



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

MODELADO, ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA RED DE AGUA POTABLE DE SINARCAS (VALENCIA)

AUTOR: EDGAR SANCHO MATEU

TUTOR: JAVIER SORIANO OLIVARES

Curso Académico: 2019-20

RESUMEN

Este trabajo consiste en desarrollar un modelo matemático de la red de agua potable de Sinarcas. Sinarcas es un municipio ubicado en la comarca de Requena-Utiel de 1200 habitantes, pero su consumo de agua viene condicionado por la demanda de las granjas y otros grandes consumidores.

Se elabora el modelo matemático en EPANET a partir de planos en AutoCAD proporcionados por el Ayuntamiento y planos topográficos obtenidos con el programa Global Mapper. Posteriormente se deberá asignar las distintas demandas a partir de las estimaciones de los técnicos del Ayuntamiento de Sinarcas y datos estadísticos.

Una vez cargado el modelo se van a realizar una serie de estudios, de los cuales se destacan la auditoría hídrica y la auditoría energética, con los que se evaluará el funcionamiento actual de la red para poder gestionar el suministro de agua, tratando de reducir las fugas de agua y el consumo de energía.

De forma complementaria al trabajo, se ha desarrollado un manual que permita generar el modelo matemático con QGIS para que se pueda reproducir el mismo proceso en futuros proyectos, ya que supone un ahorro de tiempo sustancial. Además, también se han generado unos programas con la herramienta Toolkit de EPANET que permiten simplificar y automatizar algunos procesos necesarios para estudiar el funcionamiento de la red.

Palabras clave: Agua; Energía; Abastecimiento de agua; Hidráulica a presión; EPANET; Toolkit de EPANET; Sinarcas

RESUM

Aquest treball consisteix a desenvolupar un model matemàtic de la xarxa d'aigua potable de Sinarcas. Sinarcas és un municipi situat a la comarca de Requena-Utiel de 1200 habitants, però el seu consum d'aigua ve condicionat per la demanda de les granges i uns altres grans consumidors.

S'elabora el model matemàtic en EPANET a partir de plans en AutoCAD proporcionats per l'Ajuntament i plans topogràfics obtinguts amb el programa Global Mapper. Posteriorment s'haurà d'assignar les diferents demandes a partir de les estimacions dels tècnics de l'Ajuntament de Sinarcas i dades estadístiques.

Una vegada carregat el model es realitzaran una sèrie d'estudis, dels quals es destaquen l'auditoria hídrica i l'auditoria energètica, amb els quals s'avaluarà el funcionament actual de la xarxa per a poder gestionar el subministrament d'aigua, tractant de reduir les fugides d'aigua i el consum d'energia.

De manera complementària al treball, s'ha desenvolupat un manual que permeta generar el model matemàtic amb QGIS per a què es pugui reproduir el mateix procés en futurs projectes, ja que suposa un estalvi de temps substancial. A més, també s'han generat uns programes amb l'eina Toolkit de EPANET que permeten simplificar i automatitzar alguns processos necessaris per a estudiar el funcionament de la xarxa.

Paraules clau: Aigua; Energia; Proveïment d'aigua; Hidràulica a pressió; EPANET; Toolkit de EPANET; Eficiència energètica; Sinarcas

ABSTRACT

This work consists on the development of a mathematical model for the drinking water network of Sinarcas, that is a village located in the region of Requena- Utiel. Sinarcas counts with roughly 1200 inhabitants. However, the water consumption of this network is conditioned by the demand of farms and other large consumers.

The mathematical model in EPANET was elaborated from AutoCAD drawings provided by the City Council and topographic maps obtained with the Global Mapper software. The different water demands were assigned based on the estimates of the Townhall technicians and statistical data.

Once the model is loaded, a series of studies were carried out. From them, the water and the energy audit stand out. The aim of these audits was to assess the current operation of the system in order to improve the its management, focusing in the reduction of water leaks and energy consumption.

As a result of the development of the mathematical model, it was developed a manual to generate the mathematical model with QGIS, which avoids the manual introduction of data and saves time. In addition, the toolkit of EPANET was used in order to simplify and automate some processes necessary to study the operation of the network.

Keywords: Water; Energy; Water supply; Pressurized hydraulics; EPANET; EPANET Toolkit; Energy efficiency; Sinarcas

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	OBJETIVOS	1
1.2.	ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	1
2	MARCO CONTEXTUAL.....	2
2.1	SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	2
2.2	RELIEVE.....	2
2.3	HIDROLOGÍA.....	4
2.4	CLIMATOLOGÍA.....	4
2.5	ESTUDIO DEMOGRÁFICO.....	5
2.6	EXPLOTACIÓN DEL SERVICIO	5
2.7	ESTUDIO SOCIOECONÓMICO DE LA POBLACIÓN	5
3	DESCRIPCIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO	6
3.1	GENERALIDADES.....	6
3.2	PUNTOS DE CAPTACIÓN	8
3.3	PUNTOS DE ALMACENAMIENTO	10
3.4	RED DE TUBERÍAS	13
4	ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.....	16
4.1	GENERACIÓN DEL ARCHIVO INP.....	16
4.2	INTRODUCCIÓN DE LAS COTAS DE LOS NUDOS Y LOS DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS.....	18
5	ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	22
5.1	CONTADOR GENERAL	22
5.2	ASIGNACIÓN DE CAUDALES.....	23
5.3	LOCALIZACIÓN Y ASIGNACIÓN DE LOS CAUDALES.....	31
5.4	ASIGNACIÓN DE FUGAS Y AJUSTE DE LA CURVA DE MODULACIÓN	33
5.5	AUDITORÍA HÍDRICA	39
5.5.1	AUDITORÍA HÍDRICA EN PERIODOS DE DEMANDA BAJA	39
5.5.2	AUDITORÍA HÍDRICA EN PERIODOS DE DEMANDA ALTA	42
5.6	INDICADORES DE FUGAS	44
6	ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED.....	46
6.1	ANÁLISIS DE LAS PRESIONES MÁXIMAS	46

6.2	ANÁLISIS DE LAS PRESIONES MÍNIMAS	47
6.3	ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS MÁXIMAS	49
7	DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	51
8	BALANCE ENERGÉTICO	55
8.1	AUDITORÍA ENERGÉTICA EN PERIODOS DE DEMANDA BAJA	56
8.2	AUDITORÍA ENERGÉTICA EN PERIODOS DE DEMANDA ALTA	58
9	PROPUESTAS DE MEJORA.....	60
9.1	PROPUESTAS DE MEJORA DEL MODELO MATEMÁTICO Y LOS DATOS DE PARTIDA.....	60
9.1.1	VERIFICACIÓN DE LOS DIÁMETROS DEL MODELO MATEMÁTICO	60
9.1.2	INSTALACIÓN DE CONTADORES EN LAS FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA	60
9.1.3	RENOVACIÓN E INSTALACIÓN DE CONTADORES EN LOS PUNTOS DE CONSUMO	60
9.1.4	INSTALACIÓN DE REGISTRADORES DE PRESIÓN	61
9.2	PROPUESTAS DE MEJORA DE GESTIÓN DE LA RED	61
9.2.1	CAMPAÑA DE REUCCIÓN DE FUGAS	61
9.2.2	MODIFICACIÓN DEL LAYOUT	68
9.2.2.1	CASO INICIAL	69
9.2.2.2	CASO 1: BOMBEO DIRECTO CON LA BOMBA ACTUAL Y ELIMINANDO DEPÓSITOS..	75
9.2.2.3	CASO 2: BOMBEO DIRECTO CON OTRA BOMBA Y ELIMINANDO LOS DEPÓSITOS....	77
9.2.2.4	CASO 3: BOMBEO DIRECTO CON DEPÓSITO DE COMPENSACIÓN	81
9.2.2.5	CASO 4: REBOMBEO A LA ZONA URBANA Y DEPÓSITO DE COMPENSACIÓN	87
10	RECOMENDACIONES AL AYUNTAMIENTO DE SINARCAS	94
11	CONCLUSIONES	95
12	ANEXOS	96
	ANEXO 1. MANUAL “GENERACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN EPANET CON EL PROGRAMA QGIS”	96
12.1.1	DATOS DE PARTIDA	97
12.1.2	DOCUMENTOS NECESARIOS.....	97
12.1.3	GENERACIÓN DEL MODELO	98
12.1.3.1	CONFIGURACIÓN GENERAL DE QGIS.....	98
12.1.3.2	INTRODUCCIÓN DE LOS NUDOS.....	100
12.1.3.3	INTRODUCCIÓN DE LAS CURVAS DE NIVEL	104

12.1.3.4	GENERACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO	109
12.1.3.5	ASIGNACIÓN DE LA COTA A LOS NUDOS.....	111
12.1.3.6	GENERACIÓN DEL ARCHIVO INP, PARTE NUDOS	114
12.1.3.7	ASIGNACIÓN DE LOS DIÁMETROS	119
12.1.3.8	GENERACIÓN DEL ARCHIVO INP, PARTE TUBERÍAS.....	123
12.2	ANEXO 2. CÓDIGOS DE TOOLKIT DE EPANET	126
12.2.1	ASIGNACIÓN DE DEMANDAS BASE	126
12.2.2	INTRODUCCIÓN DEL COEFICIENTE EMISOR Y LECTURA DE DATOS	134
12.2.3	DIAGNÓSTICO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA	139
12.3	PRESUPUESTOS.....	149
12.3.1	CONEXIÓN DIRECTA DEL POZO DE LA RELAMINA CON EL ANILLO PERIMETRAL.....	149
12.3.1.1	RESUMEN DE PRESUPUESTOS.....	150
12.3.1.2	MEDICIÓN Y PRESUPUESTO.....	151
12.3.1.3	PRECIOS DESCOMPUESTOS	153
13	REFERENCIAS	156

