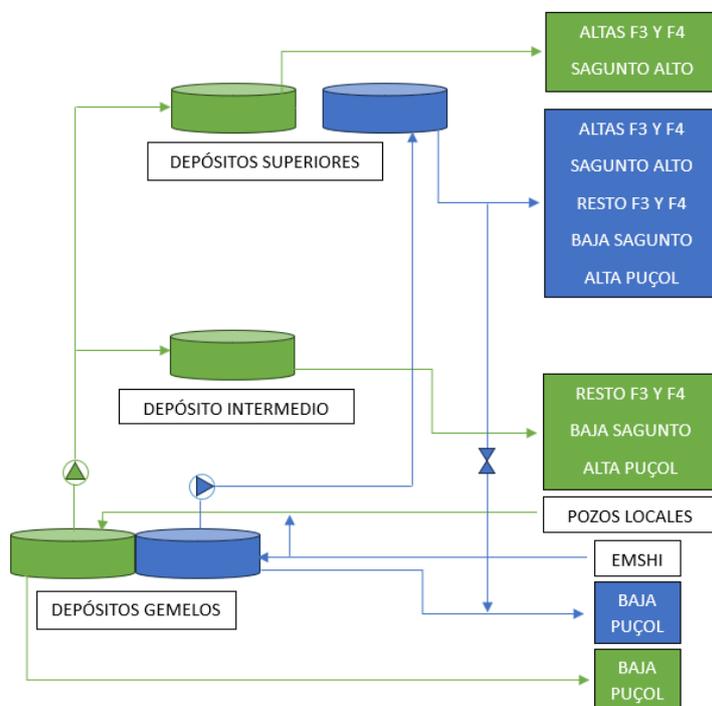


Figura 6: Opción 3 - depósito Superior + depósito Gemelo.

Por último, como tercera opción se tiene la Figura 6. En esta, la urbanización es abastecida de agua potable por gravedad desde un depósito del depósito Gemelo y de un nuevo depósito junto al depósito Superior.

Entre las posibles alternativas se encuentran los siguientes puntos en común:

- Empleo de uno de los vasos del depósito Gemelo para agua potable. Debido a que se tratan de dos depósitos circulares, se puede acondicionar uno para el uso de agua potable. En cambio, tanto el depósito Intermedio como el depósito Gemelo se tratan de un único depósito circular, imposibilitando su división.
- Construcción de más depósitos. Debido a la insuficiente capacidad de almacenamiento del depósito Gemelo para uso de agua potable, es necesaria la construcción de otro depósito. Los nuevos depósitos presentarán dos vasos.
- Estación de bombeo junto al depósito Gemelo de agua potable para el llenado de los depósitos de agua potable que se encuentren a cotas superiores.
- Posibilidad de abastecer de agua potable a la zona Baja Puzol en caso de que el depósito Gemelo se encuentre en mantenimiento.

Para seleccionar la opción más óptima se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- Coste total. En este apartado se valorará el presupuesto de la construcción de los depósitos necesarios. Para ello, se tiene una plantilla que presenta los costes que supondría la construcción del depósito Intermedio de 500 m<sup>3</sup>.
- Nudos con presiones excesivas. Se tendrá en cuenta la cantidad de nudos de consumo que se encuentren por encima de 50 mca.
- Mantenimiento. Este engloba los elementos hidráulicos que son necesarios en cada alternativa y que requieren de mantenimiento, como los depósitos, las válvulas reductoras de presión y las estaciones de bombeo.

#### 4.2.1 OPCIÓN 1 – DEPÓSITO GEMELO + DEPÓSITO INTERMEDIO.

En este caso, el coste solo contemplará la construcción del depósito Intermedio de 500 m<sup>3</sup>. En cuanto a las presiones que se llegan a alcanzar, como se puede observar en la Figura 7, la gran parte de presiones excesivas se encuentran en la Zona Alta Puzol y Zona Baja F4. Sin embargo, mediante la instalación de dos VRP se solucionarían las sobrepresiones en dicha zona. Por otro lado, se necesitaría una estación de bombeo para cumplir presiones en Sagunto Alto. Por lo tanto, aportando estos elementos hidráulicos se obtendrían los resultados de la Figura 8 y sus características en la Tabla 1.

*Tabla 1: Características de la opción 1.*

CRITERIOS	OPCIÓN 1
DEPÓSITO GEMELO	1
DEPÓSITO INTERMEDIO	1
DEPÓSITO SUPERIOR	0
DEPÓSITOS	2
VRPs	2
ESTACIONES DE BOMBEO	2
PRESIÓN +50 EN NUDOS DE CONSUMO	8
MANTENIMIENTO	6
COSTE DEPÓSITO INTERMEDIO	371.306,85 €
COSTE DEPÓSITO SUPERIOR	- €
COSTE TOTAL	371.306,85 €

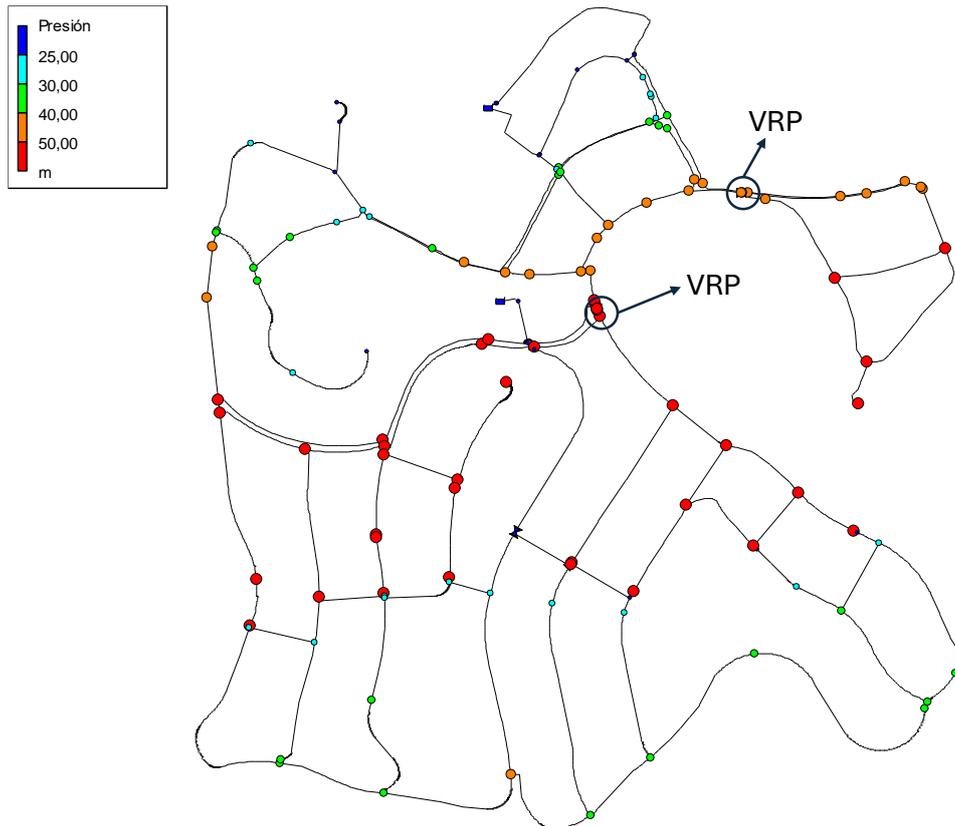


Figura 7: Presiones obtenidas con la opción 1.

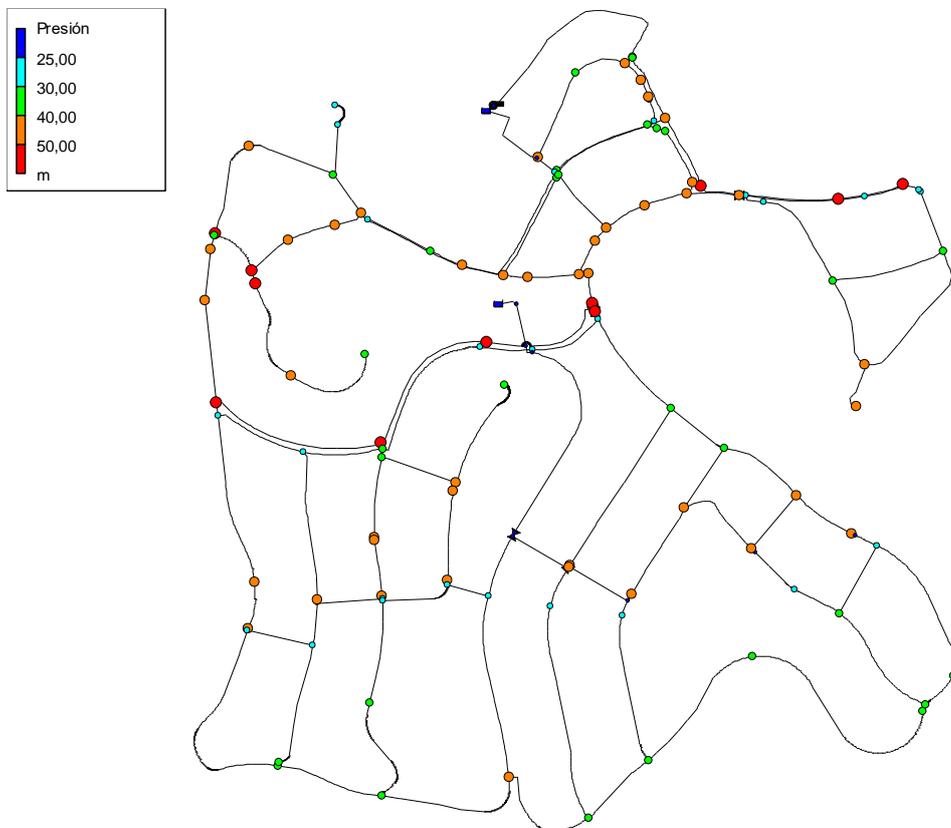


Figura 8: Opción 1 con sus elementos hidráulicos.

#### 4.2.2 OPCIÓN 2 – DEPÓSITO GEMELO + DEPÓSITO INTERMEDIO + DEPÓSITO SUPERIOR.

Para esta opción, el volumen que necesitaría el depósito Superior sería de 100 m<sup>3</sup> ya que sólo suministraría a la zona Sagunto Alto, mientras que el depósito Intermedio presentaría un volumen de 400 m<sup>3</sup>. Además, debido a que junto al depósito Superior no se dispone de parcela y el terreno se encuentra en peores condiciones, el coste de movimiento de tierras y acondicionamiento de la parcela serán más caros que para el depósito Intermedio. En la Figura 9 que se muestra a continuación, se puede ver que las zonas abastecidas por el depósito Superior presentan presiones que superan los 50 mca, por lo que se emplearía una VRP. En cuanto a las presiones abastecidas por gravedad desde el depósito Intermedio, se pueden reducir mediante la instalación de dos VRP. Finalmente, aportando estos elementos hidráulicos se obtendrían los resultados de la Figura 10 y sus características en la Tabla 2.

*Tabla 2: Características de la opción 2.*

CRITERIOS	OPCIÓN 2
DEPÓSITO GEMELO	1
DEPÓSITO INTERMEDIO	1
DEPÓSITO SUPERIOR	1
DEPÓSITOS	3
VRPs	3
ESTACIONES DE BOMBEO	1
PRESIÓN +50 EN NUDOS DE CONSUMO	8
MANTENIMIENTO	7
COSTE DEPÓSITO INTERMEDIO	346.546,99 €
COSTE DEPÓSITO SUPERIOR	294.132,09 €
COSTE TOTAL	640.679,08 €

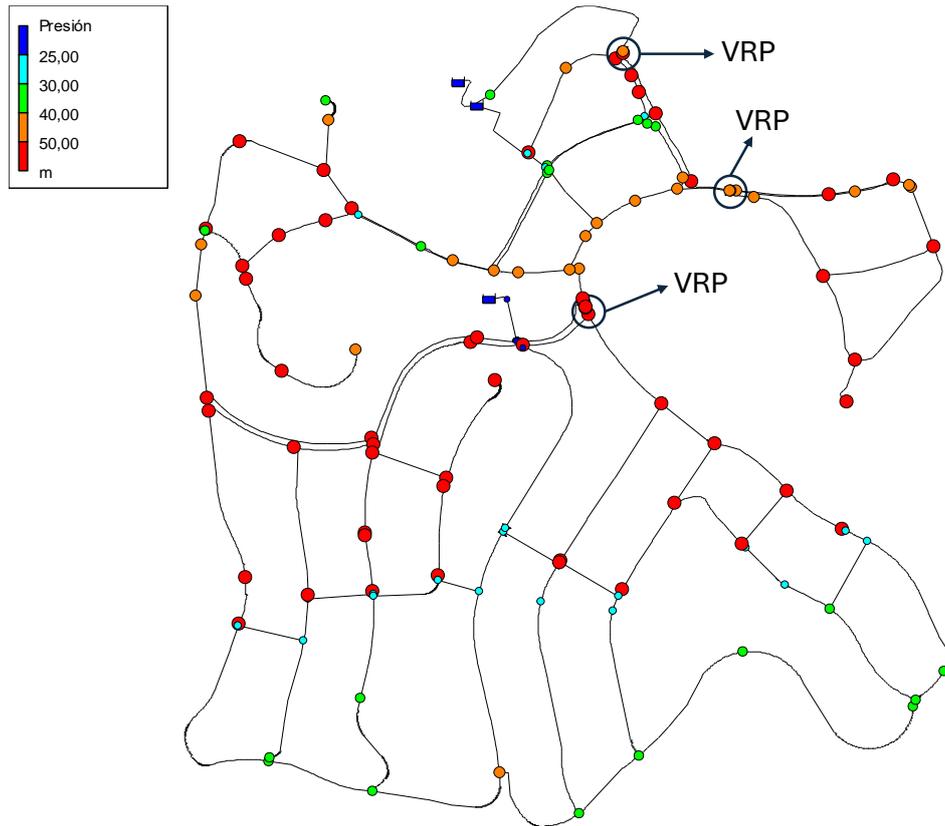


Figura 9: Presiones obtenidas con la opción 2.

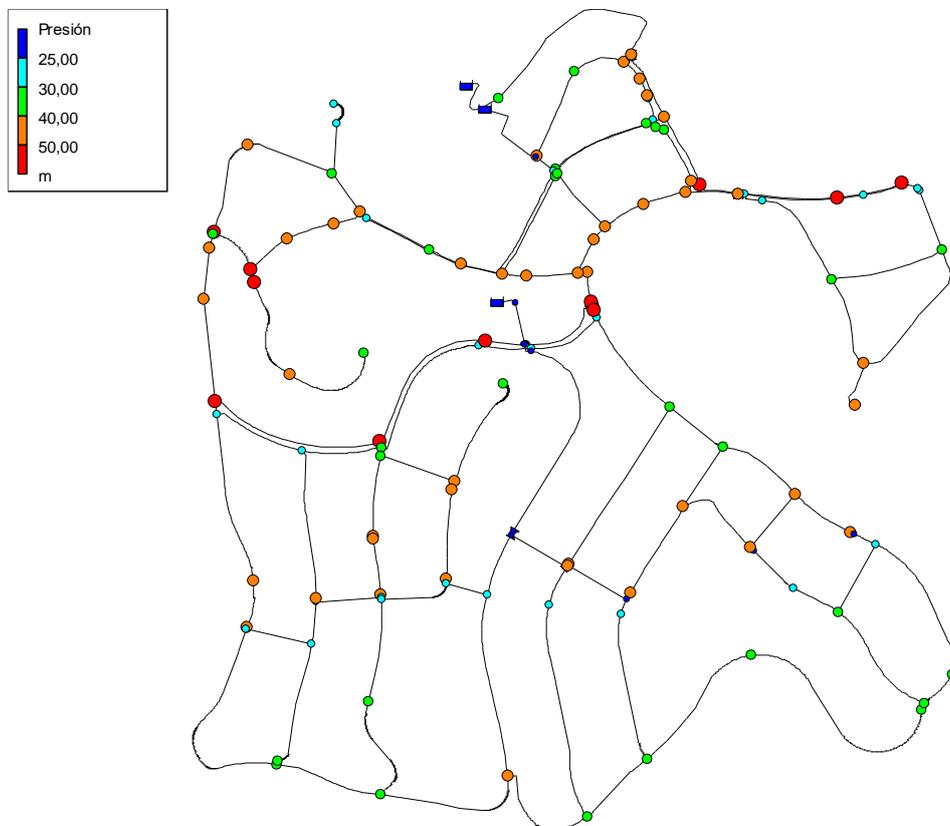


Figura 10: Opción 2 con sus elementos hidráulicos.

**4.2.3 OPCIÓN 3 – DEPÓSITO GEMELO + DEPÓSITO SUPERIOR.**

Para acabar, en esta alternativa se tendrá únicamente un depósito Superior de 500 m<sup>3</sup> que suministrará por gravedad a todas las zonas. Como se puede observar en la Figura 11, se alcanzan presiones muy altas, por lo que es necesario emplear varias VRP. Sin embargo, instalando estos elementos hidráulicos se queda un gran número de nudos por encima de 50 mca como se puede ver en la Figura 12. En la Tabla 3 se recogen las características de esta opción.

Tabla 3: Características de la opción 3.

CRITERIOS	OPCIÓN 3
DEPÓSITO GEMELO	1
DEPÓSITO INTERMEDIO	0
DEPÓSITO SUPERIOR	1
DEPÓSITOS	2
VRPs	3
ESTACIONES DE BOMBEO	1
PRESIÓN +50 EN NUDOS DE CONSUMO	16
MANTENIMIENTO	6
COSTE DEPÓSITO INTERMEDIO	- €
COSTE DEPÓSITO SUPERIOR	440.806,85 €
COSTE TOTAL	440.806,85 €

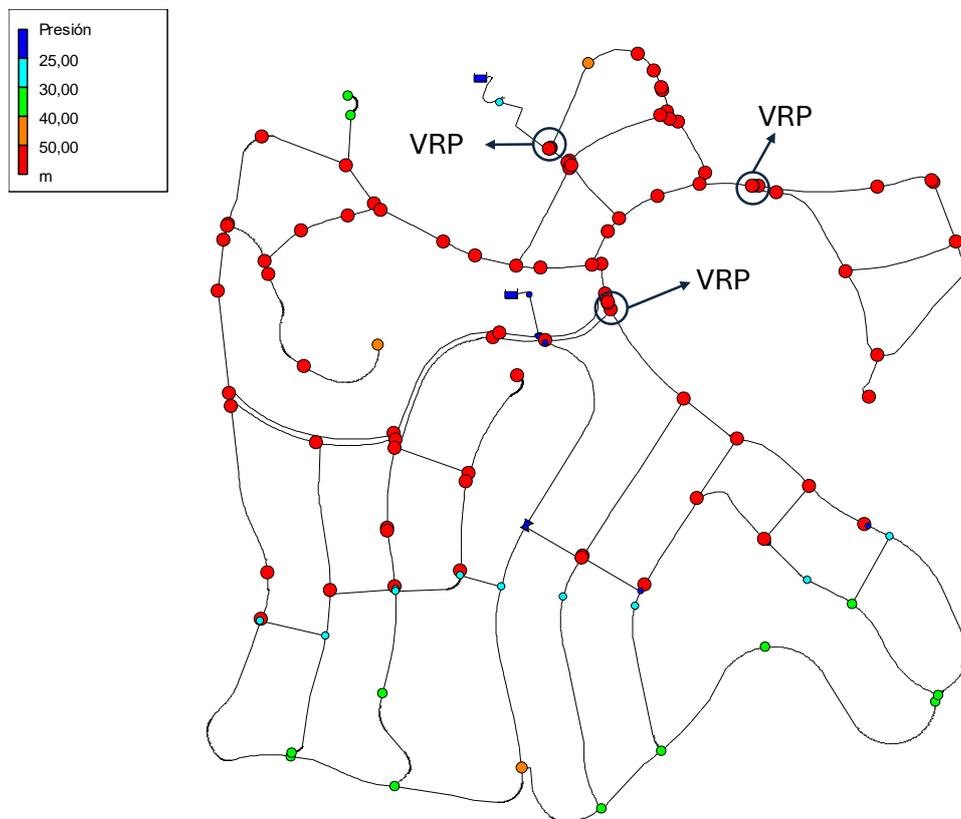


Figura 11: Presiones obtenidas con la opción 3.

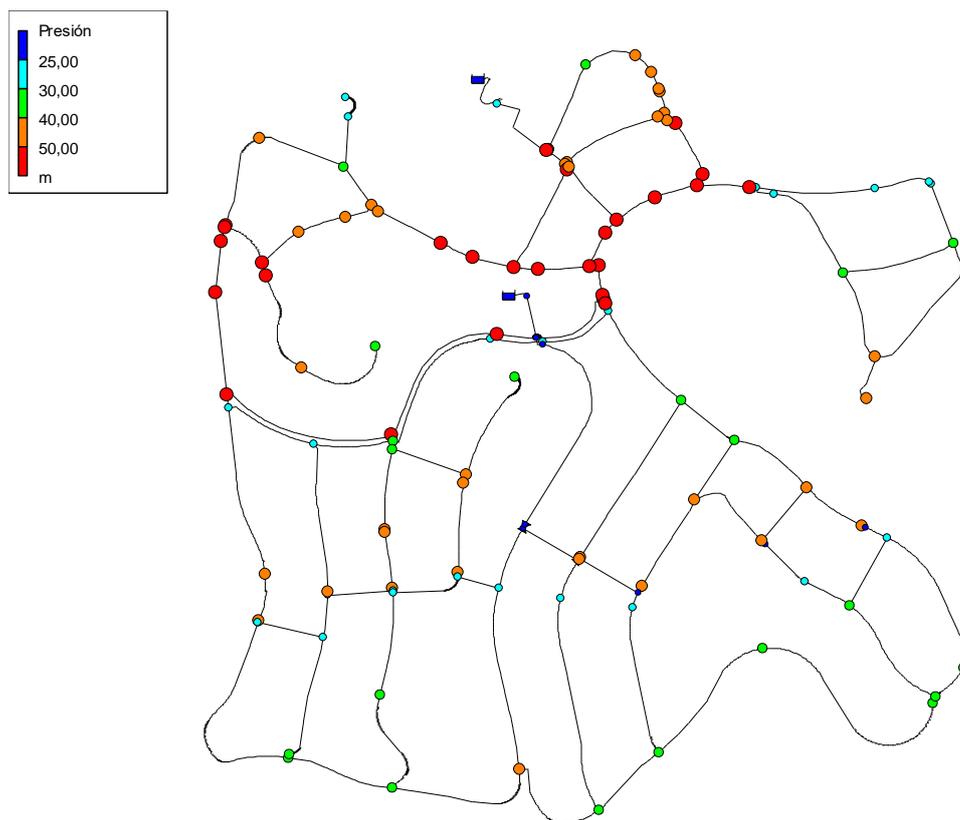


Figura 12: Opción 3 con sus elementos hidráulicos.

### 4.3 SOLUCIÓN.

Para decidir que alternativa se va a tomar como solución final se realiza la Tabla 4 de comparación donde se pueden observar los criterios que se han valorado.

Tabla 4: Tabla comparativa entre las posibles alternativas.

CRITERIOS	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
DEPÓSITO GEMELO	1	1	1
DEPÓSITO INTERMEDIO	1	1	0
DEPÓSITO SUPERIOR	0	1	1
DEPÓSITOS	2	3	2
VRPs	2	3	3
ESTACIONES DE BOMBEO	2	1	1
<b>PRESIÓN +50 EN NUDOS DE CONSUMO</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>16</b>
<b>MANTENIMIENTO</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>6</b>
COSTE DEPÓSITO INTERMEDIO	371.306,85 €	346.546,99 €	- €
COSTE DEPÓSITO SUPERIOR	- €	294.132,09 €	440.806,85 €
<b>COSTE TOTAL</b>	<b>371.306,85 €</b>	<b>640.679,08 €</b>	<b>440.806,85 €</b>

Comparando las distintas alternativas se puede observar como la opción 1 es la más adecuada. Por lo tanto, se decide realizar la red de distribución de agua potable siguiendo la configuración de la Figura 4, la cual para cumplir con las necesidades de la urbanización es necesario realizar los siguientes trabajos:

- Renovación de las instalaciones hidráulicas de los depósitos Gemelos, dedicando un depósito para cada uso.
- Acondicionamiento de la parcela de los depósitos Gemelos, ejecutando un nuevo acceso y renovando las tuberías de salida.
- Ejecución de un nuevo depósito Intermedio junto al actual para uso de agua potable.
- Ejecución de un nuevo tramo de tubería de alimentación de los depósitos gemelos, dejando el tramo actual para el llenado del depósito Gemelo para uso de riego.
- Ejecución de una nueva red de distribución de agua potable para las zonas sin doble red. Destacar que las zonas F3 y F4 ya disponen de doble red.
- Sistema de bombeo en el depósito Gemelo para el llenado del nuevo depósito Intermedio.
- Sistema de bombeo en el depósito Intermedio para el suministro de agua potable a las zonas que se abastecían anteriormente desde el depósito Superior.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

El sistema hidráulico que suministra agua potable a la urbanización Los Monasterios está dividido en una red que proporciona agua potable mediante una estación de bombeo y dos redes que abastecen por gravedad desde diferentes depósitos. Para obtener la solución más adecuada se prioriza el suministro de agua potable por gravedad en la mayoría de los sectores excepto en aquellos que inicialmente eran suministrados por el depósito Superior. Debido a que ahora serán abastecidos por el depósito Intermedio, el cual se encuentra a menor cota que el superior, es necesario aportar mayor altura para poder llegar a la presión mínima deseada.

Además, las dos redes que funcionan por gravedad y que aportan agua potable desde diferentes depósitos (Intermedio y Gemelo) se encuentran interconectadas para garantizar el suministro cuando el depósito Gemelo se encuentre en mantenimiento. En cambio, cuando el mantenimiento se produzca en el depósito Intermedio no se produce ningún corte de suministro debido a que este presenta dos vasos, por lo que uno siempre estará en funcionamiento.

En cuanto a las estaciones de bombeo que se incorporarán a la red de abastecimiento de agua potable a la urbanización Los Monasterios se tienen dos con funcionamientos totalmente distintos. Por un lado, se tiene la estación de bombeo situada junto al depósito Gemelo, la cual se tratará de un bombeo contra depósito. Por otro lado, la otra estación de bombeo se encontrará junto al nuevo depósito Intermedio, la cual tendrá como objetivo el suministro de agua potable a una determinada presión para cumplir satisfactoriamente las demandas.

Debido a que cada estación de bombeo tiene objetivos distintos se emplearán en cada caso bombas de características distintas. A continuación, se explicará brevemente los tipos de bombas que se seleccionarán en cada estación de bombeo:

- Estación de bombeo junto al depósito Gemelo: Debido a su objetivo, se empleará una bomba de velocidad fija, más una de reserva. Trabjará en un punto de funcionamiento constante ya que siempre suministrará un mismo caudal, donde la única variable que tendrá será su tiempo de funcionamiento.
- Estación de bombeo junto al depósito Intermedio: En este caso, debido a que su funcionamiento está en función de las demandas presentes en la red, será necesario el empleo de bombas en paralelo para poder abarcar el rango de caudales. Además, se emplearán variadores de frecuencia que nos permiten obtener las siguientes ventajas:
  - Disminución del número de bombas para efectuar la regulación.
  - Mejor capacidad de regulación y menores costes energéticos con demandas variables.

### 5.1 SECTORIZACIÓN.

Una vez determinada la configuración de la nueva red de abastecimiento de agua potable de la urbanización Los Monasterios se realiza el trazado de las correspondientes tuberías con los nudos de consumo a través de los diferentes sectores mostrados en la Figura 1, y se clasifican las anteriores zonas de trabajo dependiendo de su funcionamiento hidráulico. A continuación, en la Figura 13 se pueden observar los diferentes sectores hidráulicos con el trazado de las tuberías y nudos de consumo.

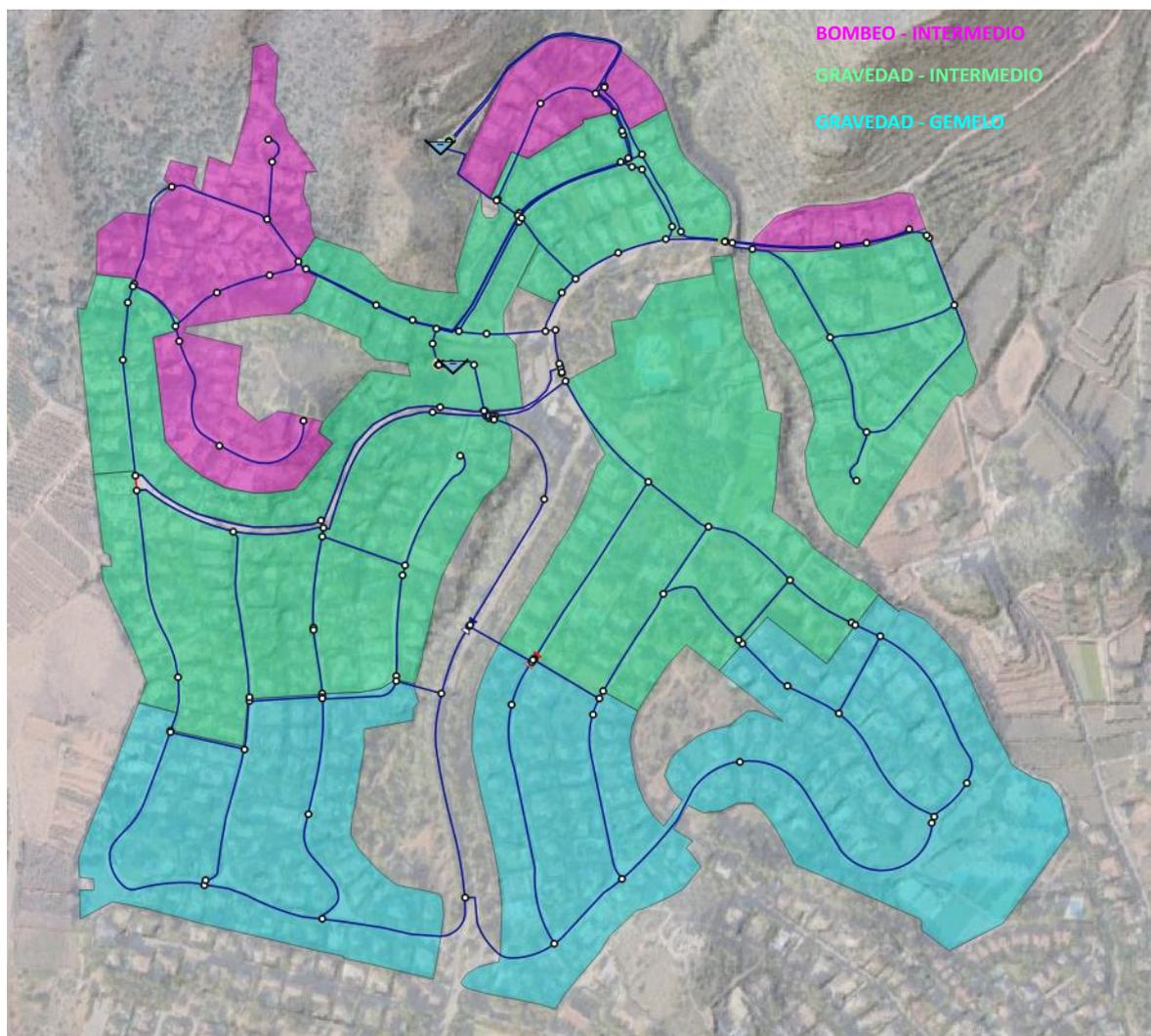


Figura 13: Sectorización hidráulica de la red de agua potable de la urbanización Los Monasterios.

## 5.2 CÁLCULO DE DOTACIONES Y DEMANDAS.

En primer lugar, hay que determinar una dotación para los diferentes consumos que se encuentran en la red. Por un lado, se tienen viviendas unifamiliares que presentarán una dotación de 280 l/hab-día mientras que las viviendas multifamiliares presentarán una dotación de 180 l/hab-día. Ambos tipos van a tener los mismos habitantes por vivienda que será de 4 personas. Una vez determinado esto, mediante la siguiente ecuación se obtienen los caudales medios por sector:

$$Q_{medio} = \frac{Dotación}{86400} \cdot N_{habitantes} \cdot N_{viviendas} \quad (1)$$

Donde:

- $Q_{medio}$ : Caudal medio [l/s].
- $Dotación$ : Dotación por habitante (280 l/día o 180 l/día).
- $N_{habitantes}$ : Número de habitantes por vivienda (4).
- $N_{viviendas}$ : Número de viviendas o de grandes consumidores por sector.

Para determinar su caudal punta, se calculará previamente su coeficiente punta a través de la fórmula aportada por el profesor Javier Martínez Solano del Tema 3 de la asignatura de Planificación y Diseño de Redes de Distribución de Agua del curso 2023-2024 [3], la cual se muestra a continuación:

$$C_p = \frac{17,12}{\sqrt{N}} + 2,185 \quad (2)$$

Donde N es el número de usuarios.

Por otro lado, se tienen dos consumos específicos, un club deportivo y un colegio. Para determinar sus dotaciones y caudales punta se emplea la tabla aportada por el profesor Pedro Luis Iglesias Rey del Tema 2 de la asignatura de Planificación y Diseño de Redes de Distribución de Agua del curso 2023-2024 [4], donde cada consumo presentará las características indicadas en la Tabla 5.

*Tabla 5: Dotación y coeficiente punta de los consumos específicos.*

CONSUMO ESPECÍFICO	DOTACIÓN (l/ocup·día)	Cp
CLUB DEPORTIVO	50	6
COLEGIO	40	5

Por último, queda por determinar los ocupantes que presentarán los consumos específicos. A través de la web del colegio [5] se tiene la información de que presenta 950 plazas. Por lo tanto, se decide redondear a 1000 ocupantes para tener en cuenta a profesores y personal. En cuanto al club deportivo se efectúa una cuenta de las instalaciones que presenta y se realiza una estimación de las personas que se encuentran en cada una de ellas. De esta manera, en la Tabla 6 se observan los ocupantes que presentará el club deportivo.

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)**

*Tabla 6: Ocupantes del club deportivo.*

<b>INSTALACIONES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PERSONAS/INSTALACIÓN</b>	<b>TOTAL</b>
PADEL DOBLE	5	4	20
PADEL INDIVIDUAL	2	2	4
RESTAURANTE	1	40	40
PISCINA	1	20	20
FUTBOL 8	1	16	16
FRONTÓN	1	4	4
GOLF	1	12	12
BALONCESTO	1	10	10
<b>OCUPANTES TOTALES ≈ 130</b>			126

Una vez determinados los números de usuarios indicados en la Tabla 7 y las dotaciones de cada sector se realizan los cálculos descritos anteriormente, donde el caudal punta de cada uno de ellos se obtiene mediante el producto del caudal medio y de su correspondiente coeficiente punta. A continuación, se pueden observar los caudales medios por sector, los coeficientes punta y los caudales punta en las Tablas 8, 9 y 10 respectivamente.

*Tabla 7: Número de usuarios por sector.*

<b>SECTORES</b>	<b>VIVIENDAS UNIFAMILIARES</b>	<b>VIVIENDAS MULTIFAMILIARES</b>	<b>OCUPANTES CONSUMOS ESPECÍFICOS</b>
ZONA ALTA F3	14	0	0
ZONA ALTA F4	6	0	0
SAGUNTO ALTO	47	0	0
BAJA SAGUNTO	33	103	0
RESTO F3	22	0	0
RESTO F4	35	0	0
ZONA ALTA PUZOL (IZQUIERDA)	80	0	0
ZONA ALTA PUZOL (DERECHA)	52	0	130
ZONA BAJA PUZOL (IZQUIERDA)	67	0	0
ZONA BAJA PUZOL (DERECHA)	92	0	1000

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)**

*Tabla 8: Caudal medio por sector.*

<b>SECTORES</b>	<b>Qm viviendas unifamiliares [l/s]</b>	<b>Qm viviendas multifamiliares [l/s]</b>	<b>Qm consumos específicos [l/s]</b>	<b>Q medio total [l/s]</b>
ZONA ALTA F3	0,18	0,00	0,00	0,18
ZONA ALTA F4	0,08	0,00	0,00	0,08
SAGUNTO ALTO	0,61	0,00	0,00	0,61
BAJA SAGUNTO	0,43	0,86	0,00	1,29
RESTO F3	0,29	0,00	0,00	0,29
RESTO F4	0,45	0,00	0,00	0,45
ZONA ALTA PUZOL (IZQUIERDA)	1,04	0,00	0,00	1,04
ZONA ALTA PUZOL (DERECHA)	0,67	0,00	0,08	0,75
ZONA BAJA PUZOL (IZQUIERDA)	0,87	0,00	0,00	0,87
ZONA BAJA PUZOL (DERECHA)	1,19	0,00	0,46	1,66
<b>TOTAL = 7,20</b>				

*Tabla 9: Coeficientes punta.*

<b>SECTORES</b>	<b>Cp (viviendas unifamiliares)</b>	<b>Cp (viviendas multifamiliares)</b>	<b>Cp (consumos específicos)</b>
ZONA ALTA F3	6,76	0,00	0,00
ZONA ALTA F4	9,17	0,00	0,00
SAGUNTO ALTO	4,68	0,00	0,00
BAJA SAGUNTO	5,17	3,87	0,00
RESTO F3	5,83	0,00	0,00
RESTO F4	5,08	0,00	0,00
ZONA ALTA PUZOL (IZQUIERDA)	4,10	0,00	0,00
ZONA ALTA PUZOL (DERECHA)	4,56	0,00	6,00
ZONA BAJA PUZOL (IZQUIERDA)	4,28	0,00	0,00

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)**

ZONA BAJA PUZOL (DERECHA)	3,97	0,00	5,00
---------------------------	------	------	------

*Tabla 10: Caudales punta por sector.*

SECTORES	Qp viviendas unifamiliares [l/s]	Qp viviendas multifamiliares [l/s]	Qp consumos específicos [l/s]	Q punta total [l/s]
ZONA ALTA F3	1,23	0,00	0,00	1,23
ZONA ALTA F4	0,71	0,00	0,00	0,71
SAGUNTO ALTO	2,85	0,00	0,00	2,85
BAJA SAGUNTO	2,21	3,32	0,00	5,53
RESTO F3	1,66	0,00	0,00	1,66
RESTO F4	2,30	0,00	0,00	2,30
ZONA ALTA PUZOL (IZQUIERDA)	4,25	0,00	0,00	4,25
ZONA ALTA PUZOL (DERECHA)	3,07	0,00	0,45	3,52
ZONA BAJA PUZOL (IZQUIERDA)	3,71	0,00	0,00	3,71
ZONA BAJA PUZOL (DERECHA)	4,73	0,00	2,31	7,05
<b>TOTAL = 32,83</b>				

Por último, queda por determinar la demanda de los nudos de consumo. Para los nudos que corresponden a las viviendas unifamiliares se realiza el siguiente cálculo y se obtienen los resultados de la tabla 11:

$$Q_{p \text{ nudo}} = \frac{Q_{p \text{ viviendas unifamiliares}}}{\text{Nudos del sector}} \quad (3)$$

Donde:

- $Q_{p \text{ nudo}}$ : Caudal punta por nudo [l/s].
- $Q_{p \text{ viviendas unifamiliares}}$ : Caudal punta de las viviendas unifamiliares [l/s].
- $\text{Nudos del sector}$ : Número de nudos según el sector.

*Tabla 11: Caudales punta de cada nudo que corresponde a las viviendas unifamiliares de cada sector.*

SECTORES	NUDOS UNIFAMILIARES	Qp UNIFAMILIARES [l/s]
ZONA ALTA F3	4	0,31
ZONA ALTA F4	2	0,36

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)**

SAGUNTO ALTO	12	0,24
BAJA SAGUNTO	6	0,37
RESTO F3	7	0,24
RESTO F4	5	0,46
ZONA ALTA PUZOL (IZQUIERDA)	13	0,33
ZONA ALTA PUZOL (DERECHA)	8	0,38
ZONA BAJA PUZOL (IZQUIERDA)	10	0,37
ZONA BAJA PUZOL (DERECHA)	14	0,34

Para los nudos que corresponden a viviendas multifamiliares hay que tener en cuenta el número de usuarios que hay en cada nudo. Por lo tanto, las demandas de los nudos se ven reflejadas en la Tabla 12 y se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{p \text{ nudo}} = \frac{\text{Usuarios en el nudo} \cdot Q_{p \text{ viviendas multifamiliares}}}{\text{Usuarios viviendas multifamiliares}} \quad (4)$$

Donde:

- $Q_{p \text{ nudo}}$ : Caudal punta por nudo [l/s].
- *Usuarios en el nudo*: Usuarios que hay en el apartamento donde se encuentra el nudo.
- $Q_{p \text{ viviendas multifamiliares}}$ : Caudal punta de las viviendas multifamiliares (3,32 l/s).
- *Usuarios viviendas multifamiliares*: Usuarios de las viviendas multifamiliares (103).

*Tabla 12: Caudal punta de cada nudo de vivienda multifamiliar.*

<b>4 NUDOS MULTIFAMILIARES</b>	<b>Qp MULTIFAMILIARES [l/s]</b>
25,00	0,81
26,00	0,84
24,00	0,77
28,00	0,90

Por último, al tratarse de un único nudo por consumo específico, sus demandas serán las mismas que el caudal punta obtenido, lo cual se puede ver reflejado en la Tabla 13.

*Tabla 13: Caudal punta de los nudos de consumo específico.*

<b>CONSUMO ESPECÍFICO</b>	<b>Qp NUDO [l/s]</b>
CLUB DEPORTIVO	0,45
COLEGIO	2,31

Una vez se determinan las demandas de agua potable de la urbanización Los Monasterios se procede a desarrollar el modelo matemático de la red y el dimensionamiento de los elementos hidráulicos que la componen.

## 6. DIMENSIONADO DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS.

En este apartado se mostrará la metodología que se ha empleado para dimensionar las diferentes tuberías, estaciones de bombeo y VRP que presenta la red de agua potable de la urbanización de Los Monasterios.

### 6.1 TUBERÍA DE IMPULSIÓN CONTRA DEPÓSITO.

En este caso, se tiene una tubería que se encarga de abastecer de agua potable el depósito Intermedio desde el depósito Gemelo. Para determinar su diámetro se empleará una pendiente hidráulica de diseño de 5 m/Km y se seguirá el siguiente procedimiento:

- Se comenzará determinando el caudal bombeado que circulará a través de la tubería. Para ello, se determinará el volumen medio de agua potable que suministra el depósito Intermedio al día a través de la ecuación (5) a partir del caudal de consumo medio que se indica en la Tabla 14. Posterior a esto se dividirá el volumen consumido entre el tiempo de funcionamiento de la bomba. En la Tabla 15 se muestra un resumen de los datos de consumo y los datos de bombeo.

Tabla 14: Caudal medio que suministra el depósito Intermedio.

SECTORES	Qm [l/s]	Qm total [l/s]
ZONA ALTA F3	0,18	4,68
ZONA ALTA F4	0,08	
SAGUNTO ALTO	0,61	
BAJA SAGUNTO	1,29	
RESTO F3	0,29	
RESTO F4	0,45	
ZONA ALTA PUZOL (IZQUIERDA)	1,04	
ZONA ALTA PUZOL (DERECHA)	0,75	

$$V = \frac{Q_{m \text{ total}} \cdot 86400}{1000} = \frac{4,68 \cdot 86400}{1000} = 404,35 \text{ m}^3/\text{día} \quad (5)$$

Tabla 15: Caudal de bombeo en la tubería de impulsión.

DATOS CONSUMO	DATOS BOMBEO
Qm (l/s)	Tiempo de funcionamiento (h)
4,68	7
V (m <sup>3</sup> /día)	Qb (l/s)
404,35	16,05

- En segundo lugar, para determinar el diámetro a través de la pendiente de diseño se emplean las siguientes fórmulas:

$$D = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot f \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot j}} \quad (6)$$

Donde:

- j: Pendiente de diseño (0,005 m/m).
- f: Coeficiente de fricción, obtenido mediante la fórmula de Colebrook-White:

$$f = \frac{0,25}{\log_{10} \left( \frac{5,74}{Re^{0,9}} + \frac{k/D}{3,7} \right)^2} \quad (7)$$

Donde:

- k: rugosidad absoluta de la tubería (0,1 mm).
- Re: Número de Reynolds que se obtiene a partir de la fórmula:

$$Re = \frac{D \cdot v}{\nu} \quad (8)$$

Donde:

- v: Velocidad media del fluido (Q/Sección) [m/s].
- $\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido (1,1E-6 m<sup>2</sup>/s).

Finalmente, se obtiene la Tabla 16 donde se indica la longitud y el caudal que transcurre por la tubería además de los resultados que se han obtenido a través de las anteriores ecuaciones. Entre estos se encuentra el diámetro teórico para seleccionar un diámetro nominal con diámetro interior igual o superior al teórico y la velocidad a la que circula el agua, la cual nos sirve para determinar el número de Reynolds y el factor de fricción que se tiene en la tubería.

*Tabla 16: Dimensionamiento de la tubería de impulsión.*

L (m)	Q (l/s)	D teo (mm)	D int (mm)	DN (mm)	v (m/s)	Re	f
798,504	16,05	154	176	200	0,66	105435	0,021

## 6.2 RED DE SUMINISTRO POR BOMBEO.

Esta red es la que suministra agua potable desde el depósito Intermedio a las zonas más elevadas. Para su dimensionamiento se empleará el método de diámetro mínimo, el cual sigue los siguientes pasos:

- En primer lugar, al tratarse de una red de bombeo hay que determinar la altura de cabecera que se necesita para alcanzar en el punto crítico una presión mínima de 25 mca. Para ello, empleando el método de distribución de caudales se comenzará aportando a todas las tuberías de la red un diámetro de 4 m. Simulando el escenario con estos diámetros se puede observar que en la Figura 14 el nudo crítico se encuentra en la zona de Sagunto Alto con una presión de 9,17 m. Para



$$j = (H_{cab} - Z_{nudo} - P_{min})/L_{acumulada} = (212 - 185,832 - 25)/1095,661 = 0,00107 \text{ m/m}$$

Los diámetros que se emplearán son los recogidos en la Tabla 17.

Tabla 17: Diámetros empleados.

DN (mm)	espesor (mm)	D int (mm)
110	6,6	96,8
160	9,5	141
200	11,9	176,2
250	14,8	220,4

Inicialmente se obtiene en todas las tuberías diámetros DN 110 mm. Con el diámetro calculado, se introduce en Epanet y se realiza una serie de simulaciones donde se aumentan los diámetros de las tuberías que presenten las pérdidas unitarias más elevadas hasta conseguir que el punto crítico iguale o supere la presión mínima de 25 mca. Finalmente, la red presenta los diámetros que se reflejan en la Figura 16 donde también se puede observar que se cumple con la presión mínima. Hay que destacar que las tuberías que presentan diámetros inferiores a DN 110 mm se debe a que son tuberías existentes.

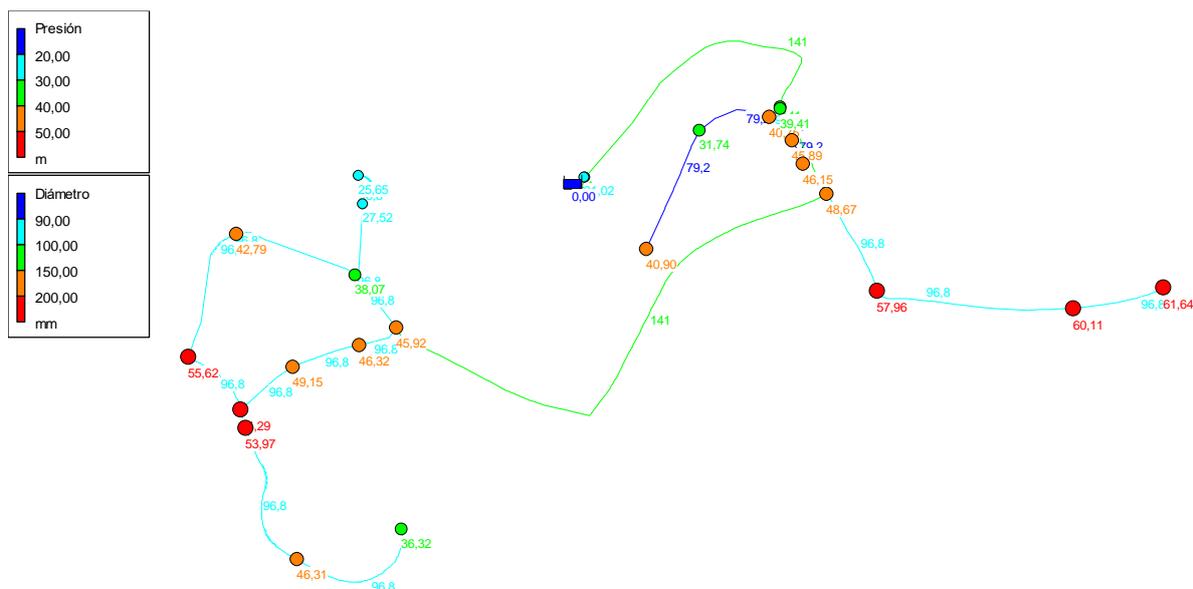


Figura 16: Dimensionamiento de la red de distribución de agua potable por bombeo.

### 6.3 RED DE SUMINISTRO POR GRAVEDAD.

Para dimensionar las redes que suministran agua potable por gravedad hay que tener en cuenta que en algunos momentos funcionarán en conjunto cuando el depósito Gemelo se encuentre en mantenimiento. Esto provoca que en la red por gravedad del depósito Intermedio circule más caudal en determinadas tuberías. Por lo tanto, lo primero que se realiza es el dimensionamiento de la red por gravedad del depósito Gemelo. El trazado que presenta la red de agua potable por gravedad del depósito Gemelo es el mostrado en la Figura 17.

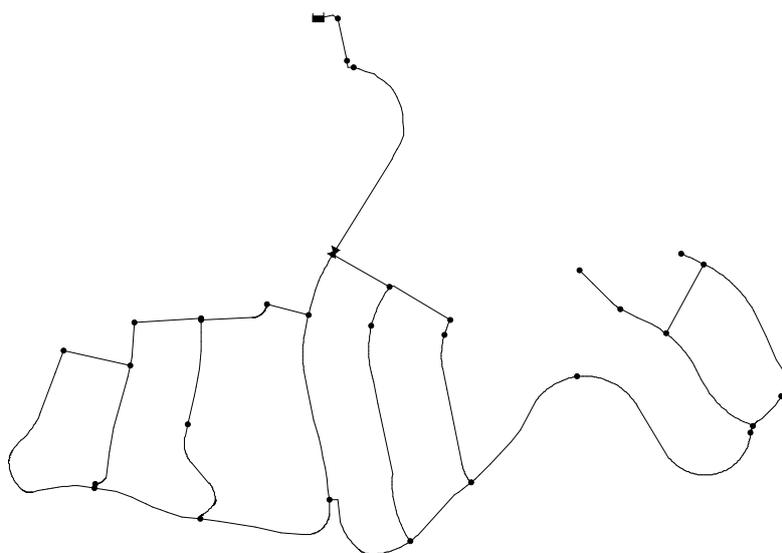


Figura 17: Trazado de la red de distribución de agua potable por gravedad del depósito Gemelo.

Para su dimensionamiento se emplea el método de distribución de caudales, donde se comienza aportando a las tuberías un diámetro de 4 metros y se observa cuál nudo es el crítico.

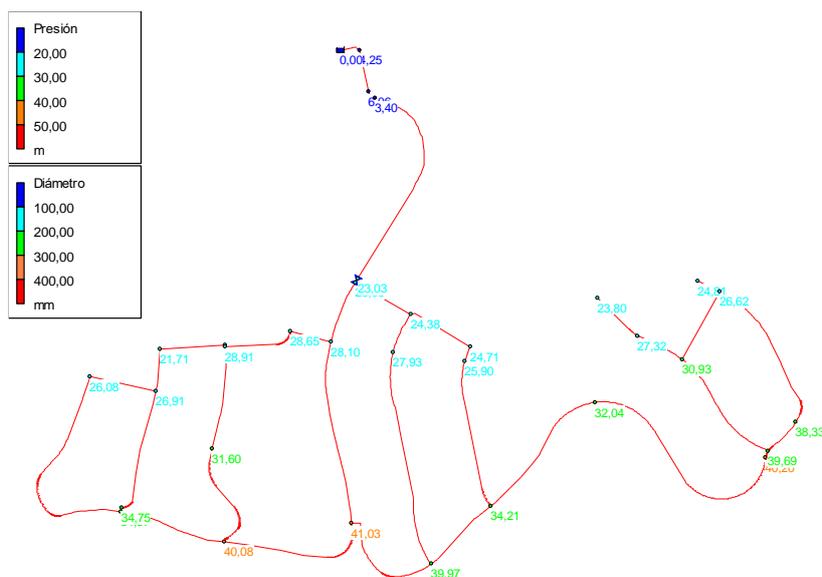


Figura 18: Simulación de la red de distribución de agua potable por gravedad del depósito Gemelo con diámetro de 4 metros.

Como se puede observar en la Figura 18, el nudo crítico se encuentra en la zona izquierda (Zona Baja Puzol Izquierda) con una presión de 21,71 mca debido a que presenta una diferencia de altura respecto al depósito Gemelo de 21,71 m (145-123,29). A partir de esta simulación se extraen los caudales que circulan por las tuberías y se procede a calcular sus diámetros a través de la ecuación (6) a partir de la pendiente hidráulica que se tiene para que el nudo crítico presente una presión mínima de 21 mca:

$$j = (H_{cab} - Z_{nudo} - P_{min})/L_{acumulada} = (145 - 123,29 - 21)/517,323 = 0,00137 \text{ m/m}$$



## DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

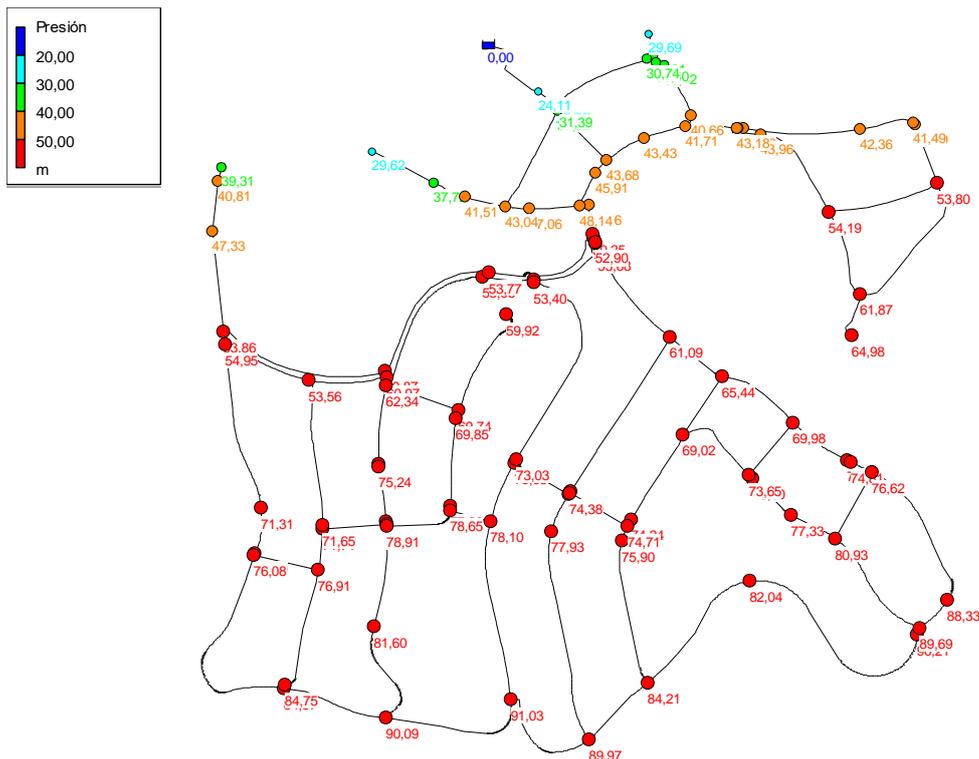


Figura 21: Simulación de la red de distribución de agua potable por gravedad en conjunto con diámetros de 4 metros.