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización de Sinarcas (Google Maps).....	2
Ilustración 2. Selección de Sinarcas en Google Earth Pro	3
Ilustración 3. Curvas de nivel de Sinarcas obtenidas con Global Mapper	3
Ilustración 4. Temperaturas máximas y mínimas promedio (Weather Spark)	4
Ilustración 5. Precipitación de lluvia mensual promedio (Weather Spark).....	4
Ilustración 6. Evolución demográfica de Sinarcas (INE)	5
Ilustración 7. Red de abastecimiento de agua de Sinarcas (Visor Cartográfico Sinarcas)	6
Ilustración 8. Detalle de la zona urbana de la red (Visor Cartográfico Sinarcas)	7
Ilustración 9. Esquema de la red de abastecimiento	7
Ilustración 10. Niveles de un pozo	8
Ilustración 11. Curvas de la bomba del Pozo Relamina.....	9
Ilustración 12. Detalle la zona Relamina (Visor Cartográfico Sinarcas).....	9
Ilustración 13. Niveles de un depósito	11
Ilustración 14. Curvas de la bomba de rebombeo	11
Ilustración 15. Curvas de las bombas auxiliares	12
Ilustración 16. Redes auxiliares conectadas en paralelo.....	12
Ilustración 17. Propietarios de la red de suministro de agua potable	13
Ilustración 18. Porcentaje de longitudes de tuberías en función del diámetro y del material.....	14
Ilustración 19. Porcentaje de tuberías en función del diámetro y del material.....	15
Ilustración 20. Modo Vértices de EpaCAD (Manual EpaCad v1.0)	16
Ilustración 21. Modo Nodos de EpaCAD (Manual EpaCad v1.0).....	17
Ilustración 22. Ejemplo de una tubería a la cual no conectan el resto de las tuberías.....	17
Ilustración 23. Red errónea	17
Ilustración 24. Menús de asignación de datos de tuberías y diámetros.....	18
Ilustración 25. Coordenadas de los nudos en formato .CSV	19
Ilustración 26. Nudos insertados en QGIS.....	19
Ilustración 27. Curvas de nivel en QGIS.....	20
Ilustración 28. Nudos proyectados a la superficie	20
Ilustración 29. Tabla con las características de las polilíneas.....	21
Ilustración 30. Modelo matemático de la red de agua potable de Sinarcas.....	21

Ilustración 31. Datos del contador general de Sinarcas.....	22
Ilustración 32. Diagrama de caja y bigotes del volumen inyectado por hora.....	23
Ilustración 33. Patrón de demanda tipo de instalaciones deportivas.....	29
Ilustración 34. Patrón de demanda tipo de jardines.....	30
Ilustración 35. Localización de los consumidores.....	31
Ilustración 36. Clasificación de los caudales.....	33
Ilustración 37. Representación de una fuga como una descarga a la atmosfera.....	34
Ilustración 38. Comparativa entre simulación sin fugas y día tipo.....	36
Ilustración 39. Comparativa entre simulación con coeficiente emisor $k= 0,000528$ y día tipo.....	37
Ilustración 40. Comparativa entre simulación tras ajustar el patrón de demanda y día tipo.....	37
Ilustración 41. Patrón de demanda de los consumidores en invierno.....	38
Ilustración 42. Representación de la distribución de volúmenes tipo diarios del mes de enero.....	40
Ilustración 43. Curva de error de un contador (Evaluación del error global de medición de contadores domésticos nuevos, 2012).....	41
Ilustración 44. Representación de la distribución de volúmenes tipo diarios del mes de septiembre.....	43
Ilustración 45. Mapa de contorno con las presiones máximas de la red.....	46
Ilustración 46. Mapa de contorno con las presiones mínimas de la red.....	47
Ilustración 47. Evolución temporal en los puntos de consumo con presiones menores a 20 mca.....	48
Ilustración 48. Punto de consumo con la presión mínima de la red (Google Maps).....	48
Ilustración 49. Pérdidas unitarias en la zona urbana.....	49
Ilustración 50. Pérdidas unitarias en la red.....	50
Ilustración 51. Sistema ideal de agua a presión (Gómez Selles, 2016).....	51
Ilustración 52. Metodología propuesta por la Dra. Gómez (Gómez Selles, 2016).....	53
Ilustración 53. Sistema real de agua a presión (Gómez Selles, 2016).....	54
Ilustración 54. Balance de energías en enero.....	57
Ilustración 55. Balance de energías en septiembre.....	58
Ilustración 56. Redistribución de los volúmenes al disminuir las fugas enero.....	62
Ilustración 57. Redistribución de los volúmenes al disminuir las fugas septiembre.....	62
Ilustración 58. Representación de la auditoría energética en enero tras reducir las fugas.....	63
Ilustración 59. Comparativa de consumos energéticos en enero.....	64
Ilustración 60. Representación de la auditoría energética en septiembre tras reducir las fugas.....	65

Ilustración 61. Comparativa de consumos energéticos en septiembre	65
Ilustración 62. Geófono DXMIC (Grupo Mejoras)	66
Ilustración 63. Prelocalizador de fugas (Grupo Mejoras).....	67
Ilustración 64. Datalogger (Grupo Mejoras).....	67
Ilustración 65. Tuberías actual y nueva	68
Ilustración 66. Esquema de la red de abastecimiento	69
Ilustración 67. Niveles de los depósitos caso inicial (demanda alta)	70
Ilustración 68. Distribución de presiones máximas (demanda alta)	71
Ilustración 69. Distribución de presiones mínimas (demanda alta).....	71
Ilustración 70. Niveles de los depósitos caso inicial (demanda baja)	72
Ilustración 71. Distribución de presiones máximas (demanda baja)	73
Ilustración 72. Distribución de presiones mínimas (demanda baja).....	73
Ilustración 73. Evolución de los depósitos caso inicial con sequía.....	74
Ilustración 74. Esquema de la instalación con bombeo directo.....	75
Ilustración 75. Evolución de los depósitos caso 1	75
Ilustración 76. Presiones máximas caso 1	76
Ilustración 77. Product Center (Grundfos)	77
Ilustración 78. Curvas de la bomba caso 2	77
Ilustración 79. Evolución de los depósitos caso 2 demanda alta	78
Ilustración 80. Presiones máximas del caso 2	78
Ilustración 81. Inicio de las presiones negativas	79
Ilustración 82. Presiones máximas forzando la bomba.....	80
Ilustración 83. Esquema de la instalación con depósito de compensación	81
Ilustración 84. Presiones máximas en caso de sequía abasteciendo por la bomba SP 46-23 - 15A20323	81
Ilustración 85. Evolución de los depósitos caso 3 en periodos de sequía con la bomba	82
Ilustración 86. Presiones mínimas de la red caso 3.....	82
Ilustración 87. Curvas de la bomba SP 60-22 - 14A00322.....	83
Ilustración 88. Evolución de los depósitos del caso 3 con la bomba SP 60-22 - 14A00322 con sequía	83
Ilustración 89. Evolución de los depósitos caso 3 con demanda alta	84
Ilustración 90. Presiones máximas del caso 4	85

Ilustración 91. Evolución de las presiones de los nudos con mayor presión caso 3 con demanda alta	85
Ilustración 92. Presiones mínimas caso 3 demanda alta	86
Ilustración 93. Esquema de la red del caso 4	87
Ilustración 94. Curvas de la bomba caso 4 zona Concejil	88
Ilustración 95. Curvas de la bomba caso 4 zona sur oeste.....	88
Ilustración 96. Evolución de los depósitos caso 5 (demanda alta).....	89
Ilustración 97. Presiones máximas caso 5 (demanda alta)	89
Ilustración 98. Presiones mínimas caso 5 (demanda alta)	90
Ilustración 99. Evolución de las presiones de los nudos con mayor presión caso 5 (demanda alta) ...	90
Ilustración 100. Evolución de los depósitos caso 5 (demanda baja).....	91
Ilustración 101. Presiones máximas caso 5 (demanda baja).....	92
Ilustración 102. Presiones mínimas caso 5 (demanda baja)	92
Ilustración 103. Coordenadas de los nudos en el archivo INP	97
Ilustración 104. Coordenadas de los nudos en Excel	98
Ilustración 105. Acceso al menú de propiedades de QGIS.....	98
Ilustración 106. Obtención del sistema de referencia UTM en Google Earth Pro	99
Ilustración 107. Selección del sistema de coordenadas del proyecto	99
Ilustración 108. Inserción del mapamundi.....	100
Ilustración 109. Acceso la ventana de introducción de coordenadas.....	100
Ilustración 110. Ventana de introducción de nudos A.....	101
Ilustración 111. Ventana de introducción de nudos B	101
Ilustración 112. Modificación del formato del archivo CSV	102
Ilustración 113. Definición geométrica de los nudos	102
Ilustración 114. Zoom al área de trabajo	103
Ilustración 115. Verificación de la ubicación de los nodos	103
Ilustración 116. Archivo DXF original obtenido con Global Mapper	104
Ilustración 117. Selección de todas las curvas de nivel.....	104
Ilustración 118. Copiado de las curvas de nivel	105
Ilustración 119. Pegado de las curvas de nivel en las coordenadas originales	105
Ilustración 120. Planta de las curvas de nivel.....	106
Ilustración 121. Alzado de las curvas de nivel	106

Ilustración 122. Acceso a la ventana de introducción de las curvas de nivel	107
Ilustración 123. Ventana de introducción de las curvas de nivel	107
Ilustración 124. Asignación del sistema de referencia de la capa de las curvas de nivel	108
Ilustración 125. Verificación de las curvas de nivel en el área de trabajo	108
Ilustración 126. Acceso al menú Caja de herramientas	109
Ilustración 127. Acceso a la interpolación TIN de la caja de herramientas.....	109
Ilustración 128. Selección de la extensión de la superficie	109
Ilustración 129. Ventana de configuración de la interpolación TIN	110
Ilustración 130. Acceso al menú Administrar e instalar complementos.....	111
Ilustración 131. Búsqueda e instalación del complemento Point sampling tool	111
Ilustración 132. Acceso al menú Point Samplig Tool.....	112
Ilustración 133. Configuración de Point Sampling Tool	112
Ilustración 134. Acceso a la tabla de atributos de los nudos	113
Ilustración 135. Tabla de atributos de los nudos	113
Ilustración 136. Acceso al menú de exportación de la hoja de cálculo.....	114
Ilustración 137. Configuración de los parámetros para exportar la hoja de cálculo	114
Ilustración 138. Comprobación de nudos fuera de la superficie	115
Ilustración 139. Identificación de los nudos asignada por EPANET	115
Ilustración 140. Valores asignados a los puntos fuera de la superficie.....	116
Ilustración 141. Selección del archivo INP en el bloc de notas	117
Ilustración 142. Archivo INP en Excel	117
Ilustración 143. Inserción de las cotas obtenidas en QGIS	118
Ilustración 144. Generación del nuevo archivo INP	118
Ilustración 145. Acceso al menú de exportar planos en formato DXF	119
Ilustración 146. Menú de exportar planos en formato DXF.....	119
Ilustración 147. Propiedades de las polilíneas recomendado.....	120
Ilustración 148. Generación de las diferentes capas en función del diámetro interior de las tuberías	120
Ilustración 149. Tuberías insertadas en QGIS.....	121
Ilustración 150. Tabla de atributos de las tuberías y ubicación de la calculadora de campos	121
Ilustración 151. Configuración de la Calculadora de campos para obtener el ID de las tuberías.....	122