Con la simulación se puede observar que el nudo crítico presenta una presión de 29,62 mca. A partir de los caudales que circulan por las tuberías se calcula el diámetro mediante la ecuación (6) a partir de la pendiente hidráulica del nudo crítico. Hay que destacar que a las tuberías que pertenecen a la red de agua potable por gravedad del depósito Gemelo se les dará directamente los diámetros que se habían obtenido anteriormente en la Figura 19.

$$j = (H_{cab} - Z_{nudo} - P_{min})/L_{acumulada} = (195 - 165,382 - 25)/439,885 = 0,01050 \text{ m/m}$$

Introduciendo los diámetros calculados al modelo de Epanet se procede a aumentar los que presentan mayores pérdidas de carga hasta alcanzar una presión mínima de 25 mca en el nudo crítico. Finalmente, se obtienen los diámetros reflejados en la Figura 22. Hay que destacar que las tuberías que presentan diámetros inferiores a DN 110 mm se debe a que son tuberías existentes.

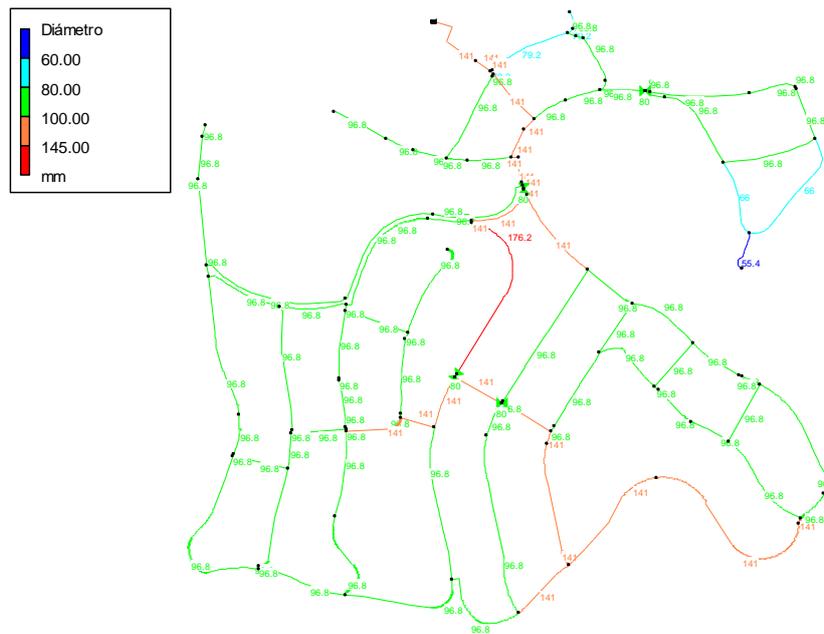


Figura 22: Dimensionamiento de la red de distribución de agua potable por gravedad en conjunto.

#### 6.4 RED GENERAL.

Finalmente se deciden aumentar algunas tuberías que son consideradas como principales para tener cierta flexibilidad ante futuras ampliaciones y mejorar la distribución de presión, mientras que el resto de las tuberías secundarias mantienen su diámetro. De esta manera, en la Figura 23 y Tabla 18 se puede observar el dimensionamiento de la red general que se había obtenido inicialmente empleando la metodología explicada. Mientras que en la Figura 24 y Tabla 19 se muestra el dimensionamiento final de la red.

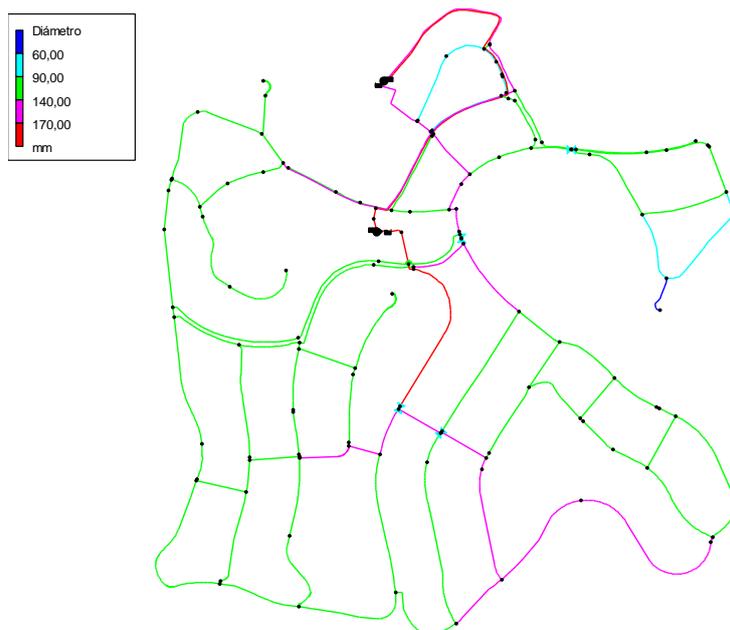


Figura 23: Dimensionamiento de la red de distribución de agua potable de la urbanización Los Monasterios.

## DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

Tabla 18: Características de las tuberías del dimensionamiento inicial de la red de distribución de agua potable.

Dint (mm)	55,4	66	79,2	96,8	141	176,2	220,4
CANTIDAD	1	2	10	99	30	10	0
L (m)	65,447	325,658	443,219	8.807,678	2.816,769	1.039,257	0

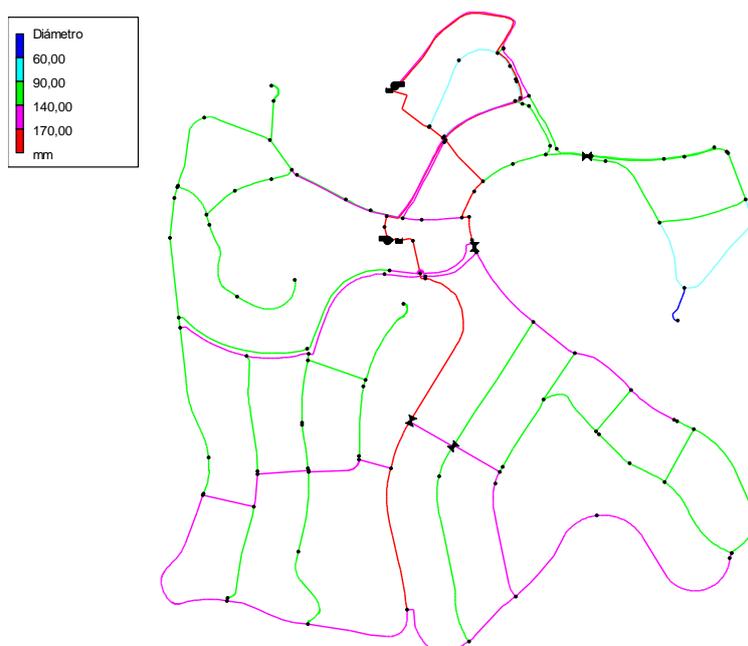


Figura 24: Dimensionamiento final de la red de distribución de agua potable de la urbanización Los Monasterios.

Tabla 19: Características de las tuberías del dimensionamiento final de la red de distribución de agua potable

Dint (mm)	55,4	66	79,2	96,8	141	176,2	220,4
CANTIDAD	1	2	10	78	37	13	11
L (m)	65,447	325,658	443,219	6.309,156	4.608,729	1.372,433	373,386

### 6.5 ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO GEMELO.

Para seleccionar la estación de bombeo es necesario conocer el caudal que circulará y la altura necesaria. Para ello, a partir de la Tabla 16, donde se encuentra el caudal y el diámetro de la tubería, se puede determinar la altura de bombeo que se necesita conociendo las cotas del depósito Gemelo ( $z$  inicial) y del depósito intermedio ( $z$  final). La altura de bombeo se obtiene mediante la ecuación de Bernouilli:

$$H_b = Z_{final} - Z_{inicial} + P_{final} - P_{inicial} + h_f \quad (9)$$

Donde:

- $H_b$ : Altura de bombeo [mca].
- $Z_{final}$ : Cota en el nudo final (195 m).
- $Z_{inicial}$ : Cota en el nudo inicial (145 m).
- $P_{final}$ : Presión en el nudo final [mca].
- $P_{inicial}$ : Presión en el nudo inicial [mca].
- $h_f$ : Pérdidas por fricción [mca]:

$$h_f = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad (10)$$

Donde:

- $L$ : Longitud del tramo [m].
- $Q$ : Caudal que circula por el tramo [ $m^3/s$ ].
- $g$ : Aceleración de la gravedad ( $9,81 m/s^2$ ).
- $\pi$ : Longitud del arco de una semicircunferencia de radio la unidad.
- $D$ : Diámetro interior de la tubería (m).

En la Tabla 20 se muestran los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones descritas anteriormente. Además, se indican los valores del factor de fricción y número de Reynolds obtenidos mediante las ecuaciones (7) y (8) respectivamente.

*Tabla 20: Cálculo de la altura de bombeo para la estación de bombeo del depósito Gemelo.*

Z inicial	Z final	P inicial	P final	L (m)	Q (l/s)	D teo (mm)
145	195	0	0	798,504	16,05	154
DN (mm)	D int (mm)	v (m/s)	Re	f	hf (m)	Hb (m)
200	176	0,66	105435	0,021	2,06	52,1

## DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

Con los resultados obtenidos se procede a seleccionar una bomba del catálogo de Bombas Ideal que permita trabajar con un caudal de 17 l/s y altura de bombeo de 53 m. Finalmente, se selecciona la bomba VSX 89/11F/4-21/E-15 del catálogo de Bombas Ideal [6] donde en la Figura 25 se pueden observar sus curvas de trabajo, rendimiento y potencia.

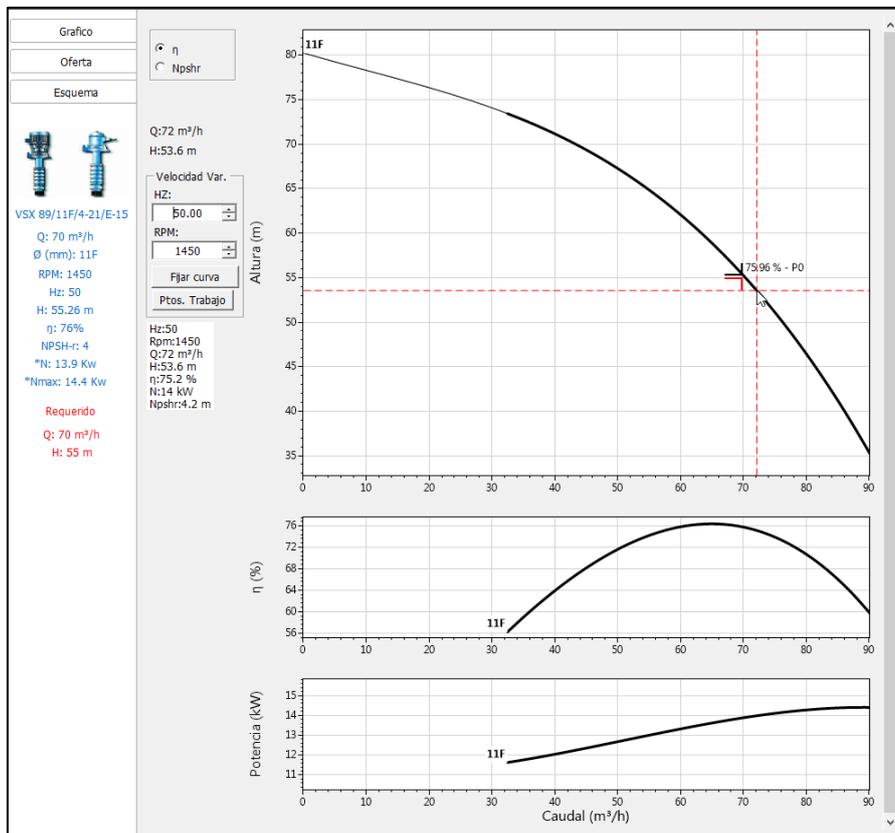


Figura 25: Curva de la bomba VSX 89/11F/4-21/E-15.

Una vez seleccionada la bomba, se introduce a Epanet mediante los tres puntos (mínimo, óptimo y máximo) que se ven reflejados en la Figura 26.

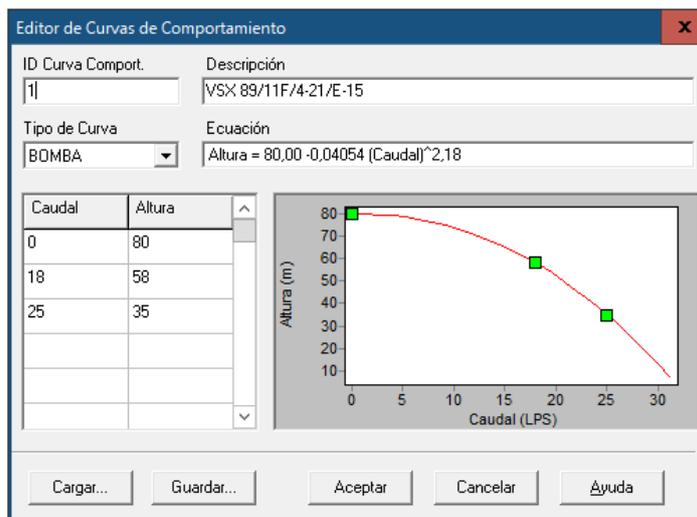


Figura 26: Curva de la bomba VSX 89/11F/4-21/E-15 mediante tres puntos en Epanet.

De esta manera, con la bomba que ha sido seleccionada y simulando el modelo en Epanet se obtiene que la bomba está aportando un caudal de 19,75 l/s a una altura de bombeo de 53,06 m. Con esta información, se actualizan los cálculos con los que se obtuvieron los resultados de la Tabla 20 para verificar que el diámetro es el correcto. Los nuevos resultados se indican en la Tabla 21, donde se puede confirmar que la tubería de impulsión presentará un diámetro DN 200 mm.

*Tabla 21: Características actualizadas de la tubería de impulsión.*

Z inicial	Z final	P inicial	P final	L (m)	Q (l/s)	D teo (mm)
145	195	0	0	798,504	19,75	167
DN (mm)	D int (mm)	v (m/s)	Re	f	hf (m)	Hb (m)
200	176	0,81	129741	0,020	3,04	53,0

Para acabar, mediante la siguiente ecuación se determina la potencia que consume la bomba indicada en la Tabla 22.

$$P = \frac{\gamma \cdot Q_b \cdot H_b}{\eta \cdot 1000 \cdot 3600} \quad (11)$$

Donde:

- P: Potencia consumida [kW].
- $\gamma$ : Peso específico del agua (9810 N/m<sup>3</sup>).
- $Q_b$ : Caudal bombeado (71,1 m<sup>3</sup>/h).
- $H_b$ : Altura de bombeo (53,06 m).
- $\eta$ : Rendimiento (0,76).

*Tabla 22: Resultados de la estación de bombeo junto al depósito Gemelo.*

Qb (m3/h)	Qb (l/s)	Hb (m)	$\eta$	P [kW]
71,1	19,75	53,06	0,76	13,5

Por último, conociendo el punto de funcionamiento de la bomba, en la Figura 27 se mostrará el perfil longitudinal de la tubería de impulsión junto a la piezométrica.

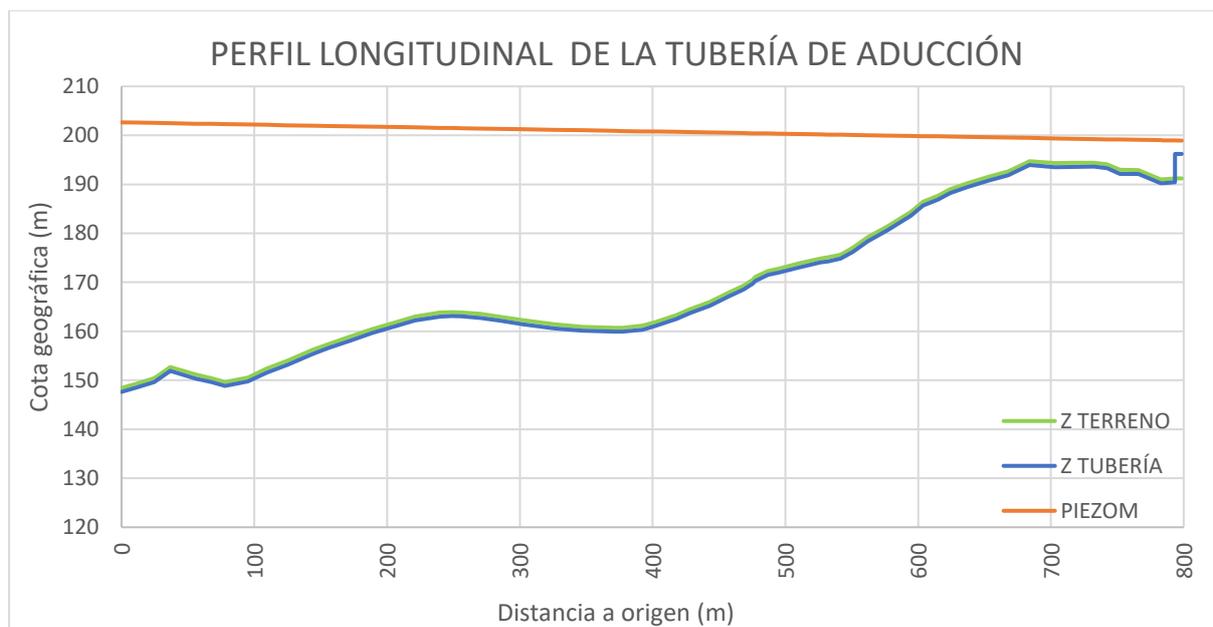


Figura 27: Perfil longitudinal de la tubería de impulsión.

### 6.6 ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO INTERMEDIO.

Para la selección del grupo de bombeo que suministrará de agua potable a los sectores Zona Alta F3, Zona Alta F4 y Sagunto Alto se realizan los pasos que se mostrarán a continuación.

- En primer lugar, se determina el rango de caudales que tiene que suministrar la estación de bombeo. En cuanto al consumo mínimo se considerará el 20% del consumo medio. Estos caudales se observan en la Tabla 23.

Tabla 23: Caudales suministrados en la red de distribución de agua potable por bombeo.

SECTORES	Qp [l/s]	Qp TOTAL [l/s]	Qp TOTAL [m³/h]	Qm [l/s]	Qm TOTAL [l/s]	Qm TOTAL [m³/h]	Qmin [m³/h]
ZONA ALTA F3	1,23	4,79	17,26	0,18	0,87	3,13	0,63
ZONA ALTA F4	0,71			0,08			
SAGUNTO ALTO	2,85			0,61			

Hay que destacar que para la selección de la bomba se emplearán los datos de los caudales punta ya que la estación de bombeo tiene que estar preparada para trabajar en buenas condiciones cuando se alcanza la situación más desfavorable.

- En segundo lugar, a partir de la simulación en Epanet con los caudales punta en los nudos de consumo de la red por bombeo, se localiza el nudo con la presión mínima y se realiza un cálculo para determinar la altura de bombeo que se necesitaría para obtener en dicho nudo una presión mínima de 25 mca.

## DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

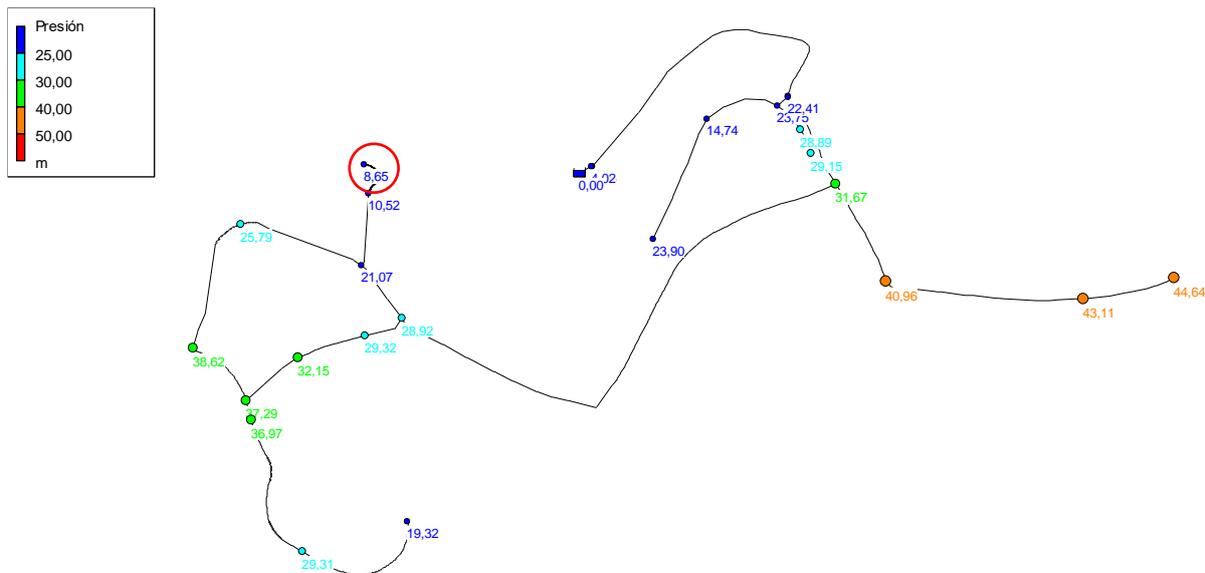


Figura 28: Simulación inicial de la red de distribución de agua potable por bombeo.

Como se puede observar en la Figura 28, el nudo con la presión más baja presenta un valor de 8,65. Por lo tanto, a través de la siguiente ecuación se obtiene la altura de bombeo necesaria:

$$H_b = P_{req} - P_{min} = 25 - 8,65 = 16,35 \approx 17 \text{ mca}$$

- Una vez determinados el caudal punta y la altura de bombeo, se selecciona el grupo de bombeo Hydro MPC-E 3 CRE5-4 del catálogo de Bombas Grundfos [7] donde en la Figura 29 se pueden observar sus curvas de trabajo, rendimiento y potencia.

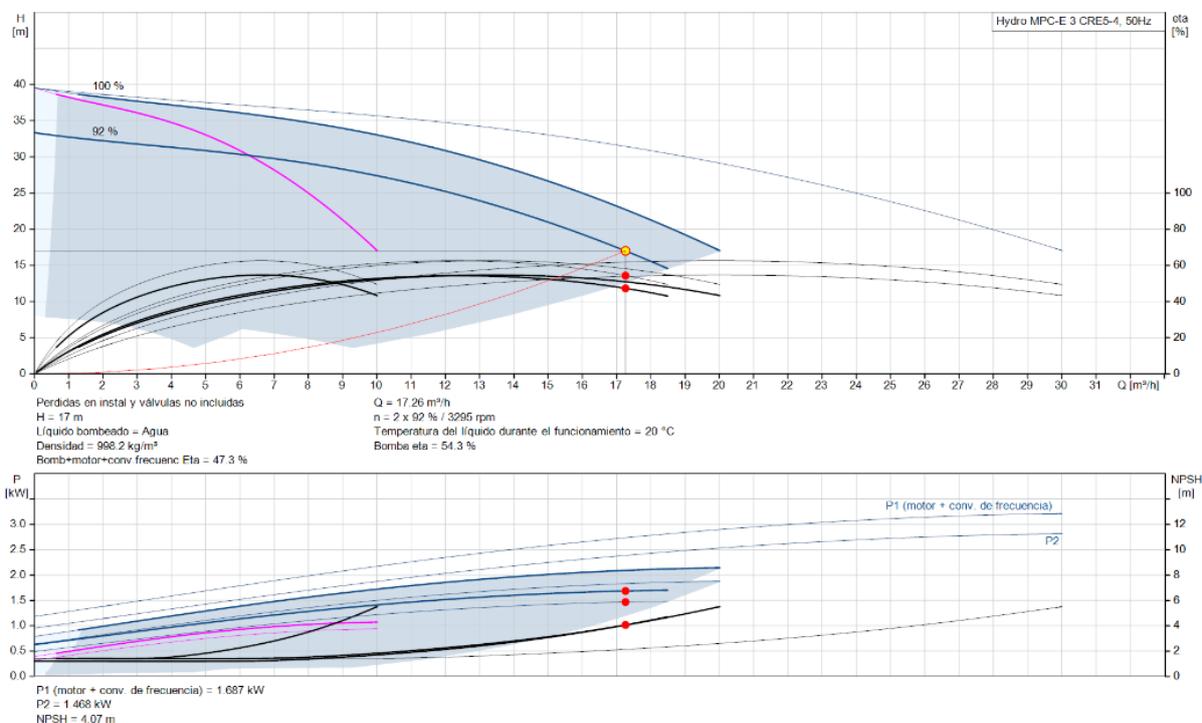


Figura 29: Curvas de la bomba Hydro MPC-E 3 CRE5-4.

- Por último, se van a obtener las curvas del grupo de bombeo a distintas velocidades y la curva de funcionamiento de una bomba con sus curvas de isorrendimiento.

Para obtener las curvas de funcionamiento de las bombas a distintas velocidades se comenzará obteniendo la ecuación de la curva de funcionamiento de la bomba. Para ello, se introducirá en Epanet la curva de la bomba mediante los tres puntos (punto de caudal mínimo, punto óptimo y punto de caudal máximo) que se observan en la Figura 30.

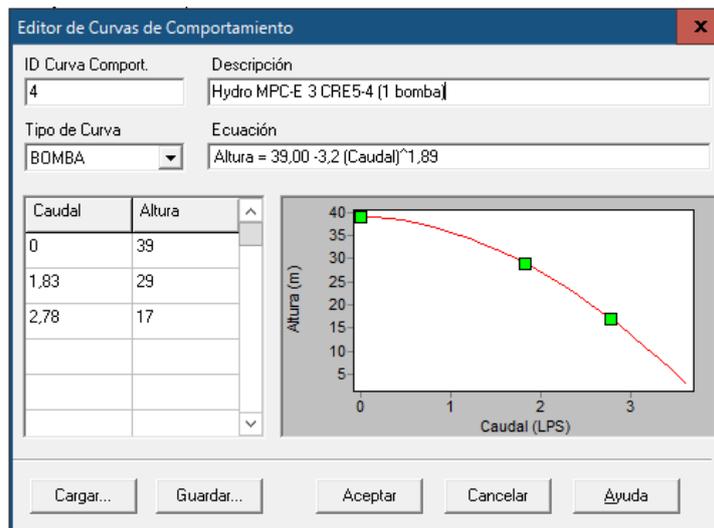


Figura 30: Curva de la bomba Hydro MPC-E 3 CRE5-4 mediante tres puntos en Epanet.

Una vez determinada la curva de funcionamiento de la bomba, se emplearán las siguientes ecuaciones de semejanza para obtener los valores de las curvas de la bomba a distintas velocidades.

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{N_0}{N} = \frac{Q_0}{Q} \quad \frac{H_0}{H} = \left(\frac{Q_0}{Q}\right)^2 \quad \frac{P_0}{P} = \left(\frac{Q_0}{Q}\right)^2 \quad (12)$$

Donde:

- $N_0$ : Velocidad de giro nominal de la bomba (50 Hz).
- $N$ : Nueva velocidad de giro de la bomba [Hz].
- $Q_0$ : Caudal nominal bombeado [ $m^3/h$ ].
- $Q$ : Nuevo caudal bombeado [ $m^3/h$ ].
- $H_0$ : Altura nominal de bombeo [m].
- $H$ : Nueva altura de bombeo [m].
- $P_0$ : Potencia nominal [kW].
- $P$ : Nueva potencia [kW].

En la Figura 31 se reflejan las curvas de funcionamiento de las dos bombas seleccionadas trabajando en paralelo a distintas velocidades donde se indica el caudal medio ( $Q_m$ ), el caudal punta ( $Q_p$ ) y la curva de consigna a la que trabajará la bomba.

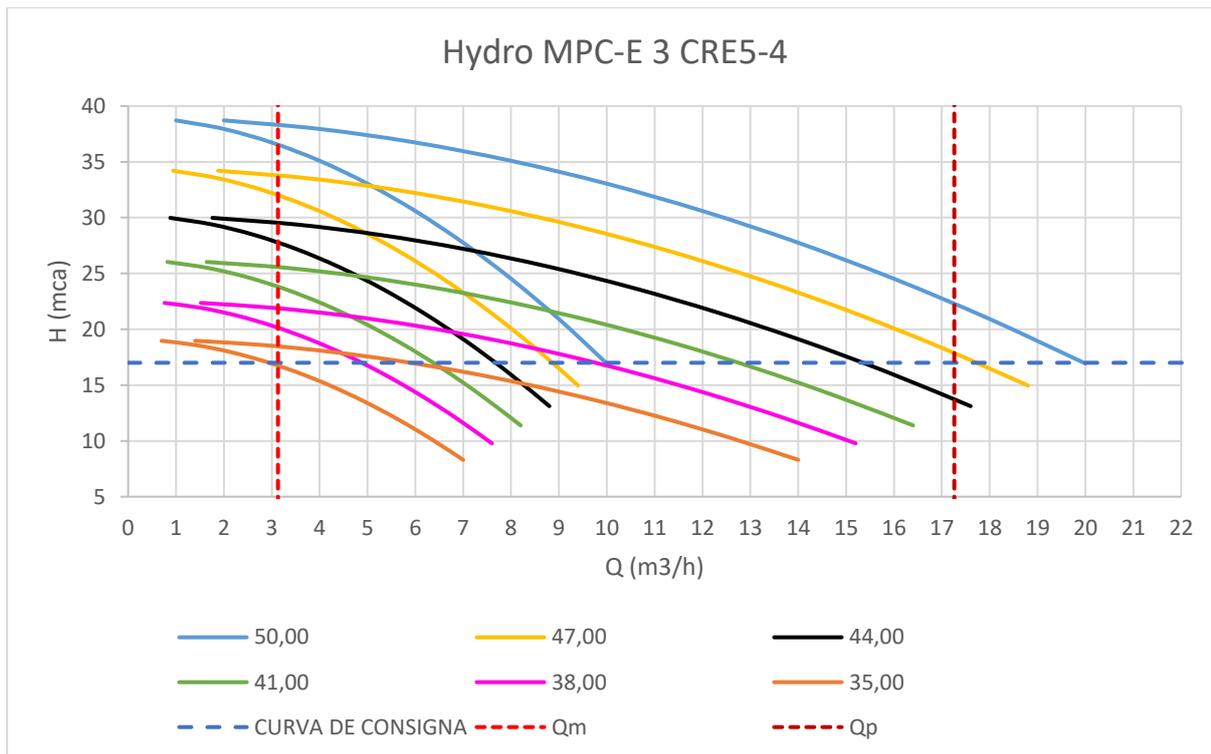


Figura 31: Curvas de funcionamiento de la bomba Hydro MPC-E 3 CRE5-4 en paralelo a distintas velocidades.

En cuanto a la curva de rendimiento de la bomba, esta se obtiene a través de 10 puntos a partir del punto óptimo. De esta manera se obtiene la Tabla 24 y la Figura 32. Hay que destacar que en esta curva de rendimiento se ha tenido en cuenta la bomba, el motor y el variador de frecuencia ya que el catálogo nos facilita esa información.

Tabla 24: Curva de rendimiento de la bomba Hydro MPC-E 3 CRE5-4.

Curva rend. (10 puntos)	Q (l/s)	Rendimiento (%)
0,0	0,00	0,00
0,2	0,37	19,69
0,4	0,73	35,01
0,6	1,10	45,95
0,8	1,46	52,51
1,0	1,83	54,70
1,2	2,20	52,51
1,4	2,56	45,95
1,6	2,93	35,01
1,8	3,29	19,69
2,0	3,66	0,00

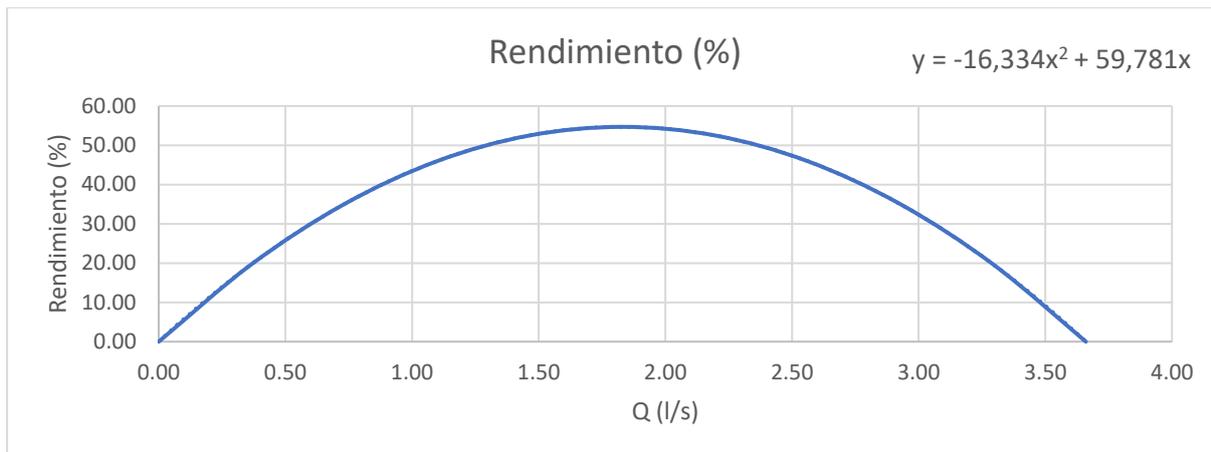


Figura 32: Curva de rendimiento de la bomba Hydro MPC-E 3 CRE5-4.

Por otro lado, para obtener las curvas de isorrendimiento, se comenzará partiendo de un valor de rendimiento y se extraerán sus valores de caudal y altura en función de la velocidad de giro. Para ello se emplearán las siguientes fórmulas:

$$H = H_1 \alpha^2 - \alpha^{(2-B)} A \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^B$$

$$\eta = E \cdot \frac{Q}{\alpha \cdot n} - F \cdot \left(\frac{Q}{\alpha \cdot n}\right)^2 \quad (13)$$

$$\alpha = \frac{N}{N_0}$$

Donde:

- $H_1$ : Coeficiente de la bomba (39).
- $A$ : Coeficiente de la bomba (3,2).
- $n$ : Número de bombas.
- $B$ : Exponente de la curva de la bomba en EPANET (1,89).
- $E$ : Coeficiente de la curva de rendimiento (59,781).
- $F$ : Coeficiente de la curva de rendimiento (16,334).

En la Figura 33 se muestran las curvas de funcionamiento de la bomba seleccionada a distintas velocidades junto a las curvas de isorrendimiento. Además, también se puede observar el caudal medio ( $Q_m$ ), el caudal punta que aportará una bomba ( $Q_p/2$ ) y la curva de consigna a la que trabajará.

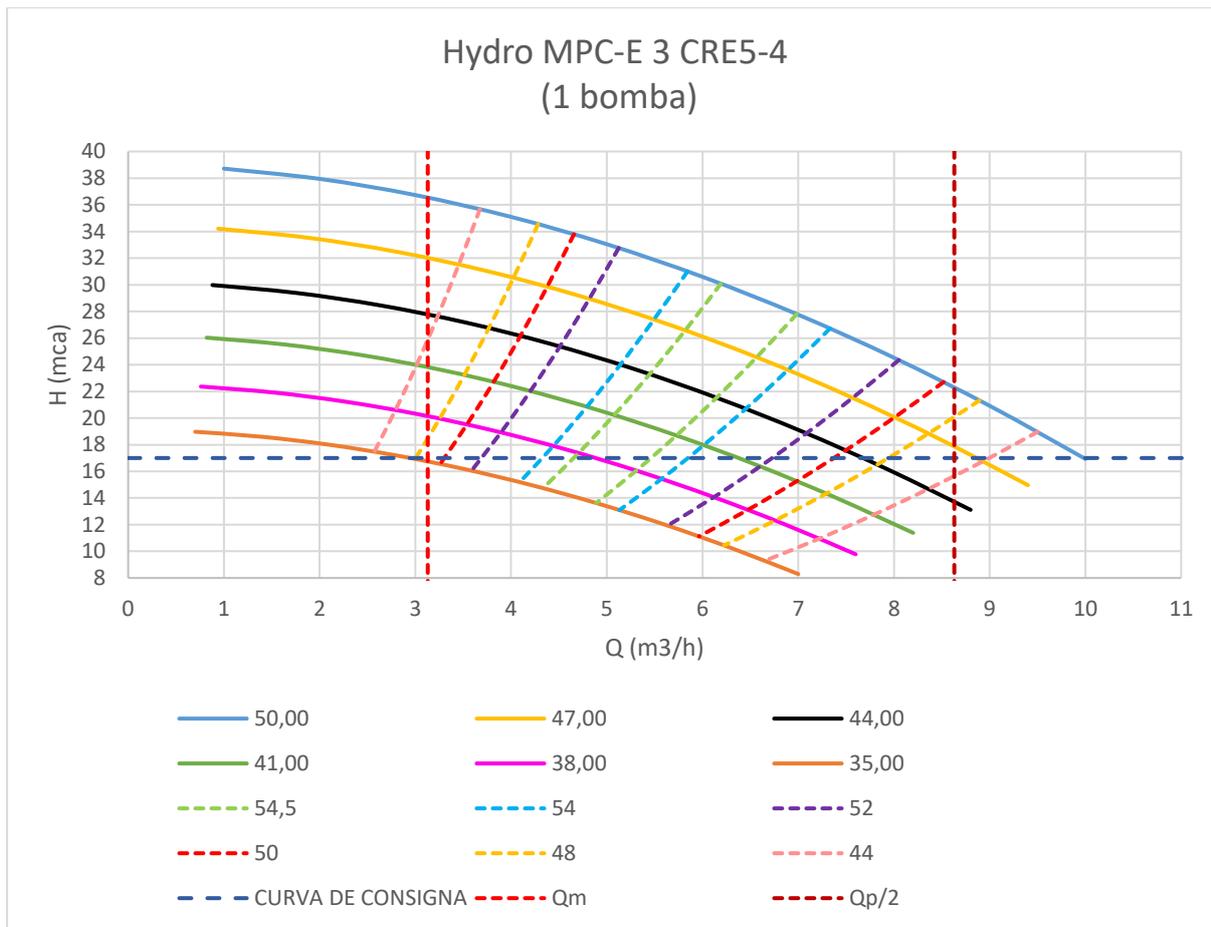


Figura 33: Curva de la bomba Hydro MPC-E 3 CRE5-4 a distintas velocidades junto a las curvas de isorrendimiento.

Para acabar, en la Tabla 25 se puede observar un resumen de las características de funcionamiento que se tendrían en distintos puntos de las curvas de funcionamiento a diferentes velocidades. Estos valores se han calculado mediante el empleo de la ecuación de la curva de funcionamiento indicada en la Figura 30, las ecuaciones de semejanza (12) y la curva de rendimiento reflejada en la Figura 32 para posteriormente poder obtener las curvas de funcionamiento de las gráficas 31 y 33.

Tabla 25: Características de funcionamiento de la bomba Hydro MPC-E 3 CRE5-4 en función de la velocidad de giro.

Hz	Q (m3/h)	H (m)	Rend. (%)	P (kW)	Hz	Q (m3/h)	H (m)	Rend. (%)	P (kW)
50	1,00	38,72	15,35	0,69	47	0,94	34,21	15,35	0,57
	2,00	37,95	28,17	0,73		1,88	33,53	28,17	0,61
	3,00	36,73	38,47	0,78		2,82	32,46	38,47	0,65
	4,00	35,09	46,26	0,83		3,76	31,01	46,26	0,69
	5,00	33,05	51,52	0,87		4,70	29,20	51,52	0,73
	6,00	30,60	54,26	0,92		5,64	27,04	54,26	0,77
	7,00	27,75	54,48	0,97		6,58	24,52	54,48	0,81
	8,00	24,53	52,18	1,02		7,52	21,67	52,18	0,85
	9,00	20,92	47,37	1,08		8,46	18,48	47,37	0,90
	10,00	16,93	40,02	1,15		9,40	14,96	40,02	0,96

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)**

Hz	Q (m3/h)	H (m)	Rend. (%)	P (kW)	Hz	Q (m3/h)	H (m)	Rend. (%)	P (kW)
44	0,88	29,98	15,35	0,47	41	0,82	26,03	15,35	0,38
	1,76	29,39	28,17	0,50		1,64	25,52	28,17	0,40
	2,64	28,45	38,47	0,53		2,46	24,70	38,47	0,43
	3,52	27,18	46,26	0,56		3,28	23,60	46,26	0,46
	4,40	25,59	51,52	0,60		4,10	22,22	51,52	0,48
	5,28	23,69	54,26	0,63		4,92	20,57	54,26	0,51
	6,16	21,49	54,48	0,66		5,74	18,66	54,48	0,54
	7,04	18,99	52,18	0,70		6,56	16,49	52,18	0,56
	7,92	16,20	47,37	0,74		7,38	14,06	47,37	0,60
	8,80	13,11	40,02	0,79		8,20	11,39	40,02	0,64

Hz	Q (m3/h)	H (m)	Rend. (%)	P (kW)	Hz	Q (m3/h)	H (m)	Rend. (%)	P (kW)
38	0,76	22,36	15,35	0,30	35	0,70	18,97	15,35	0,24
	1,52	21,92	28,17	0,32		1,40	18,59	28,17	0,25
	2,28	21,22	38,47	0,34		2,10	18,00	38,47	0,27
	3,04	20,27	46,26	0,36		2,80	17,20	46,26	0,28
	3,80	19,09	51,52	0,38		3,50	16,19	51,52	0,30
	4,56	17,67	54,26	0,40		4,20	14,99	54,26	0,32
	5,32	16,03	54,48	0,43		4,90	13,60	54,48	0,33
	6,08	14,17	52,18	0,45		5,60	12,02	52,18	0,35
	6,84	12,08	47,37	0,48		6,30	10,25	47,37	0,37
	7,60	9,78	40,02	0,51		7,00	8,30	40,02	0,40

Hay que destacar que los cálculos que se han obtenido a lo largo de este apartado son aproximaciones a lo que ocurre realmente en la práctica que permiten entender y configurar el funcionamiento de la estación de bombeo. Además, hay que tener en cuenta que las curvas de isorrendimiento se convierten en colinas donde el rendimiento va empeorando a medida que se reduce la velocidad de giro. Es por ello que no se recomienda reducir más del 70% su velocidad (35 Hz). El rendimiento que realmente se obtendría en función de la velocidad de giro se puede ver en la Tabla 26 y se obtiene mediante la ecuación de Coelho y Andrade-Campos [8]:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = 1 - \left(1 - \frac{N_2}{N_1}\right)^3 \quad (14)$$

Donde:

- $\eta_1$ : Rendimiento estimado a velocidad  $N_1$ .
- $\eta_2$ : Rendimiento real a la velocidad de giro nominal.
- $N_1$ : Nueva velocidad de giro.
- $N_2$ : Velocidad de giro nominal (50 Hz).

DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

Tabla 26: Rendimiento real en función de la velocidad de giro.

Rend	N	alfa	Q1	Q2	H1	H2	Rend. Real
54,5	50,00	1,00	6,98	6,19	27,80	30,08	54,50
	47,00	0,94	6,57	5,82	24,57	26,58	54,49
	44,00	0,88	6,15	5,45	21,53	23,30	54,36
	41,00	0,82	5,73	5,08	18,69	20,23	53,93
	38,00	0,76	5,31	4,71	16,06	17,38	52,84
	35,00	0,70	4,89	4,33	13,62	14,74	50,52
54	50,00	1,00	7,33	5,84	26,72	31,01	54,00
	47,00	0,94	6,89	5,49	23,61	27,40	53,99
	44,00	0,88	6,45	5,14	20,70	24,01	53,86
	41,00	0,82	6,01	4,79	17,97	20,85	53,43
	38,00	0,76	5,57	4,44	15,44	17,91	52,35
	35,00	0,70	5,13	4,09	13,10	15,19	50,06
53	50,00	1,00	8,05	5,12	24,35	32,76	52,00
	47,00	0,94	7,57	4,82	21,52	28,95	51,99
	44,00	0,88	7,08	4,51	18,86	25,37	51,87
	41,00	0,82	6,60	4,20	16,37	22,03	51,46
	38,00	0,76	6,12	3,89	14,07	18,92	50,41
	35,00	0,70	5,64	3,59	11,93	16,05	48,21
50	50,00	1,00	8,52	4,66	22,70	33,79	50,00
	47,00	0,94	8,01	4,38	20,06	29,86	49,99
	44,00	0,88	7,50	4,10	17,58	26,17	49,87
	41,00	0,82	6,99	3,82	15,26	22,72	49,48
	38,00	0,76	6,47	3,54	13,11	19,52	48,47
	35,00	0,70	5,96	3,26	11,12	16,56	46,35
47	50,00	1,00	8,89	4,28	21,32	34,56	48,00
	47,00	0,94	8,36	4,03	18,84	30,53	47,99
	44,00	0,88	7,83	3,77	16,51	26,76	47,88
	41,00	0,82	7,29	3,51	14,34	23,24	47,50
	38,00	0,76	6,76	3,25	12,32	19,96	46,53
	35,00	0,70	6,23	3,00	10,45	16,93	44,50
44	50,00	1,00	9,50	3,67	18,97	35,67	44,00
	47,00	0,94	8,93	3,45	16,76	31,52	43,99
	44,00	0,88	8,36	3,23	14,69	27,63	43,89
	41,00	0,82	7,79	3,01	12,75	23,99	43,54
	38,00	0,76	7,22	2,79	10,96	20,61	42,66
	35,00	0,70	6,65	2,57	9,29	17,48	40,79

Una vez realizados estos pasos se procede a realizar una simulación en Epanet de la red de bombeo para comprobar que se cumplen las presiones mínimas. Como se trata de un bombeo compuesto por dos bombas y a una velocidad distinta a la nominal, la curva de comportamiento que se introducirá en la bomba será la misma que se introdujo al principio, pero duplicando su caudal e introduciendo en la casilla de velocidad relativa su relación de velocidad de giro que será de 0,92 como se puede ver en la Figura 29. Introduciendo este valor podemos ver los valores que se han obtenido mediante la simulación en la Figura 34.

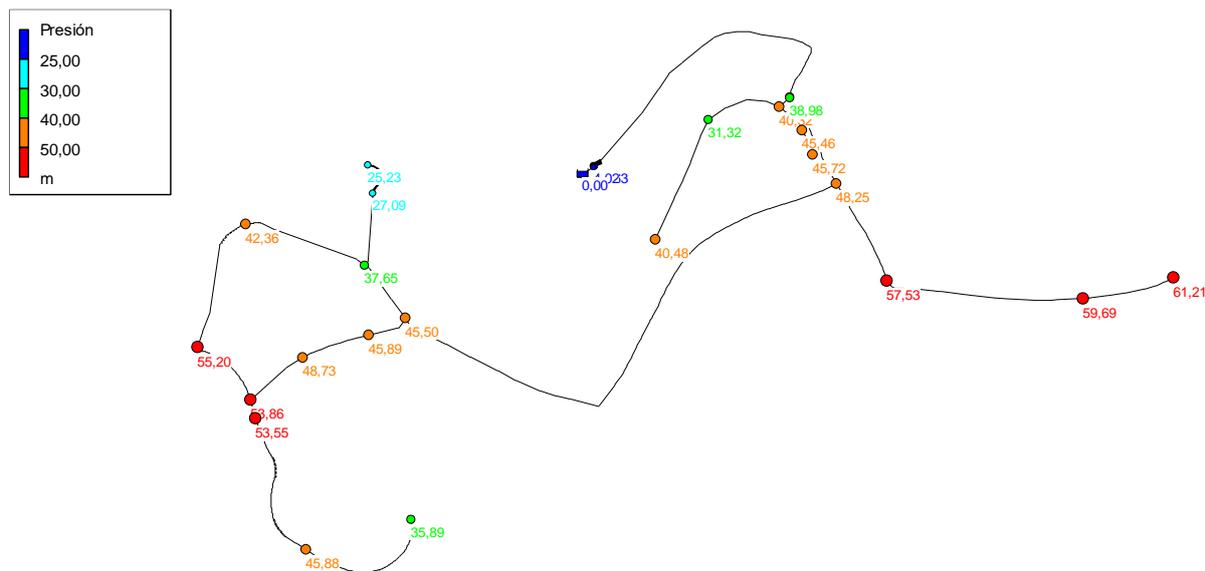


Figura 34: Simulación en Epanet de la red de distribución de agua potable por bombeo.

### 6.7 VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN.

En este apartado se analizará el funcionamiento de la red por gravedad que suministra agua potable a la urbanización Los Monasterios desde los depósitos Intermedio y Gemelo para observar las presiones que se obtienen y localizar los puntos donde se tendría que realizar una reducción de presión para intentar no superar la presión de 50 mca. Además, se estudiará el funcionamiento de la red cuando el depósito Gemelo se encuentre en mantenimiento para saber si es necesario colocar válvulas en las tuberías que conectan la red por gravedad desde el depósito Intermedio y la red por gravedad del depósito Gemelo. Posterior a estos análisis se realizarán los dimensionamientos correspondientes de las VRP que sean necesarias instalar a lo largo de la red. En primer lugar, se realiza una simulación inicial de la red por gravedad para observar las presiones que se llegan a alcanzar.

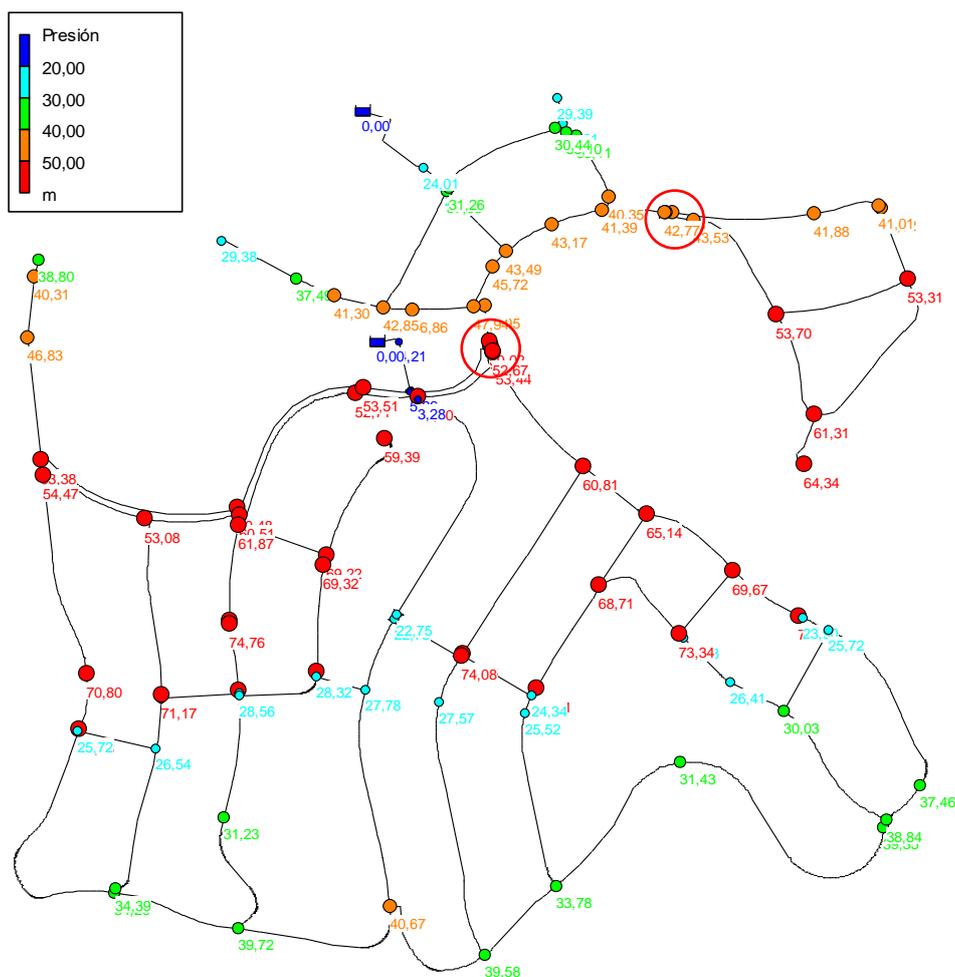


Figura 35: Simulación inicial en Epanet de la red de distribución de agua potable.

Como se puede observar en la Figura 35, a partir de las zonas señaladas comienza a haber un aumento de las presiones aguas abajo debido a la diferencia de cotas. En cuanto a la zona señalada que se encuentra en el centro, se decide que la VRP se colocará justo después de la primera bifurcación, la cual corresponde a Baja Sagunto, ya que en esa rama se excede mínimamente la presión máxima. Por otro lado, la marca que se encuentra en la zona superior derecha, la VRP se colocará en la entrada del sector Resto F4. Por lo tanto, en la Figura 36 se puede ver una ampliación de la zona señalada que se encuentra en el centro, donde se muestra la ubicación de la VRP que reducirá la presión a las ramas que abastecen a la Zona Alta Puzol.

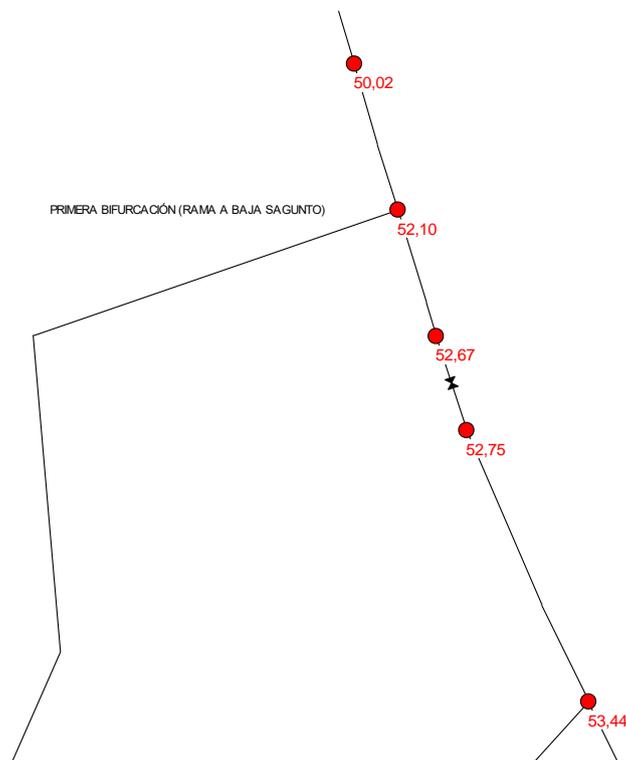


Figura 36: Ubicación de la válvula reductora de presión para la Zona Alta Puzol.

Una vez ubicada esta VRP, la cual recibirá como nombre VRP General, se localizan los nudos con consumo que presenten la presión más baja y más alta de la red y se calcula la presión de consigna de la válvula y las presiones que se obtendrían en dichos nudos. A continuación, se muestra cómo se obtiene la presión de consigna y las presiones finales que se tienen en dichos nudos:

$$P_{consigna} = P_{mínima} - (P_{nudo crítico} - P_{salida válvula}) \quad (15)$$

Donde:

- $P_{consigna}$ : Presión de consigna de la VRP [mca].
- $P_{salida válvula}$ : Presión a la salida de la válvula [mca].
- $P_{nudo crítico}$ : Presión del nudo con la presión más baja [mca].
- $P_{mínima}$ : Presión mínima en el nudo de consumo (25 mca).