Ilustración 152. Configuración de la Calculadora de campos para obtener el ID de las tuberías.....	122
Ilustración 153. Tabla de atributos de las tuberías ordenadas por IDs.....	123
Ilustración 154. Comprobación de la correspondencia de las tuberías en ambos programas	123
Ilustración 155. Asignación de los diámetros al documento INP.....	124
Ilustración 156. Modelo matemático en EPANET generado con QGIS	125
Ilustración 157. Sección de zanja (UNE-EN 805:2000)	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tuberías de la red de agua potable	14
Tabla 2. Dotación por usuario de las comunidades autónomas (INE, 2018)	24
Tabla 3. Grandes consumidores	25
Tabla 4. Puntos de consumo sin contador	26
Tabla 5. Caudales instantáneos mínimos (CTE DB HS4 tabla 2.1)	28
Tabla 6. Dotación para limpieza y jardines (Cursos Agua ITA UPV)	30
Tabla 7. Consumo medio horario por mes	35
Tabla 8. Demanda horaria de la red en periodos de demanda baja	36
Tabla 9. Demandas, consumos y fugas en periodos de demanda baja	39
Tabla 10. Distribución de volúmenes tipo diarios del mes de enero	40
Tabla 11. Demandas, consumos y fugas en periodos de demanda alta	42
Tabla 12. Distribución de volúmenes tipo diarios del mes de septiembre	42
Tabla 13. Valores del IFE en países en desarrollo y en vías de desarrollo (Liemberger & McKenzie, 2005)	45
Tabla 14. Resultados del diagnóstico energético	53
Tabla 15. Resultados de la auditoría energética en periodos de demanda baja	56
Tabla 16. Resultados de la auditoría energética en periodos de demanda alta	58
Tabla 17. Auditoría energética tras reducir las fugas en enero	63
Tabla 18. Auditoría energética tras reducir las fugas en septiembre	64
Tabla 19. Informe energético caso inicial (demanda alta)	70
Tabla 20. Informe energético caso inicial (demanda baja)	72
Tabla 21. Consumos energéticos caso inicial con sequía	74
Tabla 22. Informe energético caso 1	76
Tabla 23. Informe energético caso 2 demanda alta	79
Tabla 24. Consumos energéticos caso bombeo directo con sequía	84
Tabla 25. Informe energético caso 3 demanda alta	86
Tabla 26. Informe energético caso 5 (demanda alta)	91
Tabla 27. Informe energético caso 5 (demanda baja)	93

1 INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua ha sido a lo largo de la historia una de las principales preocupaciones del ser humano. En pleno siglo XXI el ser humano está cogiendo conciencia medio ambiental. Juntamente al aumento de los precios de la energía se ve obligado a optimizar el uso de esta. El uso de la energía en redes de agua no es una excepción.

Durante el siglo XX las obras hidráulicas estaban centradas en la reducción de costes de instalación y a la robustez del sistema frente cortes de suministro eléctrico. Con la mejora de la tecnología y unas redes eléctricas más fiables, este diseño de redes de agua ha quedado obsoleto. Estas instalaciones suelen tener unas estaciones de bombeo sobredimensionadas y unas presiones en los puntos de consumo por encima de la presión mínima requerida. Esto supone un consumo de energía, y por tanto de emisiones de CO₂, mayor del necesario para abastecer a toda la población.

La revisión de las instalaciones hidráulicas ya existentes y la gestión eficiente de estas supone un avance de cara a un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente y los recursos naturales del planeta.

1.1. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto es la realización de diferentes estudios de la red de agua potable de Sinarcas. Una vez conocido el estado actual de la instalación se propondrán medidas de mejora que permitan abastecer a la población de Sinarcas la misma calidad de servicio a un menor coste. Es decir, mejorar la eficiencia de la red.

Con estas medidas de mejora se pretende:

- Disminuir el volumen de agua fugado.
- Disminuir el consumo de energía.
- Reducir las tensiones en las tuberías y prolongar su vida útil.

1.2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El procedimiento a seguir para la elaboración de este proyecto se detalla a continuación:

- Estudio de la zona.
- Recopilación de información.
- Elaboración/adaptación de los planos de la red de agua a presión.
- Creación del modelo matemático en EPANET.
- Elaboración de distintos estudios que permitan conocer el comportamiento de la red.
- Propuestas de mejora.

2 MARCO CONTEXTUAL

Con el fin de poder caracterizar de forma adecuada la red, se requiere conocer el entorno de la localidad, así como otros datos que puedan definir o modificar los patrones de comportamiento de la red de suministro de agua.

2.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El proyecto se realiza en Sinarcas. El municipio pertenece a la provincia de Valencia en la comarca de Utiel-Requena. Según la página web del Ayuntamiento de Sinarcas posee una superficie de 102,7 km² a una altitud de 900 m sobre el nivel del mar.



Ilustración 1. Localización de Sinarcas (Google Maps)

2.2 RELIEVE

Sinarcas tiene grandes variaciones de altitud. En un área delimitada por una circunferencia de 3 km de radio se detectan desniveles de unos 200 m. por ese motivo es importante conocer el perfil de la red de suministro de agua. Se va a realizar mediante la obtención de las curvas de nivel.

La obtención de las curvas de nivel se ha procedido de la siguiente forma:

En primer lugar, se ha localizado Sinarcas en Google Earth Pro. Una vez identificado se ha generado un “polígono” que engloba la geometría del municipio, cabe destacar que no es extremadamente importante la precisión del polígono, ya que las curvas de nivel se van a representar tanto dentro como fuera de la geometría.



Ilustración 2. Selección de Sinarcas en Google Earth Pro

El polígono generado se guarda en la extensión .KMZ para poder generar las curvas de nivel en el programa Global Mapper.

Tras unos ajustes del programa Global Mapper se pueden obtener las curvas de nivel. Las curvas de nivel obtenidas se pueden exportar a AutoCAD.

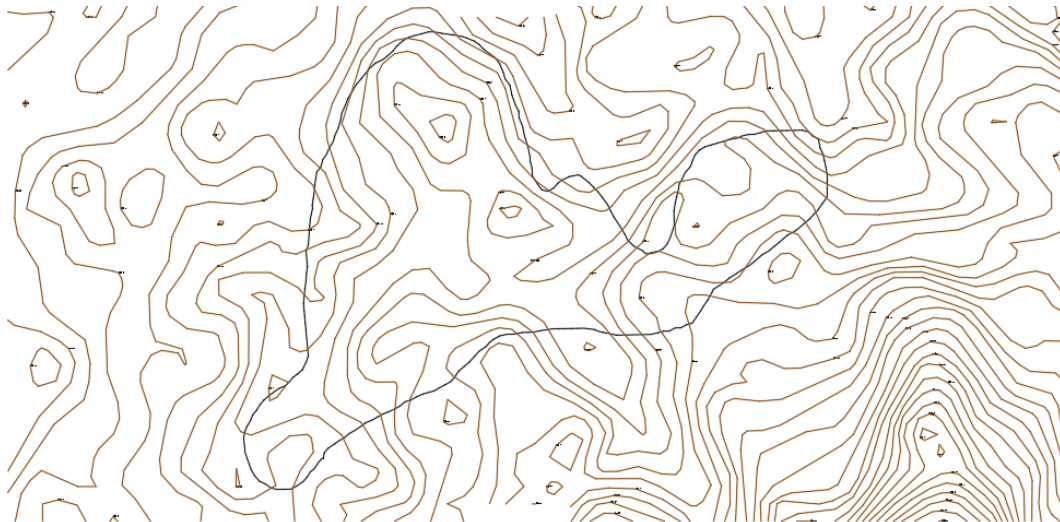


Ilustración 3. Curvas de nivel de Sinarcas obtenidas con Global Mapper

Se comprueba la compatibilidad de las curvas de nivel con los datos que se dispone con el fin de verificar el perfil. Los parámetros contrastados son, la cota representativa del pueblo y desniveles que puedan apreciarse en Google Earth Pro.

2.3 HIDROLOGÍA

Sinarcas se encuentra a unos 10 km del embalse de Benagéber. Este embalse se encuentra en el cauce del río Turia. El río Turia está gestionado por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHF en adelante). La red fluvial de la CHF está caracterizada por periodos de sequía en verano y un aumento de los caudales en otoño. Este comportamiento puede afectar a los niveles de los puntos de captación de la red de agua de Sinarcas.

2.4 CLIMATOLOGÍA

El clima en Sinarcas a lo largo del año está marcado en dos periodos y sus transiciones. Un periodo estival de unos tres meses con una temperatura máxima promedio mayor de 26°C y un periodo invernal con mucho viento y unas temperaturas mínimas promedio menores de 10°C.