Tabla 27: Presiones en los nudos críticos al emplear la válvula reductora de presión que afecta a la Zona Alta Puzol (VRP General).

NUDOS	PRESIÓN INICIAL (mca)	PRESIÓN FINAL (mca)
SALIDA VÁLVULA	52,77	25,04
NUDO P MAX	77,37	49,65
NUDO P MIN	52,73	25

Como se puede observar en la Tabla 27, en la columna de presión inicial se muestran los valores que se tienen sin la instalación de la VRP mientras que en la columna de presión final se tienen los valores al instalar una VRP con una presión de consigna de 25,04 mca. Como se puede ver, se cumple la presión mínima de 25 mca y además en el nudo de presión más elevada no se superan 50 mca.

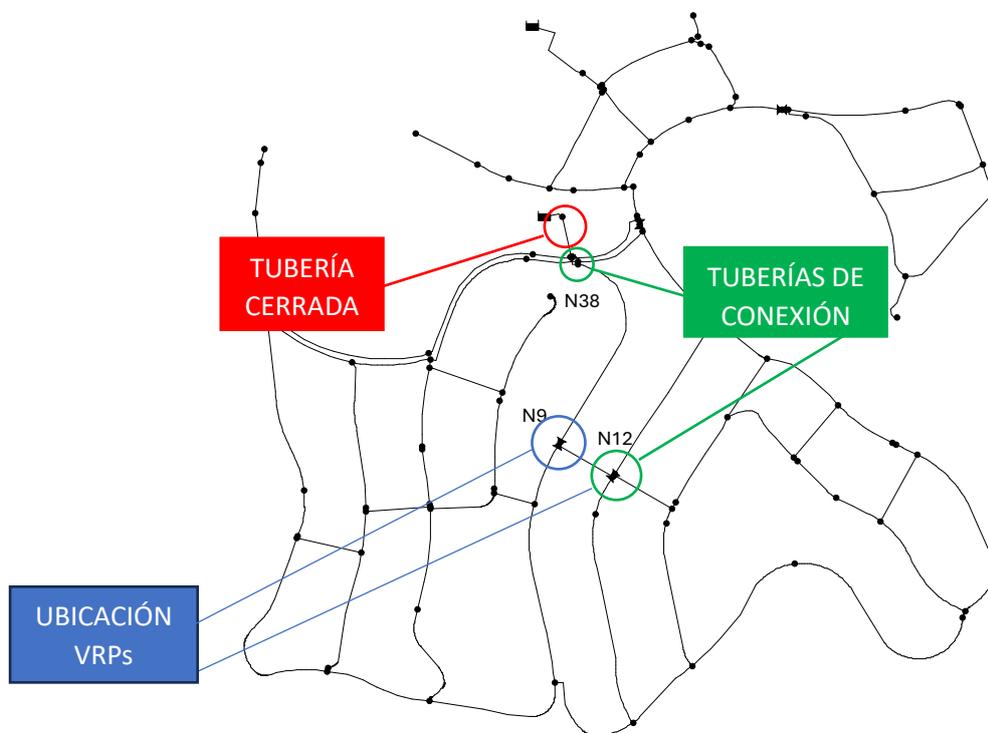
## DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

En cuanto a la VRP que afecta a la zona Resto F4 suministrada por gravedad, en la tabla 28 se tiene por un lado la columna de presión inicial donde no la VRP no se encuentra instalada y la columna de presión final en la que se muestra que con una presión de consigna de 26,78 mca en la VRP se cumple con la presión mínima sin superar la presión máxima.

*Tabla 28: Presiones en los nudos críticos al emplear la válvula reductora de presión que afecta a la zona F4 (VRP Resto F4).*

NUDOS	PRESIÓN INICIAL (mca)	PRESIÓN FINAL (mca)
SALIDA VÁLVULA	42,78	26,78
NUDO P MAX	64,34	48,33
NUDO P MIN	41	25

Para el caso en el que se encuentre en mantenimiento el depósito Gemelo, se permitirá la conexión entre las dos redes por gravedad para que el depósito Intermedio pueda abastecer de agua potable a la Zona Baja Puzol. En la Figura 37 se puede ver donde se encuentran las tuberías de conexión y sus correspondientes VRP. Por un lado, se tendrá una conexión entre la tubería que abastece de agua potable al sector Sagunto Bajo de la parte izquierda y la tubería principal de salida del depósito Gemelo (N38). Por otro lado, la otra tubería de conexión se encuentra en un punto centrado entre los sectores Puzol Alto y Puzol Bajo (N12). En cuanto a las ubicaciones de las VRP, para la primera tubería de conexión, la VRP se situará un poco más aguas abajo (N9) debido a que si se situaba en la tubería de conexión la VRP podía cavitarse debido a la baja presión que se tenía aguas arriba y la consigna que se necesitaba. Para la otra VRP se encuentra en la misma ubicación que su propia tubería de conexión (N12).



*Figura 37: Ubicación de la tubería que se encontraría cerrada, de las tuberías de conexión y de las válvulas reductoras de presión cuando el depósito Gemelo se encuentre en mantenimiento.*

Esta solución se debe a que se ha comprobado que a través de una tubería de conexión y con una VRP se puede abastecer cumpliendo con las presiones en los nudos de consumo del sector Puzol Bajo. Además, se tiene la otra tubería de conexión junto a su VRP en caso de que la otra se encuentre en mantenimiento o que la tubería de conexión no se encuentre disponible por algún fallo. De esta manera, al tener sólo dos VRP se obtiene un ahorro además de tener en cuenta un posible fallo de una de las dos. Por último, destacar que las probabilidades de que el depósito gemelo junto a las dos tuberías de conexión y sus VRP no se encuentren disponibles son prácticamente nulas y no se contempla ese escenario.

Para determinar las presiones de consigna de estas válvulas se realizan dos simulaciones en Epanet a caudal punta y teniendo en funcionamiento la VRP General ya que esta afectará también a las presiones en los nudos del sector Puzol Bajo. Por un lado, se tendrá la tubería de salida del depósito Gemelo cerrada y sólo se abrirá la tubería de conexión N38 para observar qué presión hay en la válvula N9. Por otro lado, se realizará lo mismo pero esta vez será la tubería de conexión N12 la que se encontrará abierta para obtener la presión en la válvula N12. Además, se observa cual es el nudo de consumo crítico, el cual presenta la presión más baja, del sector Puzol Bajo que será el que determine la presión de consigna. En la Tabla 29 se muestran los datos que se han obtenido y en la Tabla 30 se tienen las presiones de consigna que hay que tener en las VRP para tener en los nudos de consumo críticos la presión de 25 mca.

Tabla 29: Datos obtenidos de las simulaciones del depósito Gemelo en mantenimiento.

VRP	P (mca)	P NUDO CRITICO (mca)
N9	44,22	42,81
N12	40,41	37,60

Tabla 30: Presiones de consigna de las válvulas reductoras de presión N9 y N12.

VRP	P AGUAS ARRIBA (mca)	P CONSIGNA (mca)
N9	44,22	26,41
N12	40,41	27,81

Una vez ubicadas las VRP y determinadas las presiones de consigna se proceden a realizar sus dimensionamientos. Estas consistirán en válvulas de asiento V-port en el cual, en función de la presión aguas arriba de la VRP, el asiento cerrará más o menos provocando unas pérdidas localizadas que reducirán la presión. Como restricciones en su dimensionamiento se tendrá como grado de apertura mínimo un valor del 1% y como velocidad máxima de 5 m/s. Para su dimensionamiento se eligen las válvulas para abastecimiento de agua potable de asiento V-port del fabricante BERMAD WATERWORKS con la serie 700, por lo que todo el proceso se realizará mediante los datos y las gráficas correspondientes a su documentación técnica [9]. A continuación, se mostrarán los pasos que se han seguido:

- A partir de las presiones aguas arriba y aguas abajo de la válvula y del caudal que pasa por ella se calcula el coeficiente de pérdidas a través de la siguiente ecuación.

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}} \quad (16)$$

Donde:

- $k_v$ : Coeficientes de pérdidas [(m<sup>3</sup>/h) / (bar)<sup>0,5</sup>].
- $\Delta P$ : Diferencia de presión que hay aguas arriba respecto aguas abajo [bar].
- $Q$ : Caudal [m<sup>3</sup>/h].
- Posterior a esto, de la Tabla 31 se selecciona el DN de la válvula cuyo coeficiente de pérdidas sea superior al obtenido anteriormente.

Tabla 31: Diámetros de las válvulas y sus coeficientes de pérdidas.

Tamaño	pulg.	1.5"	2"	2.5"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	16"
	mm	40	50	65	80	100	150	200	250	300	400
V-Port	Cv	53	55	84	118	162	523	886	1513	2241	3430
	Kv	46	48	73	102	140	453	767	1310	1940	2970
	K	1.9	4.3	5.3	6.2	8.0	3.9	4.3	3.6	3.4	4.6

- Una vez seleccionada la válvula se calcula la velocidad con la siguiente ecuación.

$$v = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2} \quad (17)$$

Donde:

- $v$ : Velocidad [m/s].
- $Q$ : Caudal [m<sup>3</sup>/s].
- $D$ : Diámetro de la válvula [m].
- Con la válvula seleccionada se obtendrá el grado de apertura a través de la Figura 38 donde Cv% corresponde a la división del Kv calculado con la ecuación (16) entre el Kv0 de la válvula seleccionada cuando está abierta.

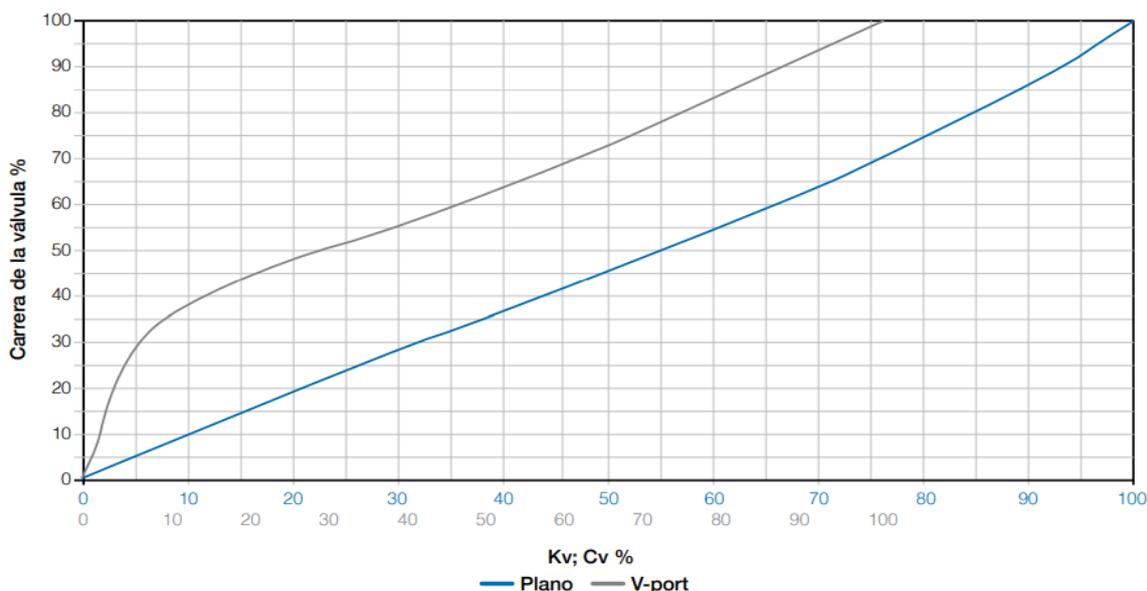


Figura 38: Diagrama de características de flujo de la válvula.

- Por último, mediante la Figura 39 se realiza la comprobación de que no se producirá cavitación, donde se comparan las presiones agua arriba y aguas abajo además de tener en cuenta la velocidad.

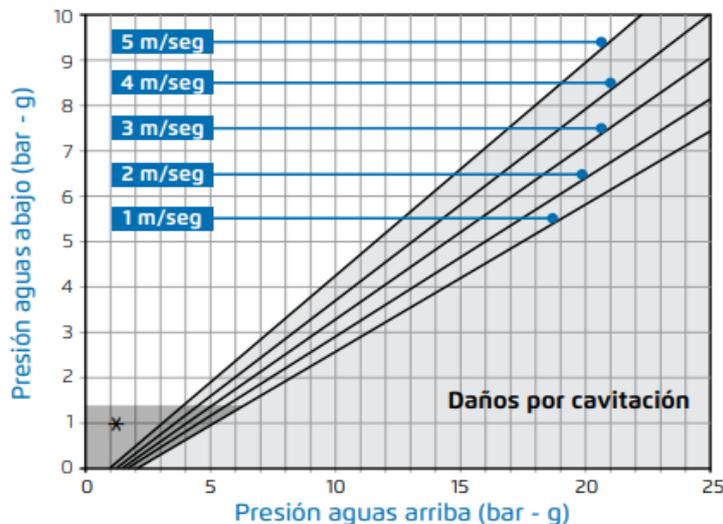


Figura 39: Comprobación por cavitación.

Para el dimensionamiento de las válvulas hay que tener en cuenta tanto el caudal punta como el caudal mínimo de los sectores que son abastecidos a partir de cada válvula. Para obtener el caudal mínimo que circulará por las válvulas primero se estima que vale un 20% del caudal medio para después calcular la relación entre el caudal mínimo total y el caudal punta total para así aplicarlo como factor de demanda en Epanet y poder realizar la simulación a caudal mínimo. Por lo tanto, los caudales a tener en cuenta están reflejados en la Tabla 32.

Tabla 32: Factor de demanda para obtener caudal mínimo.

SECTORES	Q medio total [l/s]	Q min [l/s]	Q punta total [l/s]
BAJA SAGUNTO	1,29	0,26	5,53
RESTO F3	0,29	0,06	1,66
RESTO F4	0,45	0,09	2,30
ZONA ALTA PUZOL (IZQUIERDA)	1,04	0,21	4,25
ZONA ALTA PUZOL (DERECHA)	0,75	0,15	3,52
ZONA BAJA PUZOL (IZQUIERDA)	0,87	0,17	3,71
ZONA BAJA PUZOL (DERECHA)	1,66	0,33	7,05
<b>TOTAL:</b>		<b>1,44</b>	<b>32,83</b>
<b>FACTOR DE DEMANDA = 1,44/32,83 = 0,0439</b>			

A continuación, en la Tabla 33 se mostrarán los datos y en la Tabla 34 el dimensionamiento de la VRP General que afectará principalmente a la Zona Alta Puzol y a la Zona Baja Puzol cuando el depósito Gemelo se encuentre en mantenimiento. En esta, se muestran los valores de la diferencia de presión, el coeficiente de pérdidas que hay que generar, la velocidad y el grado de apertura que se tiene para caudal punta y caudal mínimo.

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)**

*Tabla 33: Datos VRP General.*

VRP	P ENTRADA (mca)		P SALIDA (mca)	CAUDAL (l/s)	
	PUNTA	MÍNIMO		PUNTA	MÍNIMO
GENERAL	52,77	52,98	25,04	7,78	0,34

*Tabla 34: Dimensionamiento VRP General.*

VRP GENERAL								
DATOS	Q [l/s]	Q [m <sup>3</sup> /h]	P <sub>entrada</sub> [m]	P <sub>salida</sub> [m]	P <sub>entrada</sub> [kP/cm <sup>2</sup> ]	P <sub>salida</sub> [kP/cm <sup>2</sup> ]	ΔP [kP/cm <sup>2</sup> ]	K <sub>v</sub>
Q punta	18,54	66,74	52,77	25,04	5,28	2,50	2,77	40,08
Q mínimo	0,36	1,30	52,98	25,04	5,30	2,50	2,79	0,78
DN							3"	
							80 mm	
Velocidad a Q punta (m/s)							3,69	
Velocidad a Q mínimo (m/s)							0,07	
Kv0							102	
Q punta	Kv/Kv0						39%	
	Grado apertura						55%	
Q mínimo	Kv/Kv0						0,8%	
	Grado apertura						5%	

Por otro lado, se tiene la VRP de la zona Resto F4 para reducir la presión de entrada a dicho sector. A continuación, en la Tabla 35 se tienen los datos iniciales y a partir de estos se obtiene la Tabla 36.

*Tabla 35: Datos VRP Resto F4.*

VRP	P ENTRADA (mca)		P SALIDA (mca)	CAUDAL (l/s)	
	PUNTA	MÍNIMO		PUNTA	MÍNIMO
Resto F4	42,78	43,18	26,78	2,30	0,10

*Tabla 36: Dimensionamiento VRP Resto F4.*

VRP Resto F4								
DATOS	Q [l/s]	Q [m <sup>3</sup> /h]	P <sub>entrada</sub> [m]	P <sub>salida</sub> [m]	P <sub>entrada</sub> [kP/cm <sup>2</sup> ]	P <sub>salida</sub> [kP/cm <sup>2</sup> ]	ΔP [kP/cm <sup>2</sup> ]	K <sub>v</sub>
Q punta	2,30	8,28	42,78	26,78	4,28	2,68	1,60	6,55
Q mínimo	0,10	0,36	43,18	26,78	4,32	2,68	1,64	0,28
DN							2"	
							50 mm	
Velocidad a Q punta (m/s)							1,17	
Velocidad a Q mínimo (m/s)							0,05	
Kv0							48	
Q punta	Kv/Kv0						14%	
	Grado apertura						40%	
Q mínimo	Kv/Kv0						0,6%	
	Grado apertura						2%	

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)**

En cuanto a las VRP que afectará al sector Zona Baja Puzol, de las cuales se pondrá una en funcionamiento y la otra estará de reserva, cuando el depósito Gemelo se encuentre en mantenimiento se tienen los datos en la Tabla 37 y su dimensionamiento en las Tablas 38 y 39.

*Tabla 37: Datos VRP N9 y VRP N12.*

VRP	P ENTRADA (mca)		P SALIDA (mca)	CAUDAL (l/s)	
<b>N9</b>	PUNTA	MÍNIMO	26,41	PUNTA	MÍNIMO
	44,22	45,08		10,77	0,47
<b>N12</b>	PUNTA	MÍNIMO	27,81	PUNTA	MÍNIMO
	40,41	46,42		10,77	0,47

*Tabla 38: Dimensionamiento VRP N9.*

VRP N9								
DATOS	Q [l/s]	Q [m <sup>3</sup> /h]	P <sub>entrada</sub> [m]	P <sub>salida</sub> [m]	P <sub>entrada</sub> [kP/cm <sup>2</sup> ]	P <sub>salida</sub> [kP/cm <sup>2</sup> ]	ΔP [kP/cm <sup>2</sup> ]	K <sub>v</sub>
<b>Q punta</b>	10,77	38,77	44,22	26,37	4,42	2,64	1,79	29,02
<b>Q mínimo</b>	0,47	1,69	45,08	26,37	4,51	2,64	1,87	1,24
<b>DN</b>							3"	
							80 mm	
<b>Velocidad a Q punta (m/s)</b>							2,14	
<b>Velocidad a Q mínimo (m/s)</b>							0,09	
<b>Kv0</b>							102	
<b>Q max</b>	<b>Kv/Kv0</b>						28%	
	<b>Grado apertura</b>						50%	
<b>Q mínimo</b>	<b>Kv/Kv0</b>						1,2%	
	<b>Grado apertura</b>						6%	

*Tabla 39: Dimensionamiento VRP N12.*

VRP N12								
DATOS	Q [l/s]	Q [m <sup>3</sup> /h]	P <sub>entrada</sub> [m]	P <sub>salida</sub> [m]	P <sub>entrada</sub> [kP/cm <sup>2</sup> ]	P <sub>salida</sub> [kP/cm <sup>2</sup> ]	ΔP [kP/cm <sup>2</sup> ]	K <sub>v</sub>
<b>Q punta</b>	10,77	38,77	40,41	27,76	4,04	2,78	1,27	34,47
<b>Q mínimo</b>	0,47	1,69	46,42	27,76	4,64	2,78	1,87	1,24
<b>DN</b>							3"	
							80 mm	
<b>Velocidad a Q punta (m/s)</b>							2,14	
<b>Velocidad a Q mínimo (m/s)</b>							0,09	
<b>Kv0</b>							102	
<b>Q max</b>	<b>Kv/Kv0</b>						34%	
	<b>Grado apertura</b>						52%	
<b>Q mínimo</b>	<b>Kv/Kv0</b>						1,2%	
	<b>Grado apertura</b>						6%	

A continuación, se mostrarán las simulaciones en Epanet para cada escenario:

- Escenario 1: Este presenta las demandas punta y el depósito Gemelo en funcionamiento. Por lo que solo se están empleando la válvula general y la válvula que afecta a la zona F4.

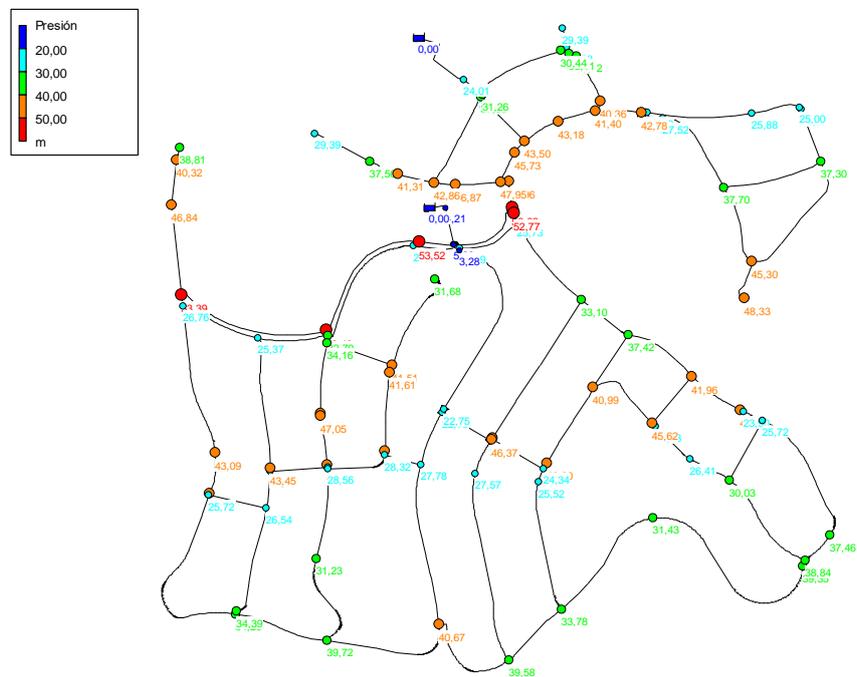


Figura 40: Simulación en Epanet del escenario 1.

- Escenario 2: Este presenta las demandas mínimas y el depósito Gemelo en funcionamiento. Por lo que solo se están empleando la válvula general y la válvula que afecta a la zona F4.

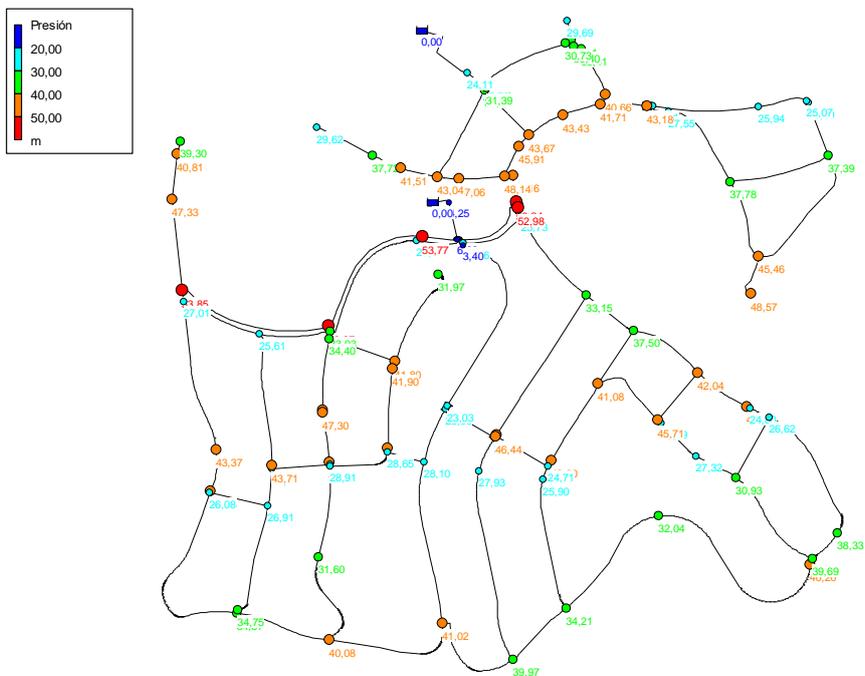


Figura 41: Simulación en Epanet del escenario 2.



## DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

- Escenario 5: Este presenta las demandas punta y el depósito Gemelo en mantenimiento. En este caso, se estarán empleando la válvula general, la que afecta a la zona F4 y la válvula N12.

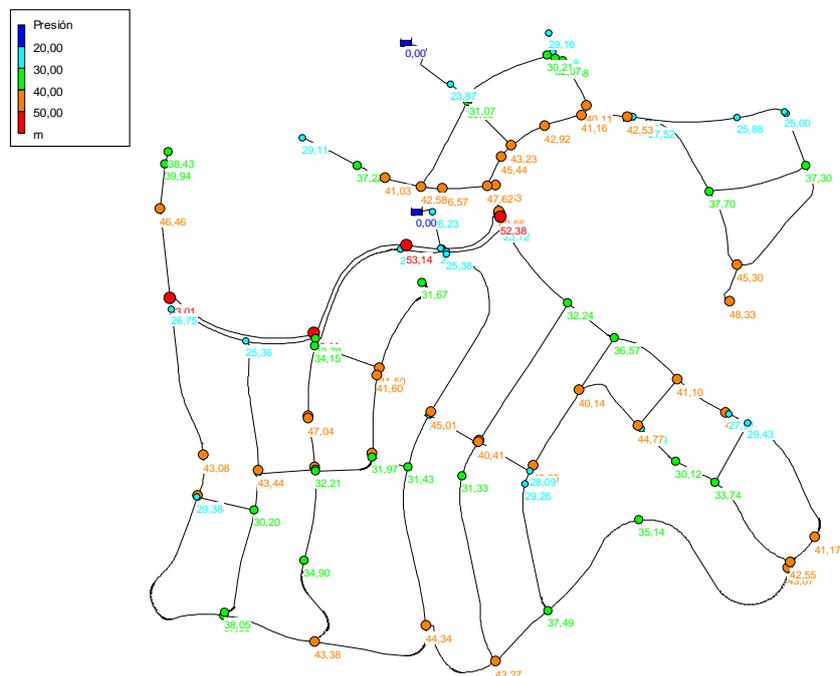


Figura 44: Simulación en Epanet del escenario 5.

- Escenario 6: Este presenta las demandas mínimas y el depósito Gemelo en mantenimiento. En este caso, se estarán empleando la válvula general, la que afecta a la zona F4 y la válvula N12.