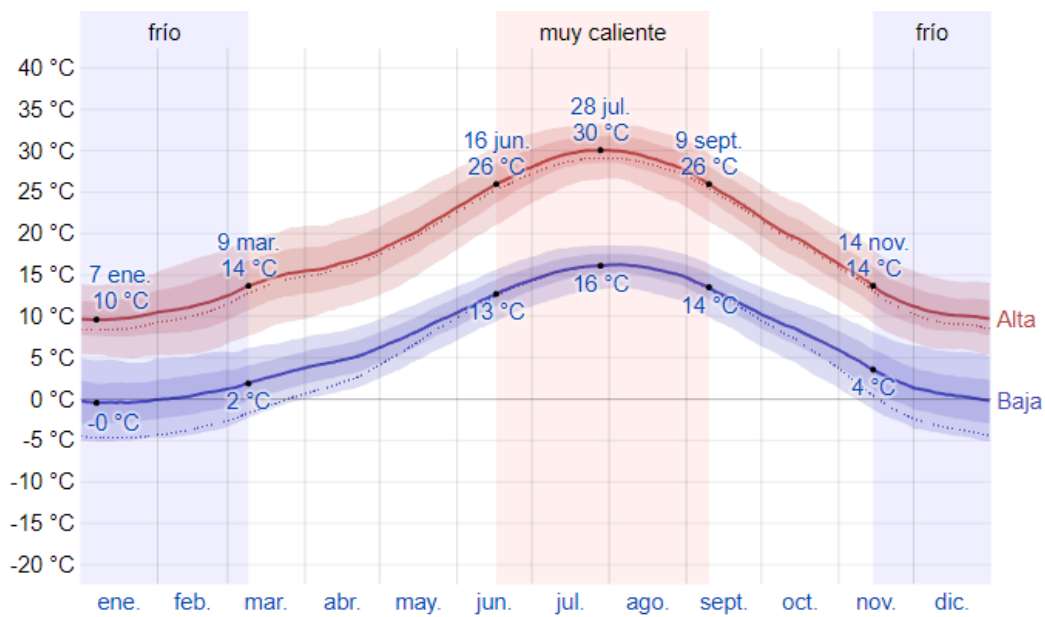


Ilustración 4. Temperaturas máximas y mínimas promedio (Weather Spark)

En cuanto a las precipitaciones Sinarcas tiene un periodo seco durante los meses de julio y agosto, y 2 periodos de lluvia ubicados en los meses de mayo y octubre.

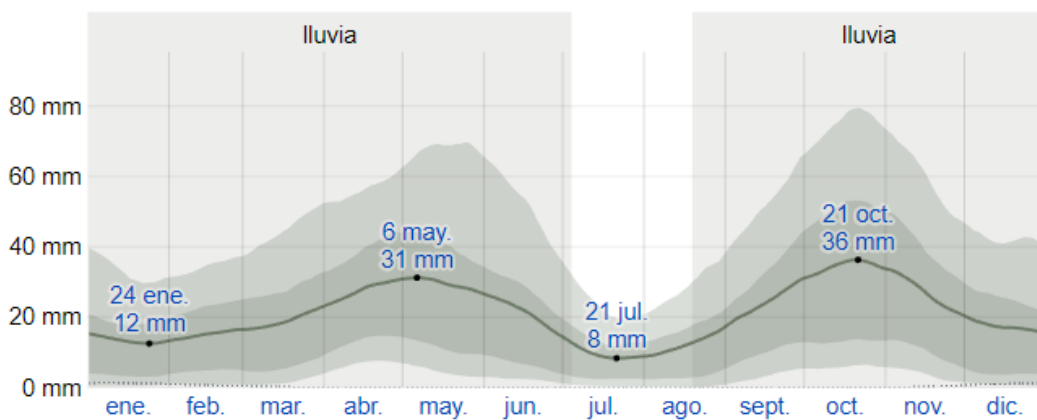


Ilustración 5. Precipitación de lluvia mensual promedio (Weather Spark)

2.5 ESTUDIO DEMOGRÁFICO

Con el fin de poder determinar un posible crecimiento en las demandas de agua potable se procede a realizar un pequeño estudio demográfico. Para ello se extrae la evolución de la población de Sinarcas del Instituto Nacional de Estadística.

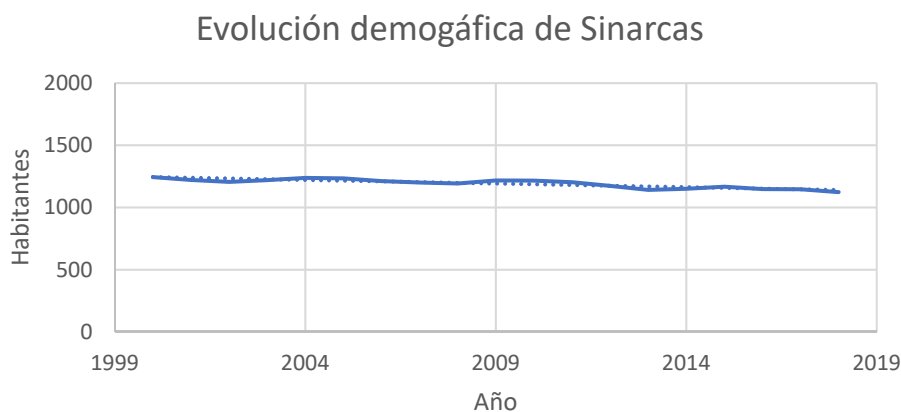


Ilustración 6. Evolución demográfica de Sinarcas (INE)

Se puede observar un descenso de la población de Sinarcas. Por tanto, no tiene sentido estudiar la posibilidad de un aumento de la demanda actual salvo en la ampliación de las granjas y campos de regadío.

2.6 EXPLOTACIÓN DEL SERVICIO

La explotación del servicio la realiza el mismo Ayuntamiento. El Ayuntamiento se encarga de gestionar la red, realizar tareas de mantenimiento, la cloración, la comercialización del agua a los usuarios finales y la gestión del agua residual. Cabe destacar que el Ayuntamiento de Sinarcas tiene experiencia en la comercialización de recursos, ya que dispone de una empresa municipal para la distribución y comercialización de la energía eléctrica.

2.7 ESTUDIO SOCIOECONÓMICO DE LA POBLACIÓN

Se realiza un breve estudio socioeconómico con el fin de poder detectar grandes consumidores de agua y unas conductas que puedan definir los posibles patrones de demanda de los ciudadanos.

Contrastando Wikipedia y la web del Ayuntamiento de Sinarcas se ha obtenido la siguiente información.

La población de Sinarcas se dedica mayoritariamente a la agricultura y a la ganadería. De los 103,55 km² del término municipal se dedican entre el 20% y el 25% a la producción de vid y cereales. En los últimos años ha descendido el terreno destinado al cultivo de vid para dedicarse al cultivo de cereal. En los años 70 se transformaron 103 hectáreas de secano a regadío.

Respecto a la ganadería disponen de dos métodos de explotación, intensiva y extensiva. La ganadería intensiva es la que se desarrolla en granjas. Estas granjas se dedican principalmente a la cría de pollos y gallinas y a la producción de huevos. También hay granjas dedicadas al ganado porcino. Estas granjas requieren suministro de agua potable. La ganadería extensiva la desarrollan pastores de forma tradicional.

3 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO

3.1 GENERALIDADES

En este apartado se va a describir la red de abastecimiento de agua potable de Sinarcas y los distintos elementos que la componen. La red consta de tres puntos de captación, cuatro depósitos de acumulación, una bomba en cada pozo y una estación de rebombéo que bombea el agua del depósito del Concejil a los depósitos Viejo y Nuevo (ver Ilustración 7, Ilustración 8 e Ilustración 9). Además, dispone de otro grupo de bombeo que permite abastecer agua a las granjas de la zona norte en periodos de mayor demanda. La red no está sectorizada ni tiene regulación de la presión.

La red de agua de Sinarcas tiene la peculiaridad que distribuye agua a las diferentes granjas que hay en la localidad. De esta forma la red tiene una zona reducida con una densidad de tuberías mayor en la parte del municipio y una gran extensión de tuberías ramificadas que alimentan a los diseminados. Por último, hay que añadir que algunas de las tuberías de la red pertenecen a los propios consumidores. Estas tuberías están representadas por líneas discontinuas en la Ilustración 7 y la Ilustración 8.



Ilustración 7. Red de abastecimiento de agua de Sinarcas (Visor Cartográfico Sinarcas)

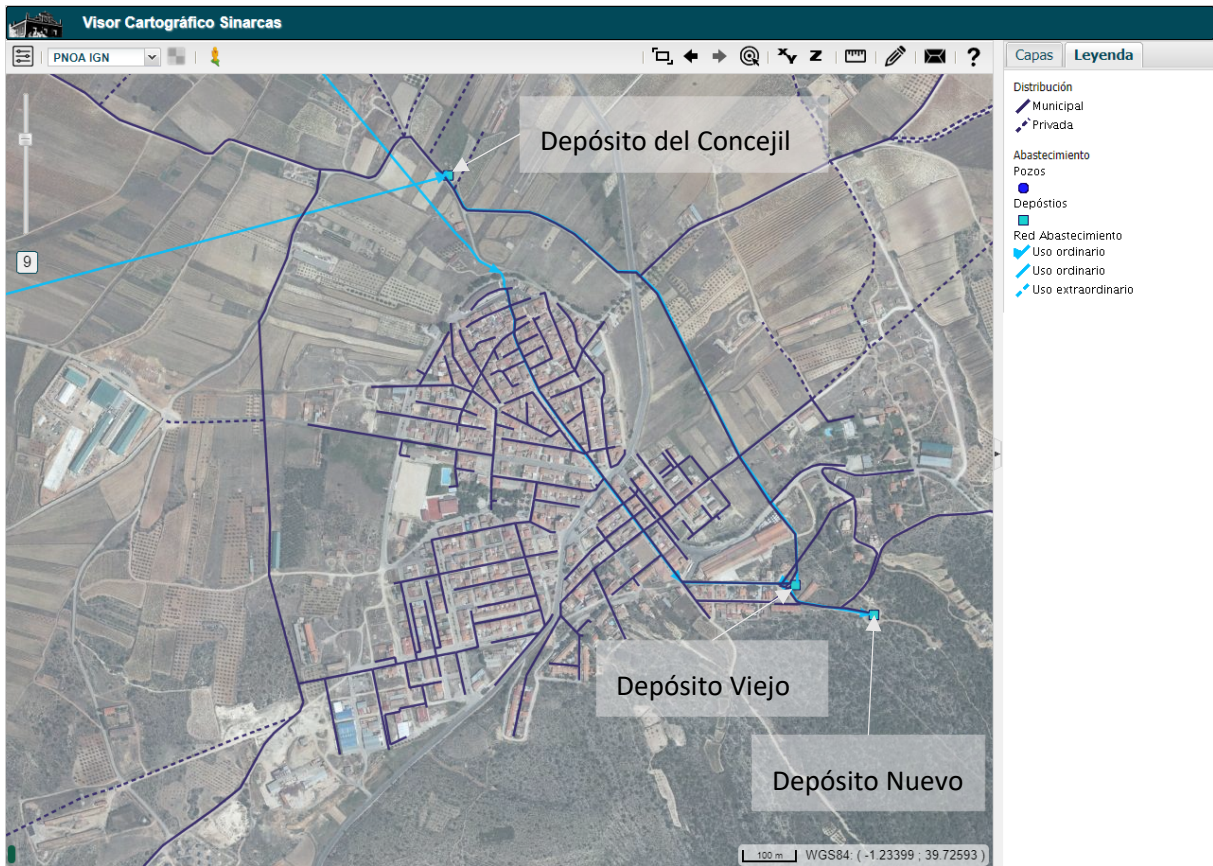


Ilustración 8. Detalle de la zona urbana de la red (Visor Cartográfico Sinarcas)