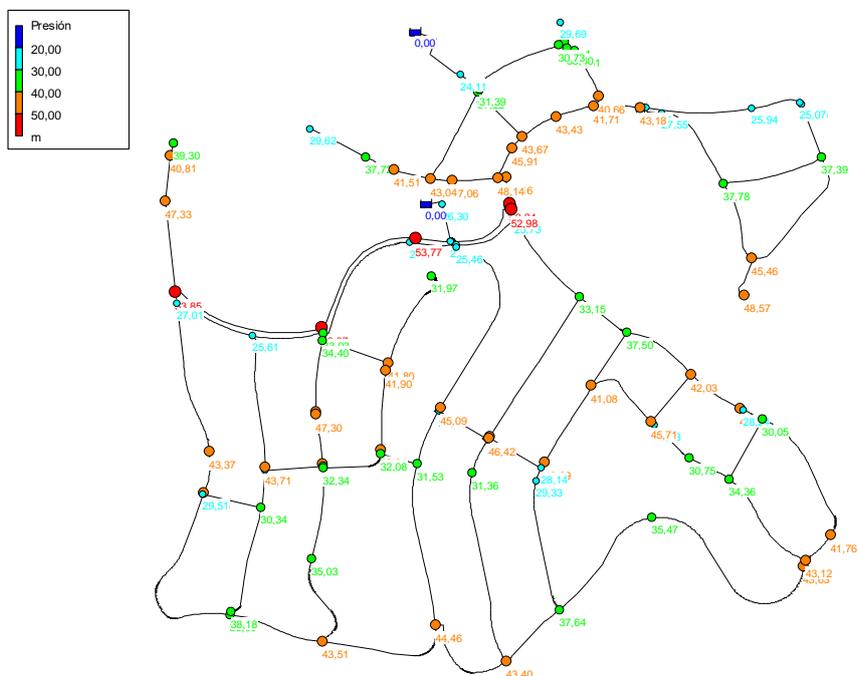


Figura 45: Simulación en Epanet del escenario 6.

Al realizar estas simulaciones se ha comprobado que las válvulas seleccionadas cumplen con las presiones mínimas en los nudos de consumo para los escenarios más extremos que son cuando se produce el caudal punta y el caudal mínimo además de cuando el depósito Gemelo se encuentra en mantenimiento.

## 7. REGULACIÓN DEL SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO.

### 7.1 INTRODUCCIÓN.

Para la regulación de la red de agua potable de la urbanización Los Monasterios se desarrolla un modelo matemático donde se introducen los diferentes elementos hidráulicos, curvas de comportamiento de las estaciones de bombeo, patrones de consumo y precio de la energía para disponer de una red de agua potable en régimen dinámico.

### 7.2 CURVAS DE MODULACIÓN.

Debido a que la urbanización Los Monasterios no pertenece todavía a Aguas de Valencia, no se tienen datos de cómo evolucionan temporalmente las demandas. Por lo tanto, se decide emplear como curva de modulación el sector de una urbanización con características similares. Este sector se denomina Micalet, perteneciente a la Urbanización de Paterna, y se encuentra ubicado al sur de Bétera, Valencia.

El patrón del caudal consumido en el sector Micalet se ha obtenido con la ayuda de un programa de registro del caudal suministrado obtenido de datos reales. A partir de los caudales que se consumen cada 15 minutos durante un periodo de tiempo de un año (desde el 1/03/2022 hasta el 28/02/2023) se obtiene la evolución de los caudales mínimos, máximos y medios a lo largo del año que se puede ver en la Figura 46.

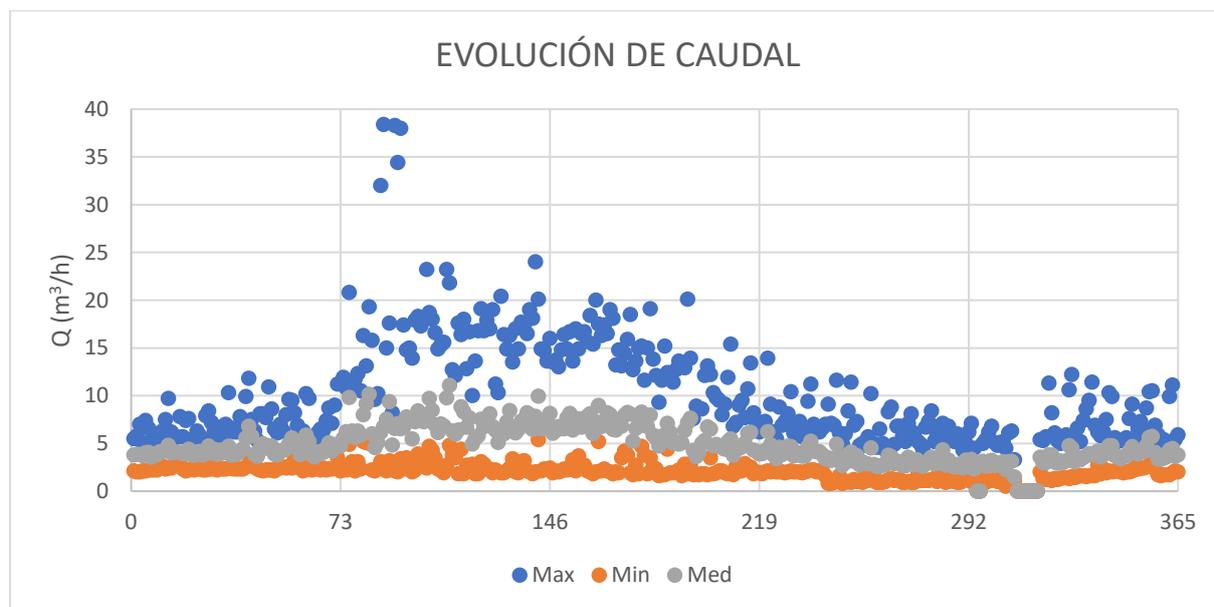


Figura 46: Evolución de caudal del sector Micalet en un año.

Como se puede observar en la Figura 46, hay puntos anómalos superiores a 25 que se produjeron a causa de fugas puntuales, por lo que esos puntos no se tendrán en cuenta más adelante. Por otro lado, a partir del caudal medio de cada día se puede obtener el coeficiente de modulación de cada día cada 15 minutos, para posteriormente obtener patrones diarios basados en percentiles. De esta manera, se podrán realizar simulaciones basados en la probabilidad que hay de que ocurran, donde, por ejemplo, para el percentil 0,95 indica que el 95% de los casos ocurrirán escenarios con valores inferiores a este. Una vez realizado este proceso, se obtienen los patrones mostrados en la Figura 47.

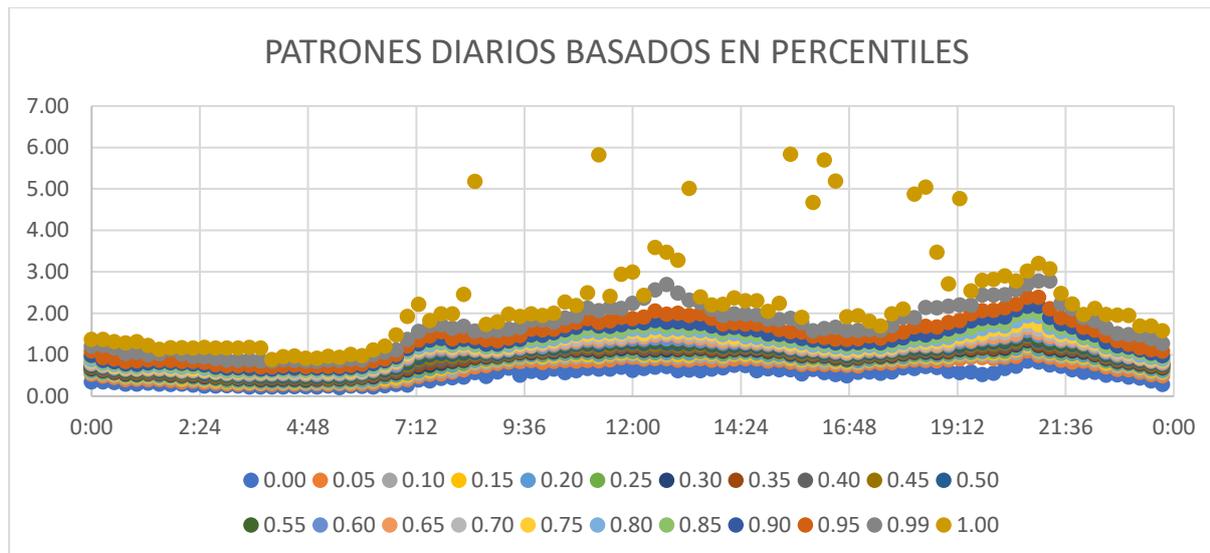


Figura 47: Patrones diarios basados en percentiles.

Como se puede ver en la Figura 47, todas las curvas de evolución se asemejan entre ellas excepto la del percentil 1,00. Esto se debe a que se están teniendo en cuenta las fugas como se ha explicado anteriormente, ya que este percentil recoge todos los datos y significa que el 100% de los escenarios serán inferiores a este, por lo que se decide descartarlo ya que presenta una probabilidad prácticamente nula de que se produzca.

### 7.3 TARIFA ELÉCTRICA.

En este apartado se va a realizar un estudio del coste y consumo energético que se va a tener en la estación de bombeo del depósito Gemelo para suministrar agua potable al depósito Intermedio y de la estación de bombeo del depósito Intermedio para abastecer a sus usuarios correspondientes.

En primer lugar, se tiene la factura eléctrica que se tiene contratada para suministrar agua de la EMSHI a la urbanización Alfinach, la cual se encuentra en la zona sur de la urbanización Los Monasterios. Esta se trata de una tarifa que pertenece al grupo tarifario 6.1 TD que sigue las directrices de la Circular 3/2020 de la CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia) [10], la cual presenta las siguientes características:

- Esta tarifa consta de seis términos de potencia contratada y seis términos de energía.
- La tensión de suministros es superior a 1 kV e inferior a 30 kV.
- La potencia contratada es superior a 0 kW (se puede contratar el valor que se quiera).
- Las potencias contratadas en los diferentes periodos serán tales que la potencia contratada en un periodo  $P_{n+1}$  sea siempre mayor o igual que la potencia contratada en el periodo anterior  $P_n$ .

Esta tarifa presenta una discriminación horaria de seis periodos horarios (P1 a P6) en función de la temporada, el día de la semana y la hora del día. En la Tabla 40 se muestra un resumen anual en el que se puede observar dicha discriminación.

## DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

Tabla 40: Resumen anual de la discriminación horaria que presenta la tarifa 6.1 TD.

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Sábados, domingos y festivos
00:00 - 01:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
01:00 - 02:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
02:00 - 03:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
03:00 - 04:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
04:00 - 05:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
05:00 - 06:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
06:00 - 07:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
07:00 - 08:00	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
08:00 - 09:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
09:00 - 10:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
10:00 - 11:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
11:00 - 12:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
12:00 - 13:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
13:00 - 14:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
14:00 - 15:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
15:00 - 16:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
16:00 - 17:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
17:00 - 18:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
18:00 - 19:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
19:00 - 20:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
20:00 - 21:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
21:00 - 22:00	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
22:00 - 23:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
23:00 - 24:00	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6

La factura final consta de la suma de los términos de potencia que se tienen contratados en cada periodo y de sus correspondientes cargos, además del término de energía activa de los periodos en los que se ha empleado energía en el mes. Entre estos factores, el estudio se centrará únicamente en el término energético debido a que analizando la factura de la que se tiene información se obtiene que el 92,85% del coste final corresponde a dicho término.

### 7.4 DEPÓSITO INTERMEDIO.

El depósito Intermedio será abastecido de agua potable por bombeo desde el depósito Gemelo, que a su vez se abastece de la EMSHI en el periodo de tiempo de 00:00-07:00. Debido a que el depósito Gemelo presenta de volumen insuficiente para almacenar agua potable en ese periodo de tiempo es necesario que el agua sea bombeada a la vez al depósito Intermedio. Para determinar su regulación hay que conocer los volúmenes medios de consumo que presenta la urbanización Los Monasterios y la capacidad de almacenamiento que presenta cada depósito. Por un lado, se conoce que el vaso del depósito Gemelo que se usará para agua potable tiene un volumen de 500 m<sup>3</sup>, mientras que el depósito Intermedio en principio tendrá también una capacidad de 500 m<sup>3</sup>. Como se puede observar en la Tabla 41, el depósito Gemelo no puede almacenar el volumen total de consumo, por lo que es necesario bombear agua al depósito Intermedio en el mismo periodo de tiempo como se ha comentado previamente.

Tabla 41: Volumen de consumo medio.

DEP. GEMELO		DEP. INTERMEDIO	
Q medio		Q medio	
l/s	m <sup>3</sup> /h	l/s	m <sup>3</sup> /h
2,52	9,09	4,68	16,85
Volumen medio de consumo (m <sup>3</sup> )		Volumen medio de consumo (m <sup>3</sup> )	
218,08		404,34	
VOLUMEN TOTAL (m <sup>3</sup> )			
622,42			

Para verificar que el volumen de 500 m<sup>3</sup> es suficiente en el depósito Intermedio se procede a realizar una serie de cálculos para observar la variación del volumen en función de las curvas de modulación de la Figura 47 y del punto de funcionamiento de la bomba del depósito Gemelo. A continuación, se muestran los pasos que hay que seguir para un patrón en concreto:

- En este ejemplo, se va a mostrar la variación de volumen que se obtiene en el depósito empleando el patrón de consumo con percentil 0,80 que se refleja en la Figura 48. Esto significa que en el 80% de los casos ocurrirán escenarios con patrones inferiores a este.

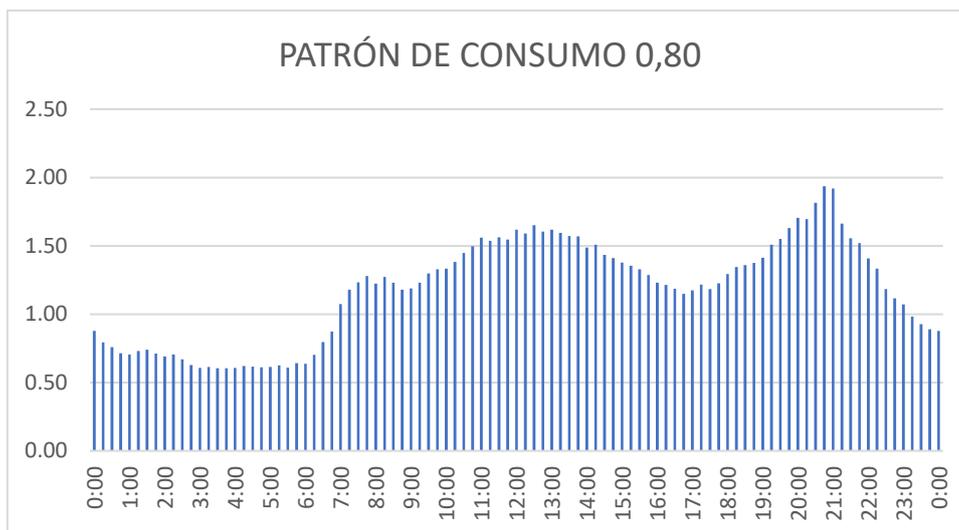


Figura 48: Patrón de consumo con percentil 0,80 del depósito Intermedio.

A partir de la curva de modulación se realizan los siguientes cálculos:

$$Q_c = Coef \cdot Q_{medio} \quad (18)$$

Donde:

- $Q_c$ : Caudal consumido [m<sup>3</sup>/h].
- Coef: Coeficiente.
- $Q_{medio}$ : Caudal medio (16,85 m<sup>3</sup>/h).

$$\Delta V = Q_b - Q_c \quad (19)$$

Donde:

- $\Delta V$ : Incremento de volumen producido [m<sup>3</sup>].
- $Q_b$ : Caudal bombeado [m<sup>3</sup>/h].

$$V_f = V_0 + \Delta V \quad (20)$$

Donde:

- $V_f$ : Volumen final [m<sup>3</sup>].
- $V_0$ : Volumen inicial [m<sup>3</sup>].

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)**

Hay que destacar que el tiempo de bombeo variará en función del volumen consumido y, por lo tanto, del patrón de consumo que se tenga, mientras que el caudal bombeado se mantendrá siempre constante. Sin embargo, como se puede observar en la Tabla 42, como el tiempo presenta una variación cada 15 minutos, se calculará un caudal bombeado cuando el tiempo de bombeo no complete dicho incremento para poder obtener la correcta variación del volumen del depósito Intermedio. En la Figura 49 se ve reflejada la evolución del volumen del depósito Intermedio a lo largo del día.

*Tabla 42: Evolución de volumen del depósito Intermedio con un patrón de consumo de percentil 0,80.*

HORA	Cp	Qc (l/s)	Qc (m <sup>3</sup> /h)	Qb (m <sup>3</sup> /h)	V0	ΔV	Vf
0:00	0,88	4,11	14,80	71,1	0,00	14,08	14,08
0:15	0,79	3,71	13,36	71,1	14,08	14,43	28,51
0:30	0,76	3,55	12,77	71,1	28,51	14,58	43,09
0:45	0,72	3,35	12,05	71,1	43,09	14,76	57,86
1:00	0,71	3,30	11,88	71,1	57,86	14,80	72,66
1:15	0,73	3,42	12,32	71,1	72,66	14,69	87,35
1:30	0,74	3,46	12,45	71,1	87,35	14,66	102,02
1:45	0,71	3,33	12,00	71,1	102,02	14,78	116,79
2:00	0,69	3,24	11,65	71,1	116,79	14,86	131,66
2:15	0,71	3,30	11,88	71,1	131,66	14,80	146,46
2:30	0,67	3,13	11,28	71,1	146,46	14,96	161,42
2:45	0,63	2,94	10,59	71,1	161,42	15,13	176,54
3:00	0,61	2,84	10,23	71,1	176,54	15,22	191,76
3:15	0,61	2,88	10,35	71,1	191,76	15,19	206,95
3:30	0,60	2,83	10,18	71,1	206,95	15,23	222,18
3:45	0,61	2,83	10,20	71,1	222,18	15,23	237,40
4:00	0,61	2,84	10,23	71,1	237,40	15,22	252,62
4:15	0,62	2,91	10,48	71,1	252,62	15,15	267,77
4:30	0,62	2,89	10,39	71,1	267,77	15,18	282,95
4:45	0,61	2,86	10,29	71,1	282,95	15,20	298,15
5:00	0,61	2,88	10,36	71,1	298,15	15,19	313,34
5:15	0,63	2,93	10,54	71,1	313,34	15,14	328,48
5:30	0,61	2,85	10,25	71,1	328,48	15,21	343,69
5:45	0,64	3,01	10,83	71,1	343,69	15,07	358,75
6:00	0,64	2,98	10,73	71,1	358,75	15,09	373,85
6:15	0,70	3,29	11,83	71,1	373,85	14,82	388,66
6:30	0,80	3,72	13,41	63,23	388,66	12,46	401,12
6:45	0,87	4,09	14,71		401,12	-3,68	397,44
...							
22:45	1,12	5,23	18,82		21,01	-4,71	16,31
23:00	1,07	5,02	18,07		16,31	-4,52	11,79
23:15	0,98	4,60	16,54		11,79	-4,14	7,66
23:30	0,93	4,34	15,63		7,66	-3,91	3,75
23:45	0,89	4,16	14,99		3,75	-3,75	0,00

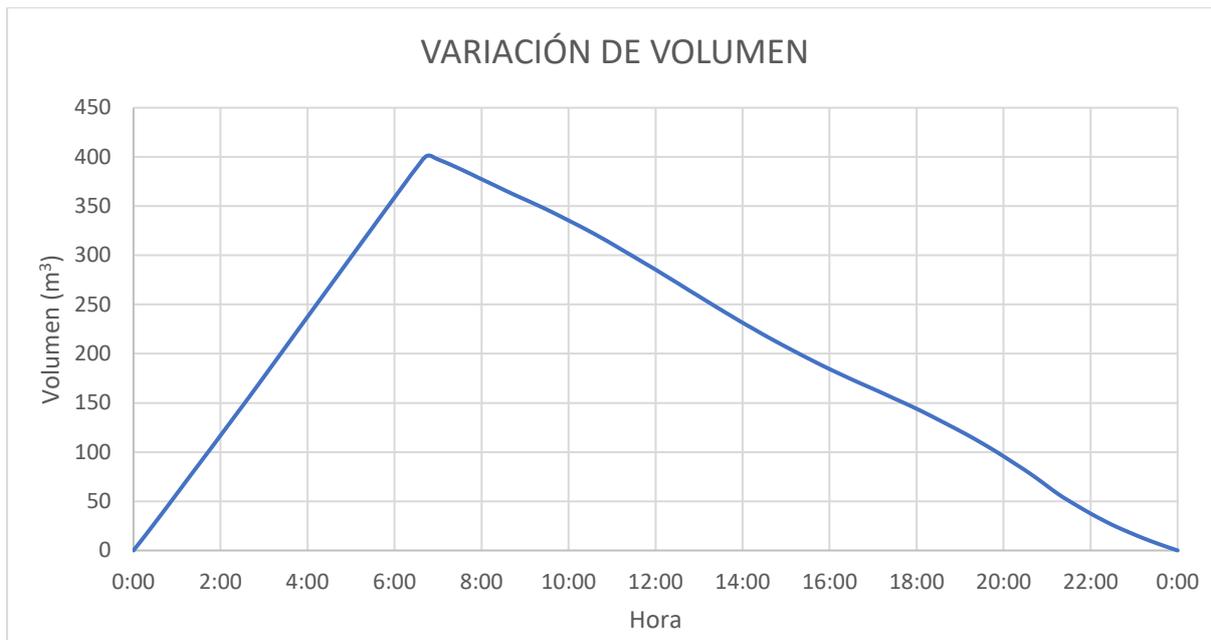


Figura 49: Evolución de volumen del depósito Intermedio con un patrón de consumo de percentil 0,80.

Para determinar el volumen del depósito que se necesita con este patrón se realiza la suma del valor mínimo y máximo en absoluto. En este caso, debido a que el valor mínimo es 0 y el máximo 401,12, se necesitaría un volumen igual al máximo, es decir, de 401,12 m<sup>3</sup>.

Por otro lado, el tiempo de bombeo que se necesita se obtiene dividiendo el volumen total consumido con este patrón entre el caudal que bombea la bomba del depósito Gemelo. En este caso, para el percentil 0,80 se obtienen los valores de la Tabla 43.

Tabla 43: Volumen consumido y tiempo de bombeo para un patrón de consumo de percentil 0,80.

V consumido (m <sup>3</sup> )	Tiempo (horas)	horas	minutos	segundos
<b>477,96</b>	6,72	6	43	20

A continuación, en la Figura 50 se muestra una comparación de las variaciones de volumen a lo largo del día y en la Figura 51 los tiempos de bombeo, volumen consumido y el volumen de depósito que se necesita en función del patrón de consumo que se tenga, donde como máximo estará el percentil de 0,99 para no tomar los datos anómalos que corresponderían a fugas.

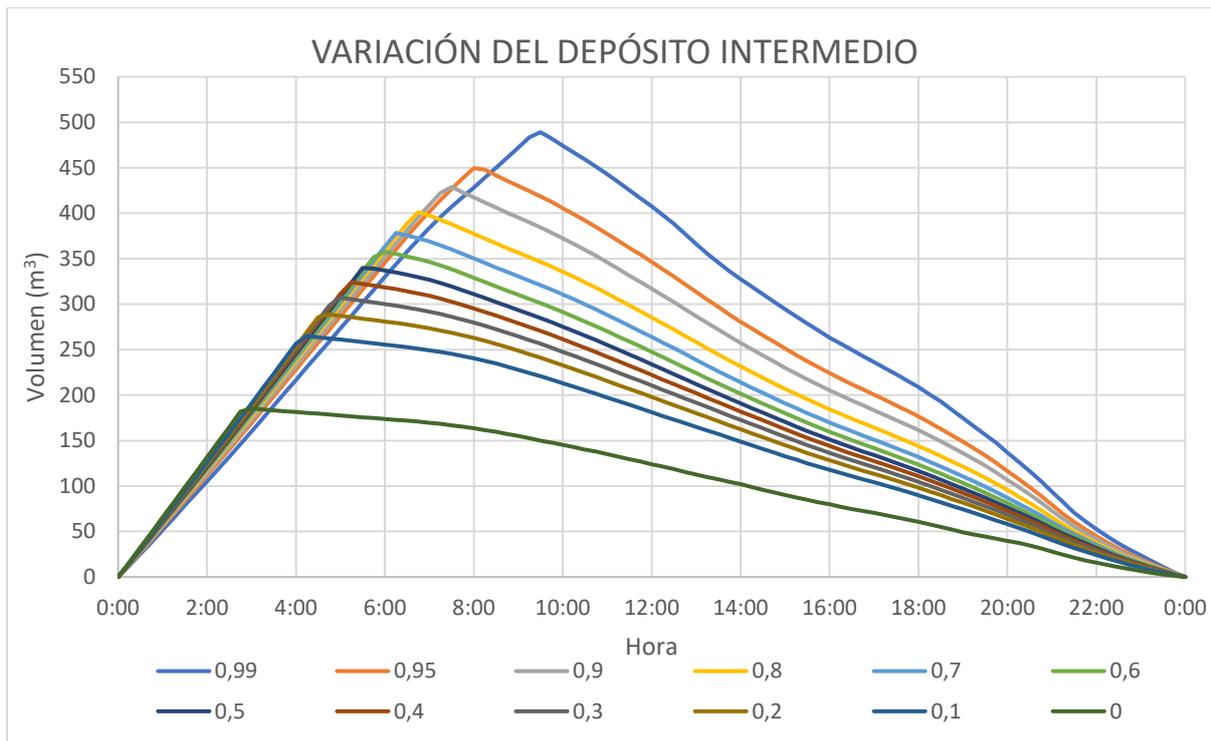


Figura 50: Variación de volumen del depósito Intermedio a lo largo del día en función del patrón de consumo.

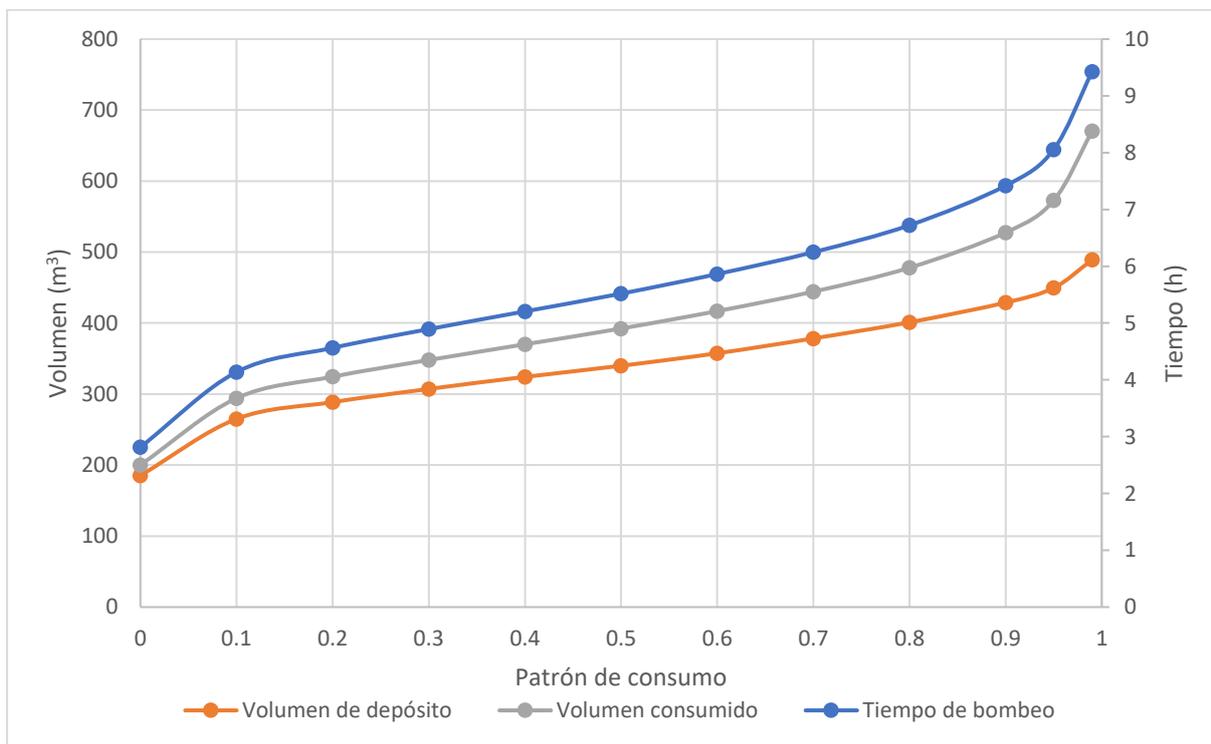


Figura 51: Variación de volumen de depósito Intermedio necesario, volumen consumido y tiempo de bombeo en función del patrón de consumo.