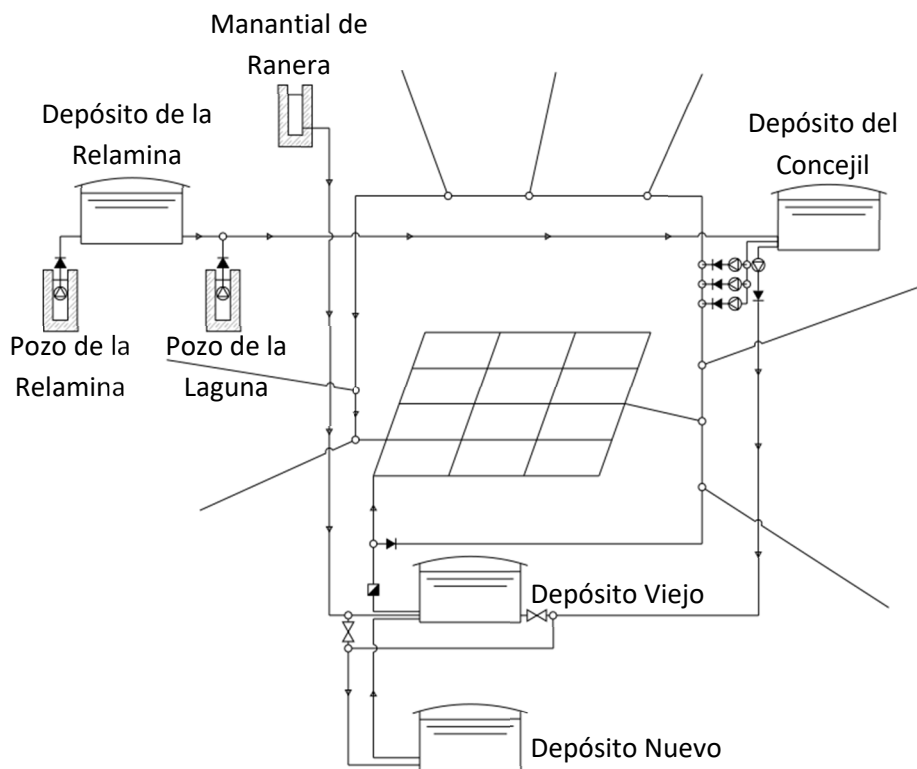


Ilustración 9. Esquema de la red de abastecimiento

3.2 PUNTOS DE CAPTACIÓN

La red de abastecimiento de agua tiene 3 puntos de captación dos de ellos se encuentran en la zona oeste, conocida en Sinarcas como la Relamina. Uno de estos pozos, el pozo de la Laguna, pertenece a una comunidad de regantes y solo se usa en periodos puntuales en los cuales el Ayuntamiento de Sinarcas compra el agua.

El tercer punto de captación, el manantial de Ranera, se encuentra fuera de la localidad y el agua fluye por gravedad. El caudal máximo del manantial es de 8 l/s, de los cuales el 25% se consume en otro municipio (Casillas de Ranera). Este punto de captación alimenta al depósito Viejo. Tiene la opción de alimentar también al depósito nuevo, pero actualmente esa tubería se encuentra cerrada. Ambos depósitos están ubicados en la zona sud este del municipio.

Los puntos de captación tienen las siguientes características:

- Pozo de la Relamina (sondeo realizado en 2006).
 - o Cota terreno: 879.
 - o Profundidad: 174 m.
 - o Nivel estático del agua: 117 m.
 - o Profundidad de la bomba: 144 m.
 - o Caudal: 75 l/s.
- Pozo de la Laguna (sondeo realizado en 2008).
 - o Cota terreno: 849.
 - o Profundidad: 140 m.
 - o Nivel estático del agua: 82,63 m.
 - o Profundidad de la bomba: 120 m.
 - o Caudal declarado: 75 l/s.
- Manantial de Ranera.
 - o Cota terreno: 981 m.

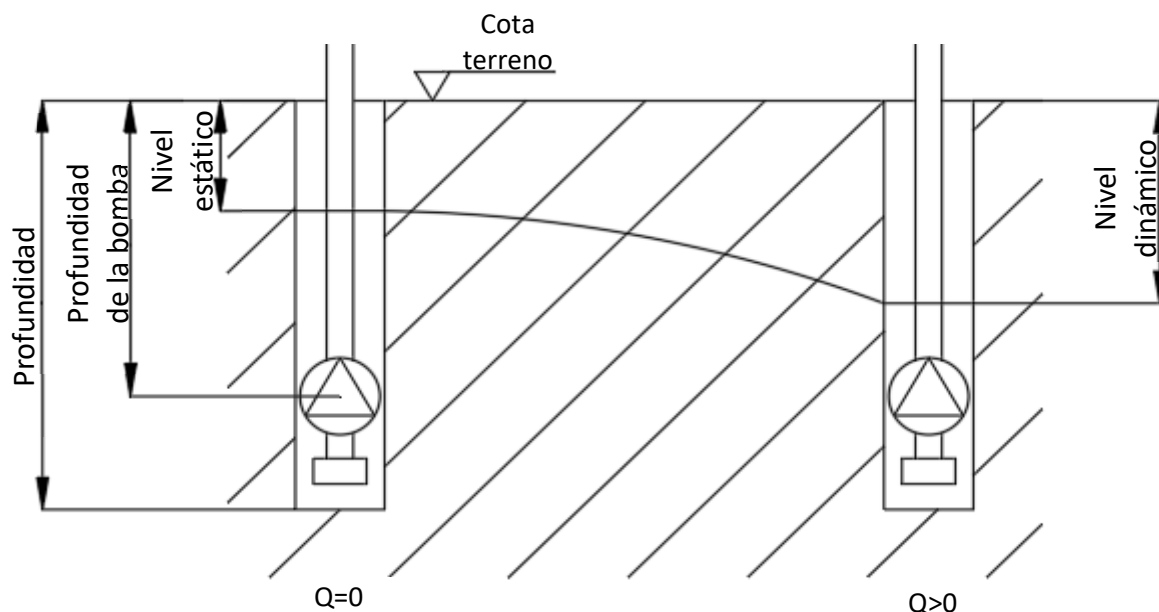


Ilustración 10. Niveles de un pozo

No se dispone el nivel dinámico de ningún pozo. Tampoco se disponen datos del manantial Ranera ni los resultados de ensayos de aforo de los pozos por tanto se van a simular con el nivel estático ya que es el valor más fiable que se dispone.

Las curvas características de la bomba del pozo Relamina son las siguientes.

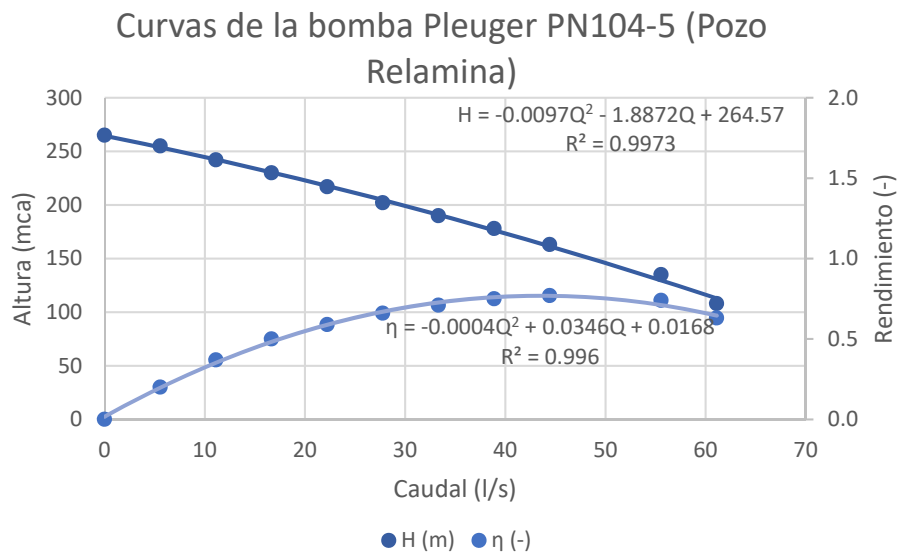


Ilustración 11. Curvas de la bomba del Pozo Relamina

Por último, se añade un plano de detalle de la zona de la Relamina para poder distinguir la distribución de los pozos y el depósito.