Como se puede observar, con un volumen de 500 m<sup>3</sup> en el depósito Intermedio se cumplen todos los escenarios posibles mientras que aproximadamente en un 15% ellos la bomba tendría que funcionar

durante un periodo de tiempo mayor que 7 horas. Por último, para el control del nivel del depósito Intermedio se le instalará una sonda en cada vaso, así como boyas de máximo/mínimo para evitar desbordes o que se quede vacío. Del mismo modo, el depósito Gemelo también presentará estos elementos para su control.

### 7.5 ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO GEMELO.

Como se ha descrito anteriormente, esta estación de bombeo funcionará en la mayoría de los escenarios durante las siete primeras horas de cada día, por lo que se puede estimar que en el año funcionará siempre en el término de energía P6, ya que sólo funcionará en otro término de energía en el 5% de los casos donde superaría las ocho horas de funcionamiento. Conociendo el periodo de funcionamiento y la potencia que consume la bomba se obtienen el consumo energético y su coste reflejados en la Tabla 44.

Tabla 44: Coste y consumo energético de la estación de bombeo del depósito Gemelo.

Potencia (kW)	Tiempo (horas)	Energía al día (kWh)	Precio P6 (€/kWh)
13,5	7	94,5	0,108766
<b>Coste diario</b>		<b>10,28 €</b>	
<b>Coste anual</b>		<b>3.751,61 €</b>	

Sabiendo que esta estación de bombeo consume una potencia constante debido a que siempre trabaja en el mismo punto de funcionamiento se decide contratar en P6 una potencia de 15 kW. Para el resto de los periodos se puede contratar un término de potencia menor como se ha descrito anteriormente.

Sin embargo, se decide contratar el mismo para que en caso de tener que funcionar en otro periodo disponer de la potencia necesaria, por lo que para todos los periodos se tendrá un término de potencia contratada de 15 kW. En cuanto a su regulación, la bomba funcionará a presión constante y dispondrá de un transductor de presión a la salida.

### 7.6 ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO INTERMEDIO.

En cuanto a esta estación de bombeo, estará en funcionamiento durante todo el día en todo el año ya que depende de las demandas de la red. Para estimar su coste energético anual, primero se obtendrá la energía consumida cada 15 minutos con cada patrón para posteriormente determinar el coste anual de cada uno de ellos. Para acabar, se realizará el sumatorio de los costes anuales y se multiplicará por el 10% ya que el incremento de percentil entre los patrones es de 0,1. De esta manera, estamos considerando que cada patrón ocurre durante 36,5 días repartidos en el año. A continuación, se muestran los pasos que se han descrito para el primer patrón de percentil 0,10, donde en la Tabla 45 se recoge el número de bombas que entran en funcionamiento con su velocidad, rendimiento, potencia y energía que consume en cada intervalo.

DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)

Tabla 45: Consumo energético a lo largo del día con el patrón de percentil 0,10.

HORA	Cp	Q (m3/h)	H (m)	$\alpha$	N bombas	Rend. Real	P (kW)	E (kWh)
0:00	0,56	1,76	17	0,68	1	31,20	0,26	0,065
0:15	0,53	1,65	17	0,67	1	29,77	0,26	0,064
0:30	0,50	1,56	17	0,67	1	28,43	0,25	0,063
0:45	0,45	1,41	17	0,67	1	26,27	0,25	0,062
1:00	0,44	1,39	17	0,67	1	25,93	0,25	0,062
1:15	0,45	1,41	17	0,67	1	26,19	0,25	0,062
1:30	0,43	1,36	17	0,67	1	25,44	0,25	0,062
1:45	0,43	1,34	17	0,67	1	25,11	0,25	0,062
2:00	0,40	1,25	17	0,67	1	23,74	0,24	0,061
2:15	0,40	1,24	17	0,67	1	23,66	0,24	0,061
2:30	0,37	1,17	17	0,67	1	22,45	0,24	0,060
2:45	0,35	1,11	17	0,67	1	21,42	0,24	0,060
3:00	0,33	1,04	17	0,67	1	20,33	0,24	0,059
...								
10:00	0,91	2,86	17	0,70	1	43,38	0,31	0,076
10:15	0,91	2,85	17	0,70	1	43,30	0,31	0,076
10:30	0,94	2,93	17	0,70	1	43,99	0,31	0,077
10:45	0,94	2,95	17	0,70	1	44,14	0,31	0,077
11:00	0,95	2,97	17	0,70	1	44,29	0,31	0,078
11:15	0,93	2,90	17	0,70	1	43,69	0,31	0,077
11:30	0,98	3,05	17	0,70	1	44,95	0,31	0,079
11:45	0,98	3,07	17	0,70	1	45,06	0,32	0,079
12:00	0,99	3,11	17	0,70	1	45,36	0,32	0,079
12:15	0,95	2,97	17	0,70	1	44,26	0,31	0,078
12:30	0,96	2,99	17	0,70	1	44,48	0,31	0,078
12:45	0,97	3,03	17	0,70	1	44,74	0,31	0,078
13:00	0,93	2,92	17	0,70	1	43,89	0,31	0,077
...								
21:00	1,05	3,27	17	0,71	1	46,56	0,33	0,081
21:15	1,00	3,12	17	0,70	1	45,45	0,32	0,079
21:30	0,95	2,98	17	0,70	1	44,41	0,31	0,078
21:45	0,93	2,90	17	0,70	1	43,74	0,31	0,077
22:00	0,90	2,82	17	0,70	1	43,00	0,30	0,076
22:15	0,85	2,65	17	0,69	1	41,43	0,30	0,074
22:30	0,77	2,40	17	0,69	1	38,97	0,29	0,071
22:45	0,71	2,23	17	0,68	1	37,14	0,28	0,070
23:00	0,71	2,24	17	0,68	1	37,15	0,28	0,070
23:15	0,63	1,98	17	0,68	1	34,09	0,27	0,067
23:30	0,57	1,79	17	0,68	1	31,72	0,26	0,066
23:45	0,55	1,73	17	0,68	1	30,79	0,26	0,065

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE  
PUZOL (VALENCIA)**

Conociendo su consumo energético y teniendo como dato el precio de la energía en función del periodo, se obtiene la Tabla 46 con el coste diario para cada mes, para los fines de semana y días festivos, y el coste energético total:

*Tabla 46: Coste energético diario en cada mes para el patrón de percentil 0,10.*

<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>
0,88 €	0,88 €	0,82 €	0,75 €	0,75 €	0,78 €
<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>
0,88 €	0,78 €	0,78 €	0,75 €	0,82 €	0,88 €
<b>SÁBADOS/DOMINGOS/FESTIVOS</b>			<b>COSTE ANUAL</b>		
0,74 €			288,41 €		
<b>COSTE EN 36,5 DÍAS (10%)</b>					
28,84 €					

Realizando estos pasos para cada percentil se obtienen los costes mostrados en la Tabla 47.

*Tabla 47: Coste energético en cada percentil y coste energético total.*

<b>PERCENTIL</b>	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,99
<b>COSTE ANUAL (€)</b>	288,41	298,91	307,45	315,90	324,82	335,35	348,16	365,57	393,41	976,23
<b>10% (€)</b>	28,84	29,89	30,75	31,59	32,48	33,53	34,82	36,56	39,34	97,62
<b>COSTE ENERGÉTICO ANUAL TOTAL</b>										
<b>395,42 €</b>										

Por último, para determinar la potencia a contratar en cada periodo se considerará el escenario más desfavorable para observar cual es la máxima potencia que puede llegar a requerir la estación de bombeo. El escenario más crítico será el del percentil 0,99 cuando en su coeficiente punta se obtiene el caudal punta y, por lo tanto, su caudal medio será mayor. A continuación, en la Tabla 48 se muestra la evolución del consumo energético a lo largo del día cuando se tiene dicho patrón.

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)**

*Tabla 48: Consumo energético a lo largo del día con el patrón de percentil 0,99.*

HORA	Cp	Qt (m3/h)	H (m)	N bombas	Qb (m3/h)	$\alpha$	Rend. Real b	Pt (kW)	Et (kWh)
<b>0:00</b>	1,20	7,47	17	1	7,47	0,87	49,61	0,70	0,174
<b>0:15</b>	1,22	7,60	17	1	7,60	0,88	49,24	0,71	0,179
<b>0:30</b>	1,16	7,19	17	1	7,19	0,86	50,47	0,66	0,165
<b>0:45</b>	1,03	6,41	17	1	6,41	0,82	52,33	0,57	0,142
<b>1:00</b>	1,06	6,60	17	1	6,60	0,83	51,94	0,59	0,147
<b>1:15</b>	1,00	6,20	17	1	6,20	0,81	52,70	0,54	0,136
<b>1:30</b>	1,02	6,35	17	1	6,35	0,82	52,45	0,56	0,140
<b>1:45</b>	1,12	6,95	17	1	6,95	0,85	51,11	0,63	0,157
<b>2:00</b>	1,01	6,29	17	1	6,29	0,82	52,55	0,55	0,139
<b>2:15</b>	0,95	5,93	17	1	5,93	0,80	53,06	0,52	0,129
<b>2:30</b>	0,94	5,86	17	1	5,86	0,80	53,13	0,51	0,128
<b>2:45</b>	0,90	5,61	17	1	5,61	0,79	53,30	0,49	0,122
<b>3:00</b>	0,87	5,40	17	1	5,40	0,78	53,34	0,47	0,117
...									
<b>10:00</b>	1,84	11,42	17	2	5,71	0,79	53,25	0,99	0,248
<b>10:15</b>	1,78	11,08	17	2	5,54	0,79	53,33	0,96	0,241
<b>10:30</b>	1,88	11,69	17	2	5,84	0,80	53,15	1,02	0,255
<b>10:45</b>	1,93	11,98	17	2	5,99	0,80	52,99	1,05	0,262
<b>11:00</b>	2,13	13,22	17	2	6,61	0,83	51,93	1,18	0,295
<b>11:15</b>	2,06	12,79	17	2	6,40	0,82	52,36	1,13	0,283
<b>11:30</b>	2,14	13,31	17	2	6,65	0,83	51,83	1,19	0,297
<b>11:45</b>	2,11	13,13	17	2	6,57	0,83	52,02	1,17	0,292
<b>12:00</b>	2,24	13,91	17	2	6,96	0,85	51,09	1,26	0,315
<b>12:15</b>	2,36	14,68	17	2	7,34	0,87	50,02	1,36	0,340
<b>12:30</b>	2,56	15,93	17	2	7,96	0,90	48,03	1,54	0,384
<b>12:45</b>	2,70	16,75	17	2	8,38	0,92	46,59	1,67	0,416
<b>13:00</b>	2,49	15,45	17	2	7,72	0,89	48,82	1,47	0,366
...									
<b>21:00</b>	2,78	17,26	17	2	8,63	0,93	45,68	1,75	0,438
<b>21:15</b>	2,77	17,24	17	2	8,62	0,93	45,72	1,75	0,437
<b>21:30</b>	2,23	13,85	17	2	6,93	0,85	51,17	1,25	0,313
<b>21:45</b>	2,11	13,09	17	2	6,55	0,83	52,06	1,17	0,291
<b>22:00</b>	1,89	11,76	17	2	5,88	0,80	53,11	1,03	0,256
<b>22:15</b>	1,81	11,26	17	2	5,63	0,79	53,29	0,98	0,245
<b>22:30</b>	1,64	10,22	17	2	5,11	0,77	53,23	0,89	0,222
<b>22:45</b>	1,51	9,36	17	1	9,36	0,97	43,01	1,01	0,252
<b>23:00</b>	1,49	9,23	17	1	9,23	0,96	43,48	0,98	0,246
<b>23:15</b>	1,47	9,15	17	1	9,15	0,96	43,78	0,97	0,242
<b>23:30</b>	1,39	8,62	17	1	8,62	0,93	45,72	0,87	0,218
<b>23:45</b>	1,27	7,89	17	1	7,89	0,89	48,28	0,76	0,189

La potencia máxima se produce en el periodo horario que coincide con P1 y es de 1,75 kW. Debido a esto, se decide contratar un término de potencia de 2 kW para todos los periodos ya que como se ha explicado anteriormente, el término de potencia a contratar tiene que ser mayor o igual al anterior.

Por último, para la regulación de esta estación de bombeo se dispone de un transductor de presión a su salida para que cuando se produzca una variación de la demanda el PLC envíe una señal haciendo que el variador de frecuencia modifique la velocidad de giro de la bomba para permitir que se suministre el caudal demandado a una presión constante. Hay que destacar que cuando la bomba vaya a superar su velocidad nominal de giro, se pondrá en marcha la siguiente bomba y ambas trabajarán a la misma velocidad. Se decide que funcione a una presión constante debido a lo sobredimensionada que se encuentra la red, provocando que las pérdidas sean muy similares a caudal mínimo y máximo.

## 8. PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES.

### 8.1 PROTECCIÓN GENERAL.

Para que la red de agua potable de la urbanización Los Monasterios se encuentre en buenas condiciones durante el mayor tiempo posible es necesaria la instalación de una serie de elementos hidráulicos cuya función principal es la protección de las instalaciones. Por un lado, como se ha descrito anteriormente, se instalarán VRP para evitar que se alcancen sobrepresiones que podrían llegar a causar roturas o pequeñas fugas que provocarían un peor rendimiento hidráulico de la red. Además, junto a cada VRP se instala una válvula de alivio de emergencia en caso de que esta falle. Por otro lado, a lo largo de la red se instalarán ventosas trifuncionales que nos permitirán tener una buena ventilación del sistema además de evitar depresiones durante fenómenos transitorios y también desagües para el vaciado de las tuberías. Además, se colocarán ventosas aguas arriba de los caudalímetros para evitar imprecisiones. Por último, se instalarán válvulas de seccionamiento que nos permiten crear polígonos de cierre para que en caso de rotura o necesidad de mantenimiento de alguna tubería tener la posibilidad de aislarla para poder realizar las actuaciones necesarias. Hay que destacar que también se instalan válvulas de seccionamiento delante de las ventosas, hidrantes, caudalímetros, VRP, acometidas y desagües para permitir el mantenimiento de estos. A continuación, en la Figura 52 se mostrarán las ubicaciones de las válvulas de seccionamiento, ventosas y desagües.

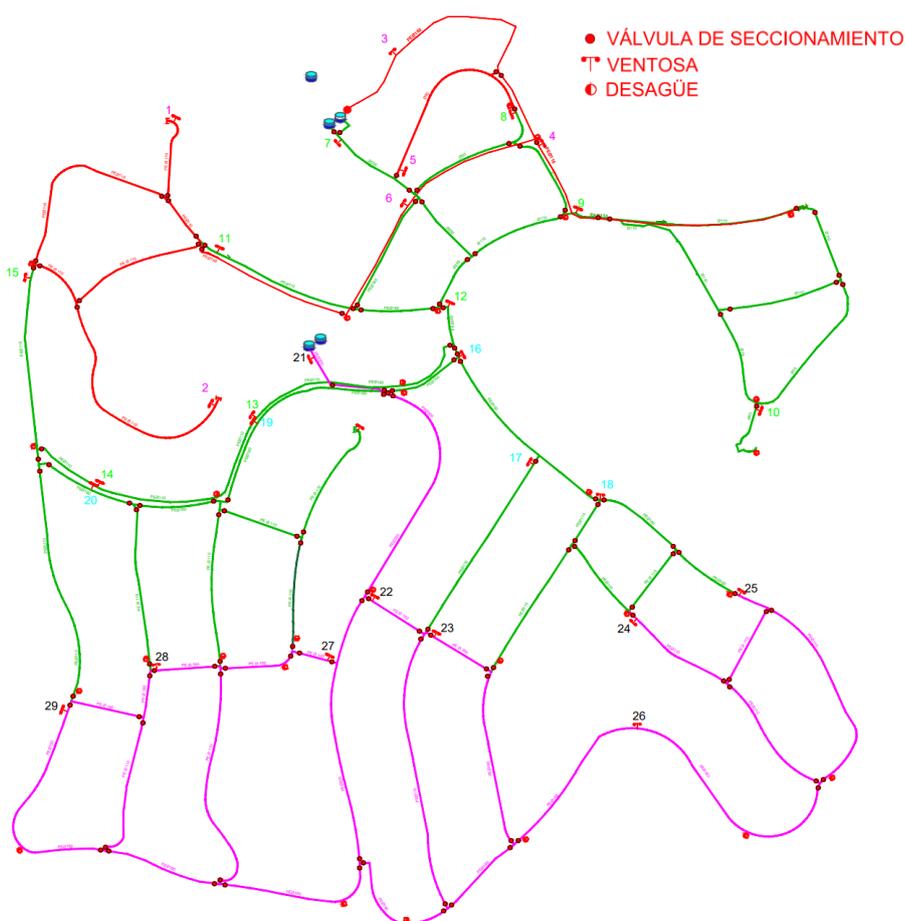


Figura 52: Ubicación de los elementos de protección en la red de distribución.

Para el dimensionamiento de las ventosas trifuncionales hay que tener en cuenta que tienen que ser capaces de inyectar un caudal de aire suficiente para evitar que se produzcan depresiones en la conducción en caso de rotura. Para su cálculo se empleará el catálogo que ofrece Irua [11] donde en la Figura 53 se muestran las curvas de inyección y evacuación de aire de las ventosas que tienen disponibles.

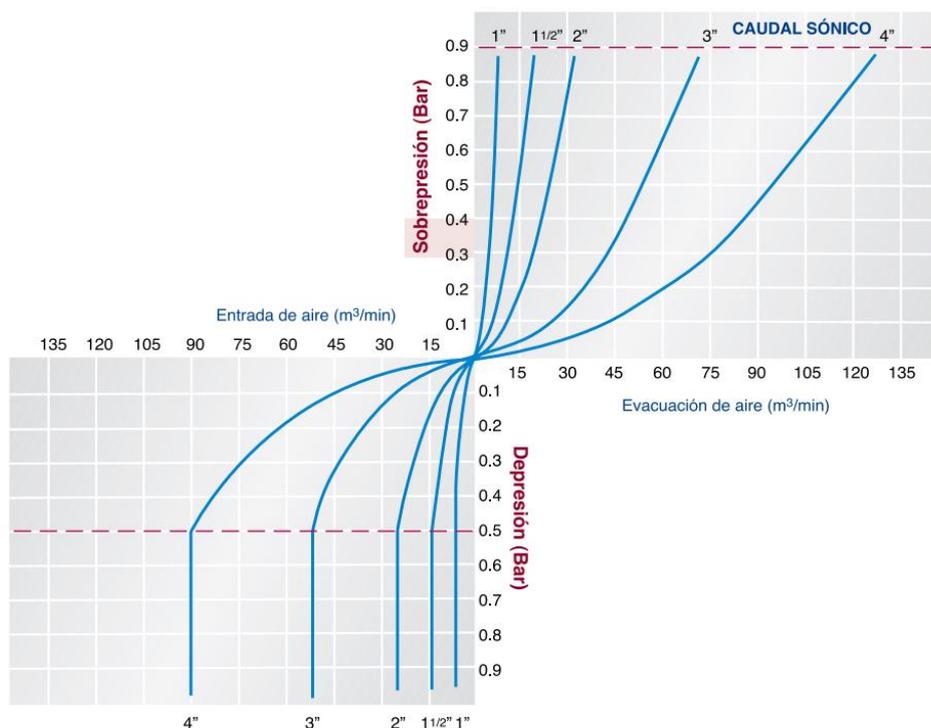


Figura 53: Curvas de capacidad de aireación de las ventosas Irua.

El caudal de aire a inyectar viene en función del diámetro de la tubería y de la pendiente que presenta. Para su determinación, se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{inyectar} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot g \cdot D^5 \cdot j}{8 \cdot f}} \quad (21)$$

Donde:

- $g$ : Gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).
- $D$ : Diámetro interior de la conducción ( $220,5 \text{ m}$ ).
- $f$ : Factor de fricción ( $0,015$ ).

Para el dimensionamiento de estos elementos hidráulicos se emplea el diámetro mayor de la red de distribución, aunque existan tuberías de menor diámetro. De esta manera, aunque se necesiten ventosas de menor dimensión en otros puntos, se tienen ventosas que aseguran el caudal de aire necesario, ya que si se tuviesen ventosas de diámetro menor al necesario no serían capaces que abrir para permitir la entrada de aire. Para la obtención de la pendiente hidráulica se ha empleado el desnivel

**DESDOBLAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS DE PUZOL (VALENCIA)**

entre la ventosa y el desagüe más cercano y como longitud la distancia entre estos. A continuación, en la Tabla 49 se muestran los resultados que se han obtenido.

*Tabla 49: Dimensionamiento de las ventosas en la red de distribución.*

Número	Desnivel (m)	Zv (m)	Zd (m)	L (m)	j	f est	Qr (m <sup>3</sup> /min)	DN
1	30,00	186	156	351,0	0,09	0,015	11,36	1"1/2
2	20,00	176	156	372,0	0,05	0,015	9,01	1"1/2
3	34,00	194	160	400,0	0,09	0,015	11,33	1"1/2
4	10,00	160	150	373,0	0,03	0,015	6,36	1"1/2
5	5,00	171	166	261,0	0,02	0,015	5,38	1"
6	15,00	164	149	171,0	0,09	0,015	11,51	1"1/2
7	43,00	190	147	301,0	0,14	0,015	14,69	1"1/2
8	12,00	166	154	148,0	0,08	0,015	11,07	1"1/2
9	20,00	154	134	370,0	0,05	0,015	9,04	1"1/2
10	3,00	134	131	66,0	0,05	0,015	8,29	1"1/2
11	19,00	166	147	302,0	0,06	0,015	9,75	1"1/2
12	9,00	147	138	126,0	0,07	0,015	10,39	1"1/2
13	10,00	146	136	113,0	0,09	0,015	11,56	1"1/2
14	3,00	145	142	93,0	0,03	0,015	6,98	1"1/2
15	14,00	156	142	223,0	0,06	0,015	9,74	1"1/2
16	4,00	142	138	40,0	0,10	0,015	12,29	1"1/2
17	13,00	134	121	191,0	0,07	0,015	10,14	1"1/2
18	9,00	130	121	166,0	0,05	0,015	9,05	1"1/2
19	8,00	146	138	148,0	0,05	0,015	9,04	1"1/2
20	21,00	145	124	260,0	0,08	0,015	11,05	1"1/2
21	18,00	140	122	225,1	0,08	0,015	10,99	1"1/2
22	21,00	122	101	398,0	0,05	0,015	8,93	1"1/2
23	12,00	122	110	287,0	0,04	0,015	7,95	1"1/2
24	15,00	120	105	310,8	0,05	0,015	8,54	1"1/2
25	15,00	120	105	330,8	0,05	0,015	8,28	1"1/2
26	3,00	114	111	177,0	0,02	0,015	5,06	1"
27	16,00	117	101	255,0	0,06	0,015	9,74	1"1/2
28	7,00	123	116	173,0	0,04	0,015	7,82	1"1/2
29	5,00	119	114	210,0	0,02	0,015	6,00	1"1/2

Finalmente, todas las ventosas de la red de distribución presentarán un diámetro de 1<sup>1/2</sup>". En cuanto al dimensionamiento de sus purgadores también se empleará el catálogo que ofrece Irua. Para su dimensionamiento es necesario conocer la presión de trabajo en el punto de la tubería donde se van a colocar las ventosas. En cuanto al caudal máximo de aire a evacuar se considerará el 2% del caudal circulante por la tubería ya que es aproximadamente la cantidad de aire disuelto en el agua a una temperatura de 15°C.

Al tratarse de una red mallada donde varían temporalmente sus demandas, los datos que se requieren también varían, por lo que se emplearán los datos que requerirán el diámetro mayor de purgador, que

son la presión mínima y el máximo caudal, ya que el caudal es proporcional al diámetro necesario y le presión es inversamente proporcional a su dimensión como se puede ver en la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0,007912 \cdot p_{abs}}} \quad (22)$$

Donde:

- Q: Caudal de aire a evacuar (m<sup>3</sup>/min).
- $p_{abs}$ : Presión absoluta (bar).

A través de esta ecuación se obtienen los valores mostrados en la Tabla 50, donde se muestra la capacidad de purga que se requiere cuando se está en el caso más desfavorable, es decir, a presión mínima de trabajo y a máximo caudal. De esta manera se asegura que el purgador seleccionado tenga la capacidad de evacuar el caudal de aire necesario. Por lo tanto, a partir de la gama de purgadores del catálogo de Irua mostrados en la Figura 54, se seleccionan los purgadores de diámetro 1,5 mm:

Tabla 50: Dimensionamiento de los purgadores de la red de distribución.

Q max (m3/h) = 62,28					
p tra (mca)	p tra (bar)	p abs (bar)	Capacidad de purga (m3/min)	d min (mm)	DN (mm)
3,20	0,3	1,3	0,021	1,41	1,5

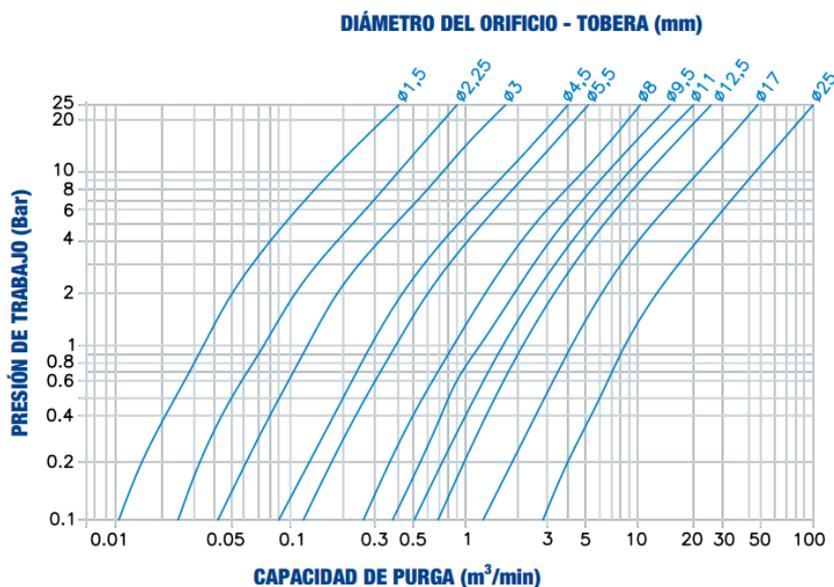


Figura 54: Purgadores de Irua.

## 8.2 PROTECCIÓN DE LA TUBERÍA CONTRA DEPÓSITO.

En este apartado se procede a dimensionar los diferentes elementos de protección para la tubería de impulsión contra depósito, la cual suministra agua potable desde el depósito Gemelo al depósito Intermedio.

### 8.2.1 VENTOSAS.

En la Figura 55 se puede observar el perfil longitudinal de la tubería con las ventosas trifuncionales ubicadas en los puntos elevados y los desagües en los puntos bajos para permitir el llenado y vaciado de los diferentes tramos además de protegerla ante un transitorio. En las Tablas 51, 52 y 53 se recogen los datos numéricos del perfil longitudinal, de la ubicación de las ventosas y de la ubicación de los desagües respetivamente.