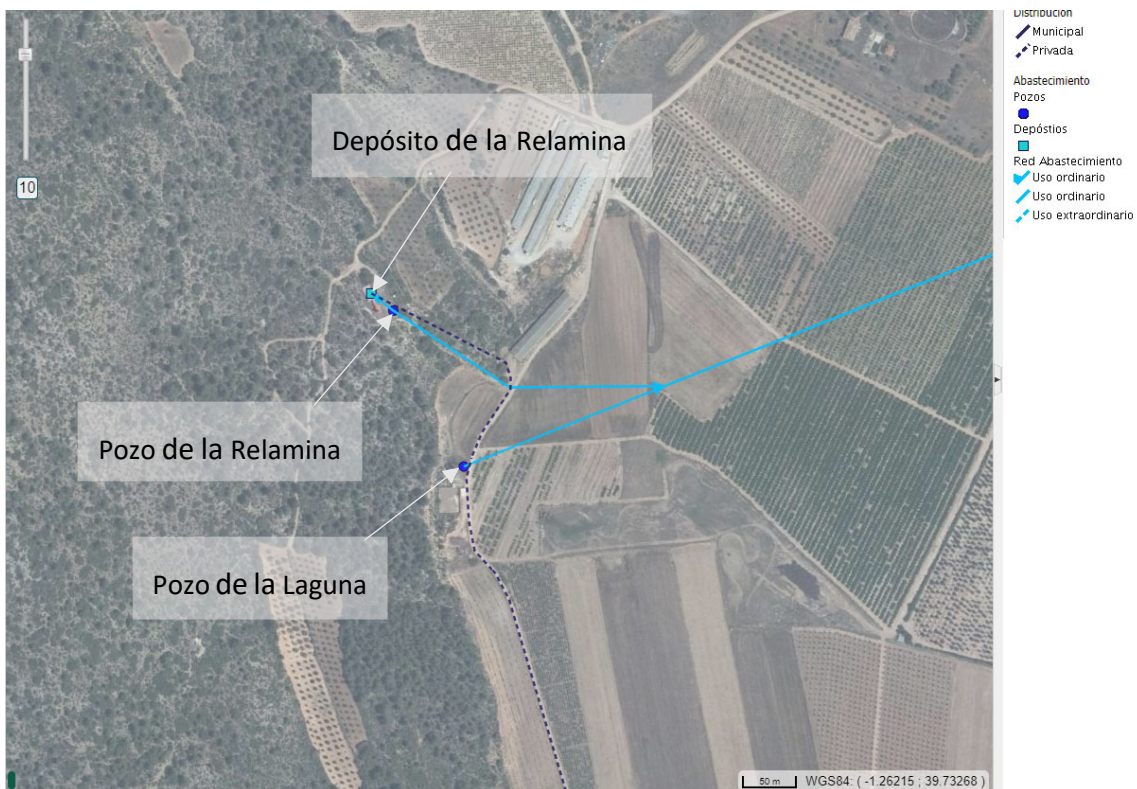


Ilustración 12. Detalle la zona Relamina (Visor Cartográfico Sinarcas)

3.3 PUNTOS DE ALMACENAMIENTO

Como se ha comentado con anterioridad, Sinarcas dispone de cuatro puntos de almacenamiento. Estos puntos de almacenamiento son el depósito de la Relamina, el depósito del Concejil, el depósito Viejo y el depósito Nuevo.

El depósito de la Relamina se encuentra al oeste de la localidad. Este es alimentado por el pozo de la Relamina. El depósito de la Relamina distribuye agua a una granja situada en el sur oeste y al depósito del Concejil.

El depósito del Concejil se encuentra al norte del municipio. Recibe agua del pozo y del depósito de la Relamina. Aguas abajo del depósito Concejil hay un par de grupos de bombeo que se utilizan para alimentar al depósito Viejo y suministrar agua a las granjas del norte y del este del municipio.

El depósito Viejo está localizado en sudeste de Sinarcas. Se alimenta del manantial Ranera y del depósito Concejil con la ayuda del grupo de bombeo. El depósito viejo es el que dispone más tuberías que abastecen agua a la población.

El depósito Nuevo está ubicado en la misma zona que el depósito Viejo. El agua que lo abastece proviene del manantial Ranera. Con este depósito se alimenta los puntos de consumo con mayor cota de la población.

Los cuatro depósitos se caracterizan de la siguiente forma:

- Depósito de la Relamina.
 - Cota Solera: 885 m.
 - Capacidad: 250 m³.
 - Nivel mínimo: 0,5 m.
 - Nivel máximo: 4 m.
 - Superficie: 62,5 m². → diámetro equivalente = 8,92 m.

- Depósito del Concejil.
 - Cota Solera: 864 m.
 - Capacidad: 300 m³.
 - Nivel mínimo: 0,5 m.
 - Nivel máximo: 4 m.
 - Superficie: 75 m². → diámetro equivalente = 9,77 m.

- Depósito Viejo.
 - Cota Solera: 912 m.
 - Capacidad: 250 m³.
 - Nivel mínimo: 0,5 m.
 - Nivel máximo: 4 m.
 - Superficie: 62,5 m². → diámetro equivalente = 8,92 m.

- Depósito Nuevo.
 - o Cota Solera: 922 m.
 - o Capacidad: 500 m³.
 - o Nivel mínimo: 0,5 m.
 - o Nivel máximo: 4 m.
 - o Superficie: 125 m². → diámetro equivalente =12,6 m.

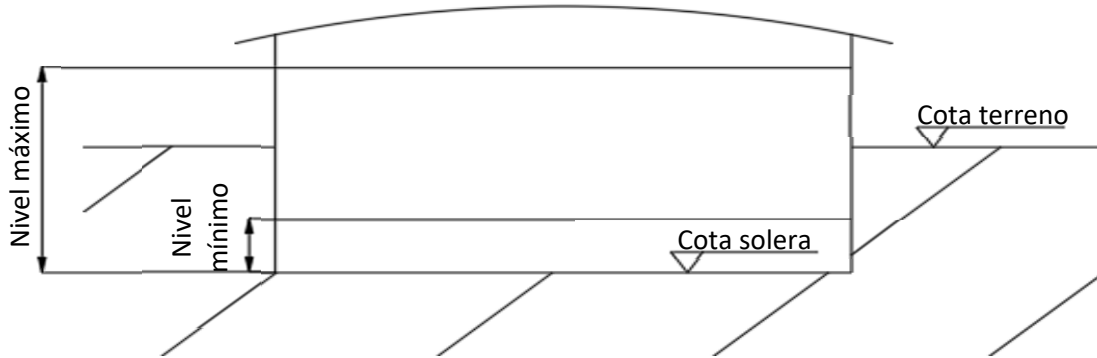


Ilustración 13. Niveles de un depósito

En el depósito Concejil se encuentran instaladas una serie de bombas. Las principales son dos bombas gemelas (por motivos de fiabilidad hay dos, pero nunca trabajan de forma conjunta) que bombean el agua a los depósitos Viejo y Nuevo, cuyas curvas características corresponden con la siguiente gráfica.

Curvas de la bomba P7L/3/24/7A

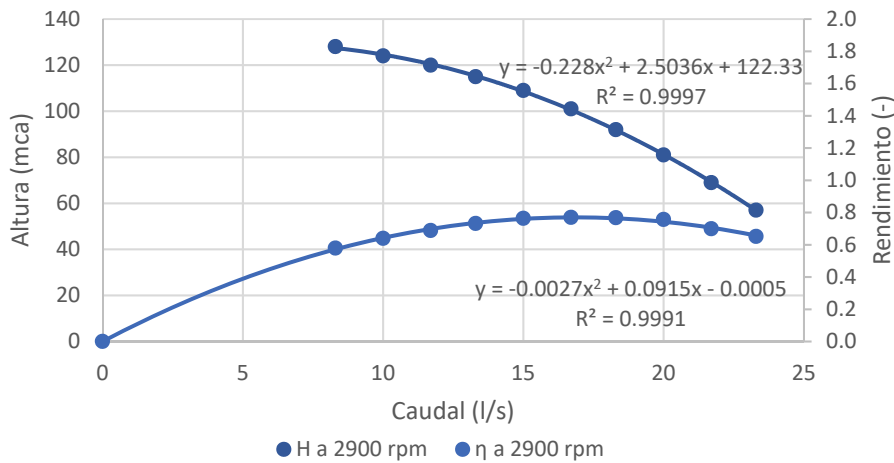


Ilustración 14. Curvas de la bomba de rebombeo

Además de las bombas que bombean el agua a los depósitos Viejo y Nuevo, existe un grupo de tres bombas en paralelo cuya misión es inyectar agua a la red sin tener que pasar por los depósitos Nuevo y Viejo. Estas bombas están conectas al anillo de tuberías que queda por la parte exterior de la población desde el cual se abastece a las granjas. Únicamente se conectan en periodos de demanda muy alta, normalmente no se recurre a ellas. A continuación, se muestran las curvas características de las bombas y su funcionamiento en paralelo.