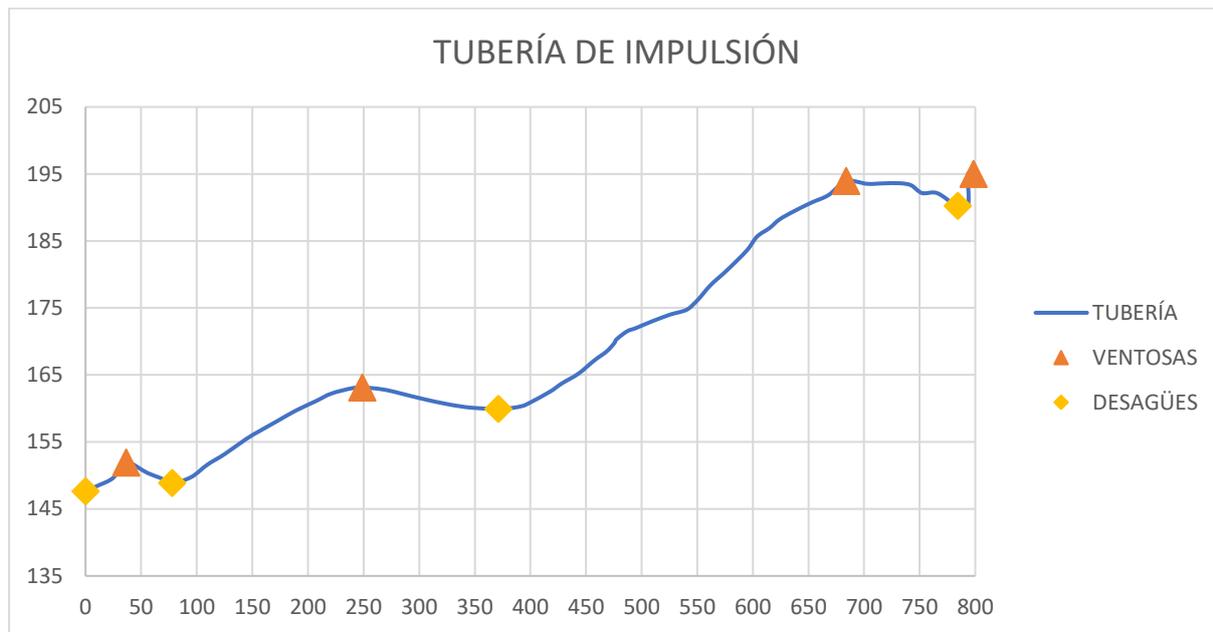


Figura 55: Tubería de impulsión con ventosas y desagües.

Tabla 51: Perfil de la tubería de impulsión.

X (m)	Z (m)	X (m)	Z (m)	X (m)	Z (m)
0,0	147,6	302,3	161,5	562,0	178,4
10,6	148,4	326,3	160,6	577,0	180,7
24,6	149,6	347,3	160,1	594,6	183,6
36,6	151,9	371,3	159,9	603,8	185,7
55,6	150,4	377,3	159,9	615,0	186,9
67,6	149,6	392,3	160,3	624,0	188,2
78,0	148,9	401,3	161,0	637,2	189,5
95,0	149,8	418,1	162,6	653,0	190,7
109,6	151,6	428,1	163,7	668,0	191,8
125,0	153,2	443,1	165,2	684,0	193,9
144,6	155,5	457,5	167,2	703,0	193,5
156,0	156,6	468,5	168,5	717,2	193,6
172,5	158,1	475,3	169,7	732,4	193,6
188,9	159,7	477,5	170,3	742,4	193,3
207,1	161,1	486,9	171,5	752,1	192,2
220,9	162,2	495,0	172,0	765,9	192,1

239,7	163,0	509,2	173,0	782,5	190,2
248,9	163,1	526,4	174,1	784,3	190,2
256,3	163,1	532,2	174,3	793,5	190,4
270,1	162,8	541,6	174,8	793,5	195,0
285,7	162,1	550,8	176,3	798,5	195,0

Tabla 52: Ubicación de las ventosas trifuncionales.

VENTOSAS TRIFUNCIONALES		
DISTANCIA (m)	Z (m)	Presión de trabajo (m)
36,6	151,9	50,6
248,9	163,1	38,4
684,0	193,9	5,5
798,5	195,0	2,7

Tabla 53: Ubicación de los desagües.

DESAGÜES	
DISTANCIA (m)	Z (m)
0,0	147,6
78,0	148,9
371,3	159,9
784,3	190,2

Para el dimensionamiento de estos elementos hidráulicos que se han instalado a lo largo de la tubería de impulsión, se va a seguir la metodología que se va a explicar a continuación:

- En primer lugar, en la tabla 52 se puede observar que en la primera ventosa se tiene la presión de trabajo más elevada. Por lo que se impondrá que la presión que genere el cierre brusco de la ventosa no supere los 30 mca, para no alcanzar 100 mca ya que la tubería presenta un timbraje PN10. Con la sobrepresión determinada se procede a obtener su caudal máximo de entrada:

$$Q_{max} = \frac{g \cdot A \cdot \Delta H_{max}}{a} = 0,03 \text{ m}^3/\text{s} = 1,77 \text{ m}^3/\text{min} \quad (23)$$

Donde:

- $g$ : Gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).
- $\Delta H_{max}$ : Golpe de ariete (30 mca).
- $A$ : Área de la tubería:

$$A = \pi \cdot \frac{D_{int}^2}{4} = 0,024 \text{ m}^2 \quad (24)$$

Donde:

- $D_{int}$ : Diámetro interior de la tubería (0,1762 m).
- $a$ : celeridad:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot D_{int}}{E \cdot e}}} = 243,01 \text{ m/s} \quad (25)$$

Donde:

- K: Módulo de compresibilidad del agua (2,074E+09 Pa).
  - $\rho$ : Densidad del agua (1.000 kg/m<sup>3</sup>).
  - E: Módulo de Young del Polietileno de Alta Densidad (900E+06 Pa).
  - e: espesor de la tubería (0,0119 m).
- Posterior a esto se obtiene la velocidad de llenado que se tendría:

$$v = \frac{Q_{max}}{A} = \frac{0,03}{0,024} = 1,25 \text{ m/s}$$

- En referencia a las normas del Canal de Isabel II [12], se recomienda que la velocidad de llenado esté alrededor de 0,3 m/s. Por lo tanto, el caudal sería el siguiente:

$$Q = v \cdot A = 0,3 \cdot 0,024 = 0,0072 \text{ m}^3/\text{s} = 0,432 \text{ m}^3/\text{min}$$

En este caso, con las ventosas de 1" se podría expulsar un caudal de aire igual al caudal de llenado soportando una presión relativa positiva de 0,3 bar.

- Sin embargo, debido a que estos elementos funcionan también como protección frente a roturas, se procede a realizar su diseño para que sea capaz de inyectar un caudal de aire que atenúe los efectos negativos del vaciado brusco de la conducción. El caudal de aire a inyectar viene en función del diámetro de la tubería y de la pendiente que presenta. Para su determinación, se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{inyectar} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot g \cdot D^5 \cdot j}{8 \cdot f}} \quad (26)$$

Donde:

- $g$ : Gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).
- $D$ : Diámetro interior de la conducción (0,1762 m).
- $f$ : Factor de fricción (0,015).

Los datos que se han obtenido se recogen en la Tabla 54.

Tabla 54: Caudal de aire a inyectar en caso de rotura.

DISTANCIA	Desnivel (m)	L (m)	j	f est	Q (m <sup>3</sup> /min)	DN
36,6	4,27	36,6	0,12	0,015	7,59	1"1/2
248,9	14,24	170,9	0,08	0,015	6,41	1"1/2
684,0	34,01	312,7	0,11	0,015	7,32	1"1/2
798,5	4,77	14,2	0,34	0,015	12,87	1"1/2

Una vez finalizado este procedimiento, con esta información se seleccionan ventosas de 1<sup>1/2"</sup> que permiten no superar la velocidad de 0,3 m/s en el llenado controlado y que, en caso de rotura, permite

inyectar el caudal que se necesita para soportar una presión relativa negativa de 0,3 bar. Por otro lado, al ser ventosas trifuncionales presentan incorporados purgadores para la liberación de pequeñas burbujas de aire durante el funcionamiento normal de la instalación. A continuación, en la Tabla 55 se muestran los diámetros mínimos que tiene que presentar cada uno de ellos y el diámetro seleccionado tomando como referencia el catálogo de Irua:

*Tabla 55: Dimensionamiento de los purgadores.*

DISTANCIA	p trabajo (mca)	p trabajo (bar)	Q purgador (m3/min)	d min (mm)	DN (mm)
36,6	50,6	5,1	0,024	0,70	1,5
248,9	38,4	3,8	0,024	0,79	1,5
684,0	5,5	0,6	0,024	1,39	1,5
798,5	2,7	0,3	0,024	1,54	2,25

### 8.2.2 FENÓMENO TRANSITORIO.

Para acabar, se realiza un estudio del fenómeno transitorio generado en la tubería cuando se produce una parada de la bomba. Para el desarrollo del estudio se va a emplear el programa Allievi que nos permite simular los efectos transitorios que se producen en un sistema hidráulico a presión. Además, permite instalar en el sistema diferentes dispositivos de protección (calderines, ventosas, chimeneas de equilibrio, tanques, etc) para poder lograr un control de las oscilaciones que se generan por el golpe de ariete y verificar que se consigue un diseño que garantice la seguridad del sistema hidráulico. Para comenzar, se procede a introducir el perfil longitudinal de la tubería de impulsión con sus elementos hidráulicos (depósitos y bomba) sin tener en cuenta las ventosas. En la Figura 56 se muestra el perfil de presiones que se genera donde encontramos las siguientes líneas:

- Línea roja: Presión máxima que se alcanza en régimen transitorio.
- Línea verde: Presión mínima que se alcanza en régimen transitorio.
- Línea azul: Presión que se tiene en régimen permanente, es decir, cuando no se ha producido ningún golpe de ariete.
- Línea negra continua: Perfil longitudinal de la tubería tomando como referencia la solera de esta.
- Línea negra discontinua: Perfil longitudinal que indica el límite de cavitación. Si la línea de presión alcanza o cae por debajo de este límite, la presión absoluta será igual o menor a la presión de vapor del agua. Esto provocará que el agua comience a evaporarse localmente, formando pequeñas burbujas de vapor. Más adelante, estas burbujas implosionarán al entrar en zonas de mayor presión, lo que puede causar daños en las paredes internas de las tuberías.

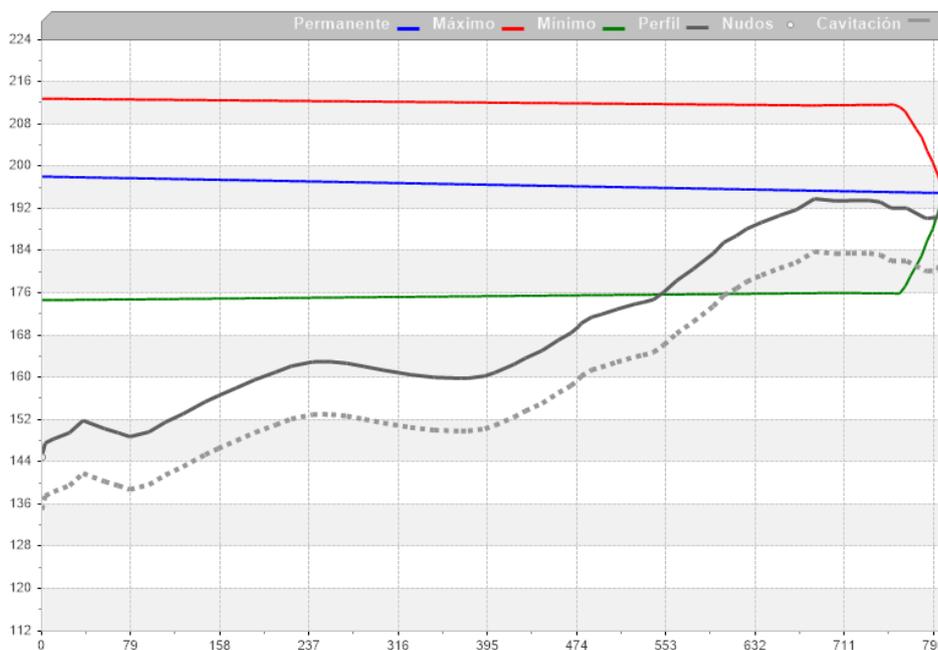


Figura 56: Perfil de presiones generado por el fenómeno transitorio en la tubería de impulsión.

Como se puede observar, en este caso solo se tiene un problema de depresión ya que la tubería es capaz de soportar una presión máxima de 10 bar. Para solventar este inconveniente, se introducen las ventosas de 1<sup>1/2</sup>" que se han dimensionado anteriormente en sus ubicaciones correspondientes y también un calderín. Para el diseño de este, se comienza con una estimación de su volumen a partir de los siguientes cálculos:

- En primer lugar, se calcula el tiempo característico a través de la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{2L}{a} = \frac{2 \cdot 798,5}{243,01} = 6,57 \text{ s} \quad (27)$$

- Conociendo el caudal que inyecta la bomba (19.75 l/s) y el tiempo característico que se ha calculado previamente se comienza el proceso de diseño de calderín a partir del siguiente volumen.

$$V = Q \cdot T_c = 0,01975 \cdot 6,57 = 0,129 \approx 0,1 \text{ m}^3$$

Después de varias iteraciones se decide disponer de un calderín de 2 m<sup>3</sup> con las características que se muestran en la Tabla 56 y donde se obtiene el perfil de presiones que se puede observar en la Figura 57.

Tabla 56: Diseño del calderín.

Volumen (m <sup>3</sup> )	Diámetro (m)	Sección (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	V aire (m <sup>3</sup> )	P hinchado (bar)
2	1,01	0,80	2,52	1,60	3,97
Nivel Inicial	Nivel Mínimo	Pmax (mca)	Pmin (mca)	Margen	D conexión (mm)
2,01	0,24	54	-0,05	9,54%	200

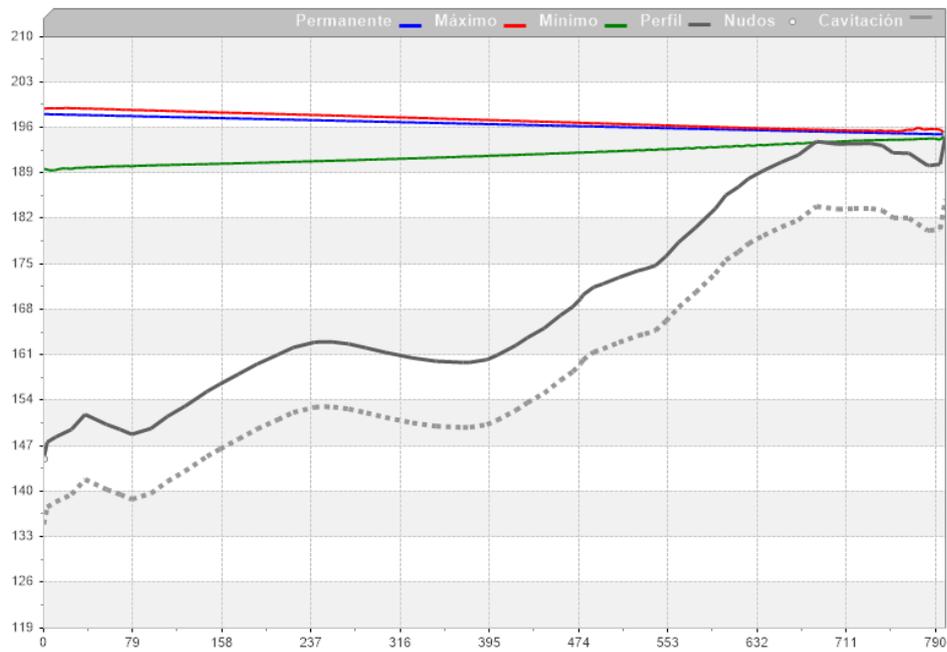


Figura 57: Perfil de presiones con calderín generado por el fenómeno transitorio en la tubería de impulsión.

Como se puede observar en la Figura 56, con la instalación del calderín se mitiga el fenómeno transitorio que se genera por la parada de la bomba, evitando que se produzcan depresiones y presiones superiores a 10 bar. De esta manera, mediante la instalación de este elemento hidráulico junto a las ventosas que se dimensionaron anteriormente se garantiza una buena protección en la tubería de impulsión contra depósito.

## 9. VALORACIÓN ECONÓMICA.

En este apartado se va a mostrar una valoración económica de los costes de las tuberías, VRP y bombas. Hay que destacar que para el presupuesto final habría que añadir el coste de operación, maquinaria y personal necesario para realizar todos los trabajos que se han descrito anteriormente además de añadir el coste de otros elementos hidráulicos como válvulas de compuerta, ventosas, filtros, contadores y resto de accesorios. Esta valoración económica se ha realizado utilizando los precios establecidos por Aguas de Valencia.

En la Tabla 57 se detalla el coste total de las tuberías necesarias, desglosado en el precio de compra y el coste del montaje.

*Tabla 57: Coste de las tuberías.*

<b>TUBERÍAS</b>	
<b>COMPRA</b>	<b>INSTALACIÓN</b>
147.686,09 €	120.980,36 €
<b>COSTE TOTAL = 268.666,45 €</b>	

En la Tabla 58 se muestra el coste total de las VRP, discriminando entre el precio de adquisición y el coste de instalación.

*Tabla 58: Coste de las VRP.*

<b>VRP</b>	
<b>COMPRA</b>	<b>INSTALACIÓN</b>
8.770,11 €	718,85 €
<b>COSTE TOTAL = 9.488.96 €</b>	

Finalmente, las Tablas 59 y 60 presentan los costes de las bombas seleccionadas para las estaciones de bombeo del depósito Gemelo y del depósito Intermedio, respectivamente.

*Tabla 59: Coste de la bomba VSX 89/11F/4-21/E-15.*

<b>ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO GEMELO</b>		
<b>PRODUCTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO/UNIDAD</b>
VSX 89/11F/4-21/E-15	2	11.697,40 €
<b>COSTE TOTAL = 23.394,80 €</b>		

*Tabla 60: Coste del grupo de bombeo Hydro MPC-E 3 CRE5-4.*

<b>ESTACIÓN DE BOMBEO DEL DEPÓSITO INTERMEDIO</b>		
<b>PRODUCTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO/UNIDAD</b>
Hydro MPC-E 3 CRE5-4	1	24.523,00 €
<b>COSTE TOTAL = 24.523,00 €</b>		

## 10. CONCLUSIÓN.

El desdoblamiento de la red de abastecimiento de agua potable en la urbanización Los Monasterios es clave para garantizar un suministro eficiente, seguro y sostenible. Este proceso busca mejorar la calidad del servicio y optimizar la infraestructura para resolver problemas de capacidad, distribución y calidad del agua. A lo largo de este trabajo se han desarrollado diversas soluciones y alternativas, lo que ha llevado a una propuesta final optimizada que mejora el rendimiento de la red, considerando las condiciones del sistema actual. Sin embargo, hay algunos aspectos que se podrían haber realizado de otra manera o que debido a las restricciones que presentaba la red han generado ciertos problemas.

En el diseño final de la infraestructura de abastecimiento de agua potable, se pueden identificar dos aspectos clave. En primer lugar, la red en su conjunto está sobredimensionada en relación con las demandas actuales. En segundo lugar, los hidrantes de incendio no están conectados a una única red, sino que están distribuidos entre la red de riego y la red de agua potable.

El sobredimensionamiento de la red de agua potable se debe a que la urbanización Los Monasterios presenta hidrantes de incendio DN100 que supone implementar tuberías de diámetro 100 mm como mínimo y que sumado al bajo caudal que circula por estas nos causan velocidades muy bajas. Esto nos provoca problemas de calidad del agua ya que se pueden llegar a producirse estancamientos y a su vez una mínima deposición de sedimentos que a largo plazo causarían una reducción de diámetro en la tubería.

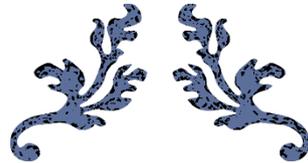
En cuanto a la distinta conexión de los hidrantes de incendio, se tiene que los de las zonas que son abastecidas por el bombeo del depósito Intermedio están conectados a la red de riego del depósito Superior mientras que el resto estarán conectados a la red de agua potable. Esto se debe a que si eran conectados a la red de agua potable condicionaban la estación de bombeo, haciendo que se necesitasen bombas de mayor capacidad. Sin embargo, esta red de bombeo de agua potable sigue empleando 100 mm como diámetro mínimo cuando se podrían emplear menores ya que no se tendría la condición de los hidrantes.

Estas características que presenta el diseño final de la red de agua potable de la urbanización Los Monasterios se podrían haber planteado de otra manera para evitarlas. Por ejemplo, una solución que evitaría el sobredimensionamiento de la red y la diferente conexión de los hidrantes sería el trazado de una red en paralelo exclusiva para el uso de estos. De esta manera, se podrían emplear diámetros menores y así presentar velocidades más elevadas. Otra opción podría ser diseñar otra estación de bombeo en el depósito Intermedio que únicamente se pondría en funcionamiento cuando se necesiten emplear los hidrantes de esas zonas. Sin embargo, no se deciden realizar estas opciones para evitar tener más tuberías en paralelo en las calles y ahorrar una estación de bombeo que se emplearía en escasos momentos.

Por lo tanto, para solventar el problema de tiempo de permanencia del agua en las tuberías que presenta el diseño final de la red de distribución de agua potable se pueden realizar planes de monitorización de calidad del agua y realizar sistemas de purgas para limpieza de calles o también cerrar ciertas válvulas de seccionamiento para obligar al agua seguir un camino y de esta manera que pase más caudal por estas para aumentar su velocidad.

## 11. REFERENCIAS.

- [1] Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory U.S. Environmental Protection Agency, 1993, Epanet, Versión 2.0.12 vE. Disponible en: <https://iiama.webs.upv.es/transferencia/software/epanet-2-00-12-esp/#descargas>
- [2] ITA - Universitat Politècnica de València, Allievi, Versión 3.0.0. Disponible en: <https://www.allievi.net/allievi-es.php>
- [3] “Planificación y Diseño de Redes de Distribución de Agua (PDRDA)”, Javier Martínez Solano, Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (MIHMA), Universitat Politècnica de València (UPV), curso 2023/2024.
- [4] “Planificación y Diseño de Redes de Distribución de Agua (PDRDA)”, Pedro Luis Iglesias Rey, Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (MIHMA), Universitat Politècnica de València (UPV), curso 2023/2024.
- [5] American School of Valencia (2024). Disponible en: <https://asvalencia.org/>
- [6] Catálogo No. VS-VG 50-60Hz 2092, VSX 89/11F/4-21/E-15, Bombas Ideal, Valencia, Esp.
- [7] Catálogo No. Grupo de presión, Hydro MPC-E 3 CRE5-4, Grundfos, Madrid, Esp.
- [8] Coelho, Bernardete and Andrade-Campos A. G., “A new approach for the prediction of speed-adjusted pump efficiency curves,” J. Hydraul. Res., vol. 54, pp. 586–593, 2016.
- [9] Catálogo No. WW\_700-SIGMA\_Engineering\_Spanish\_6-2020, 700 SIGMA EN, Bermad, Barcelona, Esp.
- [10] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (15, ene. 2020). Ley Circular 3/2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-1066>
- [11] Catálogo No. InfoTecica, Ventosas y purgadores, Irua, Galdakao, Esp.
- [12] Normas para redes de abastecimiento de Canal Isabel II, Área Normativa. Subdirección de Proyectos. Dirección de Innovación e Ingeniería, 2021. Disponible en: <https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/3964488/Norma+Redes+Abastecimiento+V4+2021.pdf>



---

**RELACIÓN DEL TFM CON LOS  
OBJETIVOS DE DESARROLLO  
SOSTENIBLE (ODS)**

---



## **1. INTRODUCCIÓN.**

El desdoblamiento de la red de abastecimiento de la urbanización Los Monasterios es un proyecto que puede analizarse desde la perspectiva de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Este proyecto tiene implicaciones significativas en la mejora de la calidad de vida, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo de infraestructuras. En los siguientes apartados, se detalla cómo el objetivo del trabajo de fin de máster (TFM) presenta diferentes grados de relación con determinados ODS.

## **2. GADO DE RELACIÓN ALTO.**

### **2.1 ODS 3: SALUD Y BIENESTAR.**

El ODS 3 busca garantizar una vida sana y promover el bienestar para todas las personas a todas las edades. El acceso a agua potable segura es un elemento esencial para prevenir enfermedades relacionadas con el agua, y este proyecto contribuye de manera significativa a este objetivo.

En primer lugar, la separación entre las redes de agua potable y riego permite que el agua de mejor calidad circule de manera independiente de la que se utiliza para usos secundarios. Esto asegura que el agua potable llegue a los usuarios en condiciones óptimas, más limpia y segura.

Además, esta infraestructura bien diseñada reduce la exposición a contaminantes externos, disminuyendo la probabilidad de enfermedades hídricas asociadas al consumo de agua contaminada. Esto tiene un impacto directo en la prevención de problemas de salud pública, como infecciones gastrointestinales y otras afecciones relacionadas con la calidad del agua.

### **2.2 ODS 6: AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO.**

El ODS 6 busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, y el desdoblamiento de la red de distribución de agua potable permite lograr este propósito. Este proyecto mejora la capacidad de manejar la demanda de manera más equilibrada, asegurando un acceso continuo y suficiente al agua potable para todos los habitantes de la urbanización, incluso en situaciones de alta demanda. Asimismo, al reducir las fugas y optimizar el uso del agua a través de una infraestructura más eficiente, se minimiza el desperdicio y se fomenta una gestión sostenible del recurso hídrico.

## **3. GADO DE RELACIÓN MEDIO.**

### **3.1 ODS 9: INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA.**

El ODS 9 promueve la construcción de infraestructuras resilientes, la industrialización sostenible y la innovación. El desdoblamiento de la red de distribución de agua potable se alinea con este objetivo al modernizar sistemas claves para el bienestar de la comunidad. El proyecto introducirá una infraestructura más eficiente, optimizando recursos y garantizando un servicio confiable. Además, incorpora innovaciones tecnológicas como monitoreo remoto y sensores para mejorar la gestión del agua y aumentar la sostenibilidad.

### **3.2 ODS 11: CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES.**

El ODS 11 busca hacer que las ciudades y comunidades sean inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, y este proyecto contribuye a este objetivo al mejorar la calidad de vida de los residentes. Una red eficiente reduce las interrupciones en el suministro, mejorando la experiencia diaria y aumentando el atractivo de la urbanización como lugar de residencia. Además, la optimización del sistema reduce las pérdidas de agua, aliviando la presión sobre los recursos hídricos locales y fomentando la sostenibilidad ambiental.

El proyecto también mejora la resiliencia de la comunidad al permitir aislar zonas específicas en caso de problemas técnicos, asegurando la continuidad del servicio en otras áreas. Esto fortalece la capacidad de la urbanización para enfrentar emergencias y responder a las necesidades actuales de manera equitativa y sostenible.

### **3.3 ODS 13: ACCIÓN POR EL CLIMA.**

El ODS 13 insta a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Aunque el desdoblamiento de una red de distribución de agua potable no parece estar directamente relacionado con el cambio climático, tiene importantes impactos indirectos que contribuyen a la lucha contra este fenómeno. En primer lugar, una red eficiente reduce la necesidad de bombeo innecesario, lo que disminuye el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando a mitigar el cambio climático.

## **4. CONCLUSIÓN.**

El proyecto de desdoblamiento de la red de distribución de agua potable en Los Monasterios es un claro ejemplo de cómo una iniciativa técnica puede contribuir de manera significativa a los ODS. Sus impactos abarcan desde la mejora de la calidad de vida y la salud (ODS 3 y 6), hasta el desarrollo de infraestructuras modernas (ODS 9), la creación de comunidades más habitables y sostenibles (ODS 11) y la mitigación y adaptación frente al cambio climático (ODS 13).

La fuerte conexión con los ODS 3 y 6 refleja cómo el acceso a agua potable limpia y segura está directamente vinculado al bienestar humano y la gestión sostenible de los recursos vitales. Por otro lado, las relaciones de grado medio con los ODS 9, 11 y 13 destacan las implicaciones del proyecto en la construcción de infraestructuras más eficientes, el desarrollo urbano sostenible y la acción climática.

En conclusión, el desdoblamiento de la red de abastecimiento de la urbanización Los Monasterios no solo responde a una necesidad funcional, sino que también se alinea con los principios de sostenibilidad, equidad y resiliencia promovidos por los ODS. De este modo, se convierte en un modelo de cómo las intervenciones locales pueden apoyar los objetivos internacionales de desarrollo sostenible.