Curvas de la bomba IR32-200NA

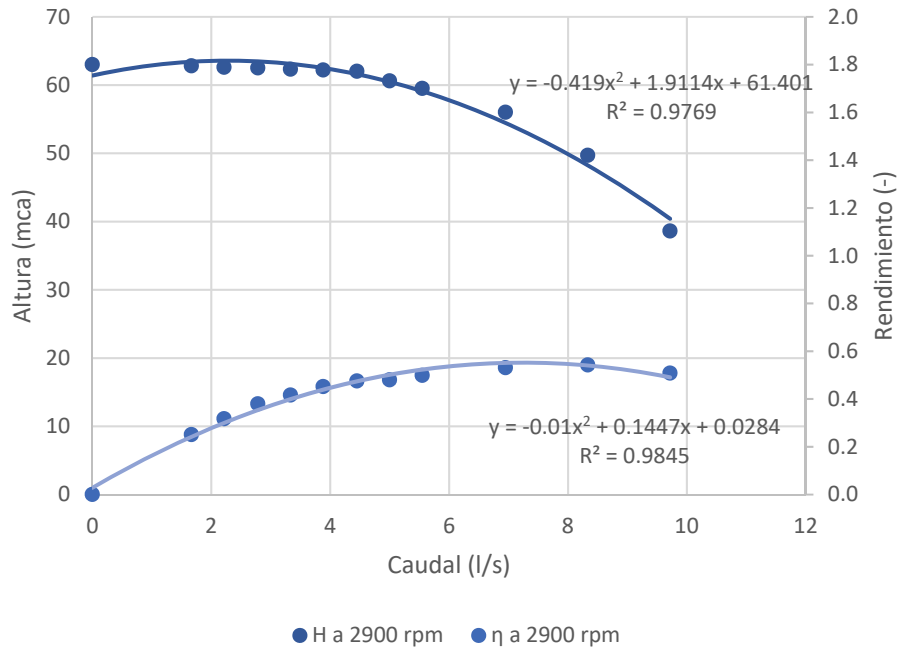


Ilustración 15. Curvas de las bombas auxiliares

Curvas de la bomba IR32-200NA en paralelo

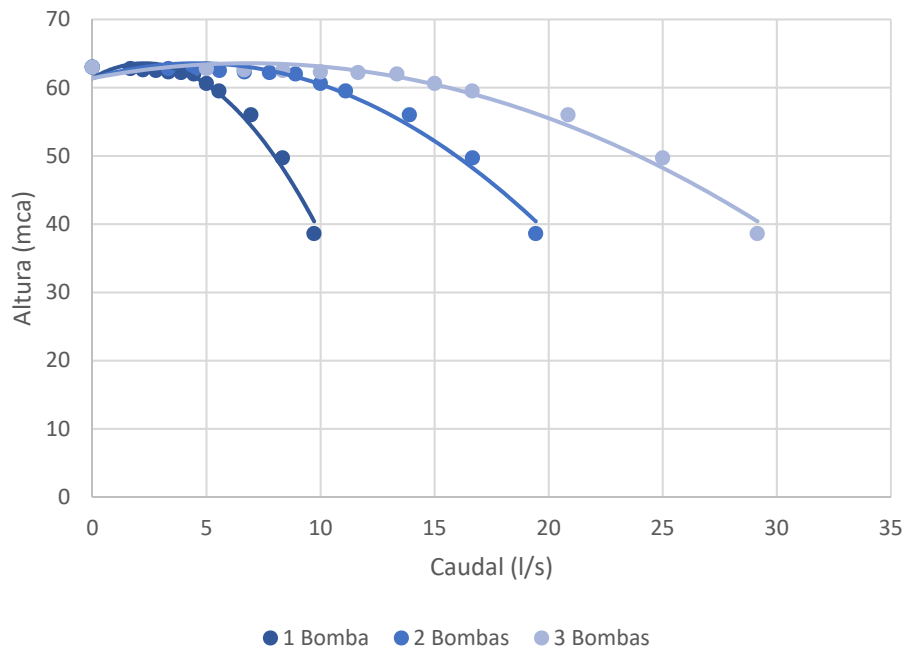


Ilustración 16. Redes auxiliares conectadas en paralelo

3.4 RED DE TUBERÍAS

La red de distribución de agua potable de Sinarcas es mayoritariamente ramificada, solo en algunas zonas concretas la red forma algunas mallas. En el esquema de la Ilustración 9 se ha representado la zona central mallada, de forma genérica, para poder diferenciar entre la zona urbana y las ramificaciones que alimentan las distintas granjas.

La red de alimentación forma un lazo. Comunica el manantial de Ranera con los depósitos Nuevo y Viejo. Los pozos de la Relamina y de la Laguna alimentan a los depósitos Relamina y Concejil. El depósito Relamina suministra agua al depósito Concejil por gravedad. Del depósito Concejil el agua es rebombada al depósito Viejo.

La longitud total de la red de tuberías de suministro de agua potable es de 75,12 km de los cuales solo 40,05 km pertenecen al ayuntamiento. Los 32,07 km restantes pertenecen a las diferentes granjas ubicadas en la periferia del municipio.

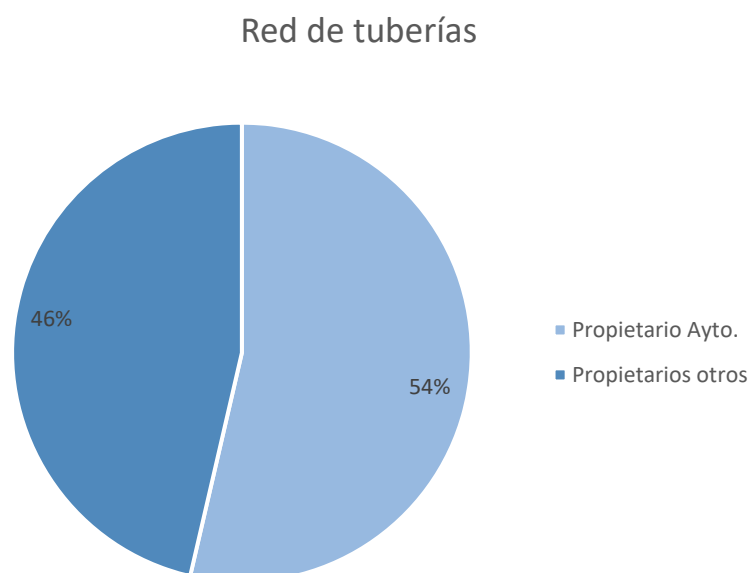


Ilustración 17. Propietarios de la red de suministro de agua potable

Los materiales de la red son fibrocemento (FC en adelante), polietileno (PE en adelante) y policloruro de vinilo (PVC en adelante). Recopilando y agrupando la información disponible de todas las tuberías se obtiene la Tabla 1. Toda la información se ha obtenido del Visor Cartográfico de Sinarcas.

Tabla 1. Tuberías de la red de agua potable

Diámetro Interior (mm)	Diámetro Nominal	Material	Long. Total (km)	Unidades
50	50	FC	1,511	23
60,0	60,0	FC	2,179	41
70,0	70,0	FC	0,101	6
80,0	80,0	FC	4,634	78
100,0	100,0	FC	4,470	67
125,0	125,0	FC	3,372	15
150,0	150,0	FC	1,398	14
175,0	175,0	FC	7,895	2
250,0	250,0	FC	2,926	11
16,0	20,0	PE	13,949	22
20,4	25,0	PE	5,495	5
26,2	32,0	PE	11,437	13
51,4	63,0	PE	7,330	25
61,4	75,0	PE	3,522	8
73,6	90,0	PE	2,058	15
114,6	140,0	PE	0,000	0
163,6	200,0	PE	0,027	3
257,8	315,0	PE	0,000	3
57,0	63,0	PVC	1,315	4

Analizando las longitudes de las tuberías se observa que gran parte de las tuberías tienen un diámetro nominal menor de 50 mm y son de PE.

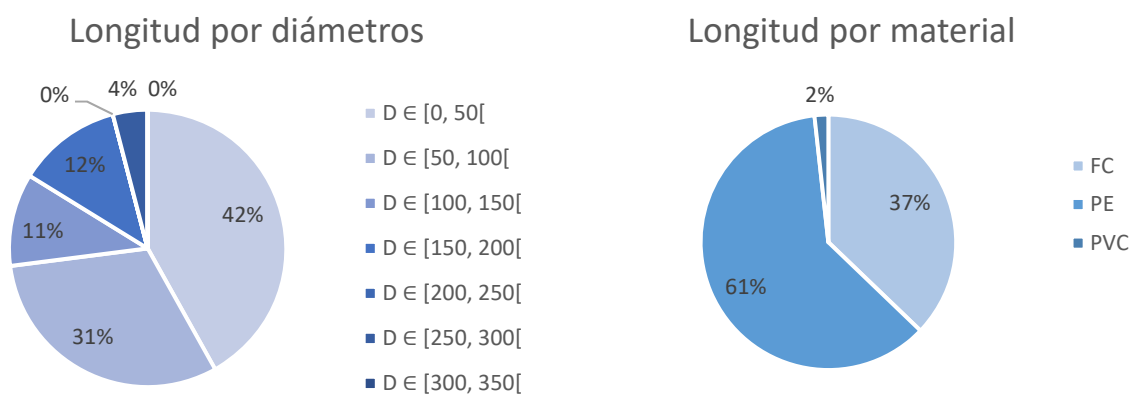


Ilustración 18. Porcentaje de longitudes de tuberías en función del diámetro y del material

Esta distribución se debe a las ramificaciones que alimentan a las granjas, ya que, al estar alejadas del núcleo urbano aumenta el peso de estas tuberías en el análisis. Casi la totalidad de estas ramas son de PE de diámetro nominal muy pequeño [20,32]. Con la finalidad de obtener las características de la red

no tan condicionada a las ramificaciones se analizan los mismos parámetros en función del número de tuberías. De esta forma se puede comparar la red de Sinarcas con las redes de otros municipios con las mismas características.

Como se aprecia en la Ilustración 19 la distribución varía significativamente respecto la Ilustración 18. Con las nuevas distribuciones se detecta una mayoría de tuberías de fibrocemento de unos diámetros comprendidos entre 50 y 100 mm. Esta distribución de diámetros es la que se suele disponer en pequeñas localidades del interior como es el caso de Sinarcas.

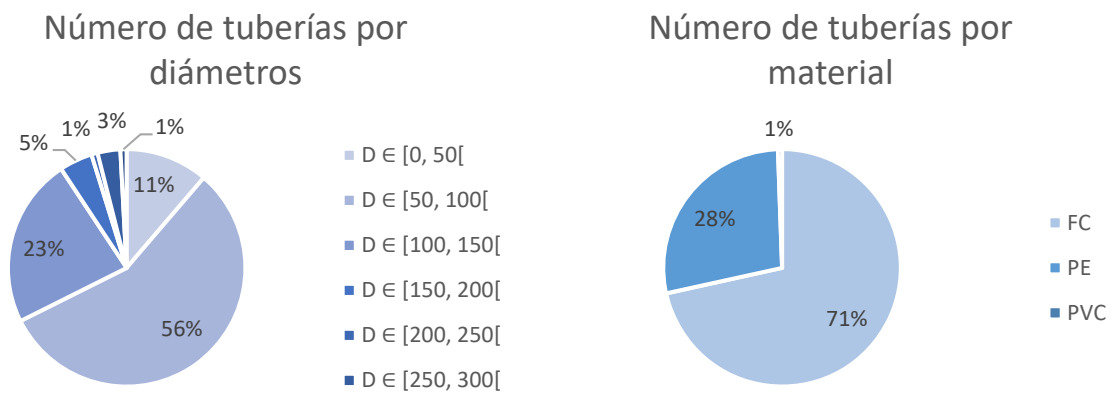


Ilustración 19. Porcentaje de tuberías en función del diámetro y del material

4 ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Un modelo matemático es una caracterización matemática de un elemento real. Realizar un modelo matemático permite analizar el comportamiento del elemento de estudio al igual que prever el comportamiento que adoptará tras realizar algunas modificaciones. Además, permite obtener información que en elemento real se desconocen.

El modelo matemático de la red de agua potable se va a realizar con el programa EPANET y una caja de herramientas con el motor de cálculo de EPANET, la caja de herramientas es el Toolkit de EPANET. Con Toolkit de EPANET se puede programar diferentes escenarios que EPANET no es capaz de simular a la par que permite importar los resultados a una hoja de cálculo de una forma más automatizada y rápida que con el propio EPANET. Tanto EPANET como Toolkit de EPANET son software libre desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos el cual permite realizar análisis hidráulicos a redes de agua a presión u otros fluidos no compresibles Newtonianos.

Los elementos más importantes que requiere EPANET para generar el modelo matemático son la red de tuberías con los diámetros interiores, los nudos a la cota correspondiente y los puntos de captación de agua. Estos últimos pueden incorporar el equipo de bombeo añadiendo la altura de la bomba a la cota del embalse (elemento que representa el punto de captación en EPANET).

El Ayuntamiento de Sinarcas facilita el plano de la red de suministro de agua potable y los datos que aparecen en el visor cartográfico de Sinarcas.

4.1 GENERACIÓN DEL ARCHIVO INP

El primer paso para modelar la red en EPANET es generar un archivo INP a partir del plano de la red. Un archivo INP es un archivo de texto el cual EPANET es capaz de interpretar para generar una red. Debido a que la forma habitual de representar una red es con programas CAD, el Instituto Tecnológico del Agua (ITA en adelante) de la Universitat Politècnica de València (UPV en adelante) ha desarrollado una aplicación que permite generar un archivo INP a partir de un dibujo en formato DXF. Esta aplicación se llama EpaCAD.

EpaCAD tiene dos formas de interpretar los dibujos en DXF. La primera forma es el Modo Vértices. En este modo EpaCAD asigna una tubería a cada polilínea del archivo DXF e introduce 2 nodos en los extremos de la polilínea.

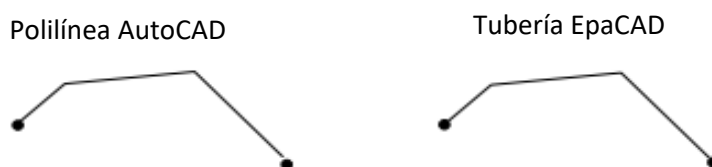


Ilustración 20. Modo Vértices de EpaCAD (Manual EpaCad v1.0)

El segundo modo de funcionamiento es el Modo Nodos. En este modo EpaCAD asigna una tubería a cada segmento de la polilínea a la par que nodos en todos los vértices de los segmentos.



Ilustración 21. Modo Nodos de EpaCAD (Manual EpaCad v1.0)

En ningún modo de funcionamiento EpaCAD interpreta dos líneas que se cruzan como una intersección. Esto implica que algunas tuberías del modelo queden desconectadas de la red. Por tanto, se deben partir todas las polilíneas en aquellos puntos que se desea introducir un nodo.

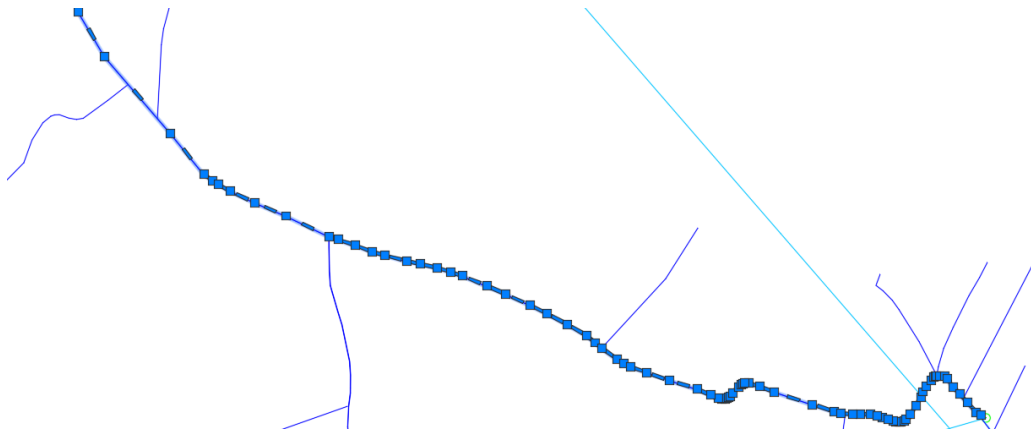


Ilustración 22. Ejemplo de una tubería a la cual no conectan el resto de las tuberías

En el ejemplo de la Ilustración 22 se observa una polilínea a la cual EpaCAD no realizara ninguna conexión. De exportar la red con EpaCAD se obtendría el siguiente modelo, el cual produce un error al disponer nudos sin conectar a ninguna fuente de suministro.

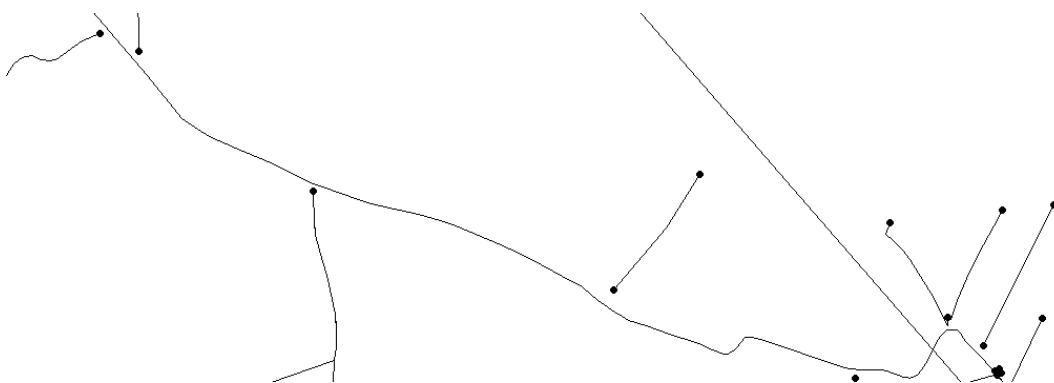


Ilustración 23. Red errónea

Una vez descompuestas todas las polilíneas del dibujo DXF se realiza la exportación en EpaCAD. En esta primera versión del modelo matemático todas las tuberías tienen el mismo diámetro y todos los nudos se encuentran a la misma cota. Por lo tanto, no es el modelo matemático de la red real, pero sí que se dispone de la geometría.

4.2 INTRODUCCIÓN DE LAS COTAS DE LOS NUDOS Y LOS DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS

El siguiente paso de la elaboración del modelo matemático es introducir las cotas de los nudos y el diámetro de las tuberías. La forma clásica de introducir estos datos en EPANET es de forma manual en el propio EPANET o de disponer una base de datos con las cotas y diámetros modificar en una hoja de cálculo el archivo INP.

Tubería p240		Nudo de Caudal n260	
Propiedad	Valor	Propiedad	Valor
*ID Tubería	p240	*ID Nudo de Caudal	n260
*Nudo Inicial	n259	Coordenada X	649833.61
*Nudo Final	n260	Coordenada Y	4400888.83
Descripción		Descripción	
Etiqueta		Etiqueta	
*Longitud	1923	*Cota	0
*Diámetro	200	Demanda Base	0
*Rugosidad	0.1	Curva Modul. Demanda	
Coef. Pérdidas Menores	0	Tipos de Demanda	1
Estado Inicial	Abierta	Coeficiente del Emisor	
Coef. Reacción en el Mec		Calidad Inicial	
Coef. Reacción en la Par		Intensidad de la Fuente	
Caudal	Sin Valor	Demanda Actual	Sin Valor
Velocidad	Sin Valor	Altura Total	Sin Valor
Pérdida Unitaria	Sin Valor	Presión	Sin Valor
Factor Fricción	Sin Valor	Calidad	Sin Valor
Velocidad de Reacción	Sin Valor		
Calidad	Sin Valor		
Estado	Sin Valor		

Ilustración 24. Menús de asignación de datos de tuberías y diámetros

En este proyecto se ha optado por modificar el archivo INP, pero trabajando con un sistema de información geográfica. El sistema es el programa QGIS. QGIS es un software libre que trabaja con coordenadas geolocalizadas. Introduciendo en QGIS las coordenadas de los diferentes nudos de la red, las curvas de nivel y un archivo de dibujo DXF con las tuberías de un mismo diámetro dibujadas en la misma capa, se puede obtener un archivo INP el cual pueden interpretar tanto EPANET como el Toolkit de EPANET.

La forma abreviada sobre como trabajar con QGIS se detalla a continuación. Si se desea conocer con más detalle el procedimiento para generar el modelo, se ha redactado un manual con todos pasos necesarios. Este manual se encuentra en el ANEXO 1. MANUAL "GENERACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN EPANET CON EL PROGRAMA QGIS".

En primer lugar, es necesario conocer el sistema de coordenadas, Sinarcas se encuentra en la zona 30N del sistema UTM. Con esta información se importan los nudos de la red en una hoja de cálculo en formato .CSV. Las coordenadas de los nudos se obtienen del archivo INP obtenido con EPACAD.

Nudo	Este	Norte
n1	646264.57	4405597.881
n2	651547.095	4399984.822
n3	648955.203	4399424.733
n4	648933.502	4399440.817
n5	652134.227	4399396.246
n6	652017.995	4399639.853
n7	649220.673	4399356.898
n8	651440.311	4400171.486
n9	652104.924	4399393.346
n10	652280.2	4399338.137
n11	649026.677	4399275.221
n12	651909.335	4399393.131
n13	651311.722	4399212.842
n14	651331.602	4399124.191
n15	651958.489	4399594.566
n16	651960.163	4399595.8
n17	651219.305	4399192.91
n18	651251.75	4399046.507
n19	652140.948	4399357.691
n20	652275.091	4399341.449
n21	652078.427	4399549.247
n22	652137.77	4399611.871
n23	652356.376	4399619.115
n24	652181.234	4399619.532
n25	651444.794	4399201.046
n26	651435.391	4399240.988
n27	651599.071	4399733.549
n28	651603.296	4399692.583
n29	651469.657	4399571.097
n30	651469.998	4399568.774
n31	651443.679	4399644.735
n32	651443.454	4399641.997

Ilustración 25. Coordenadas de los nudos en formato .CSV

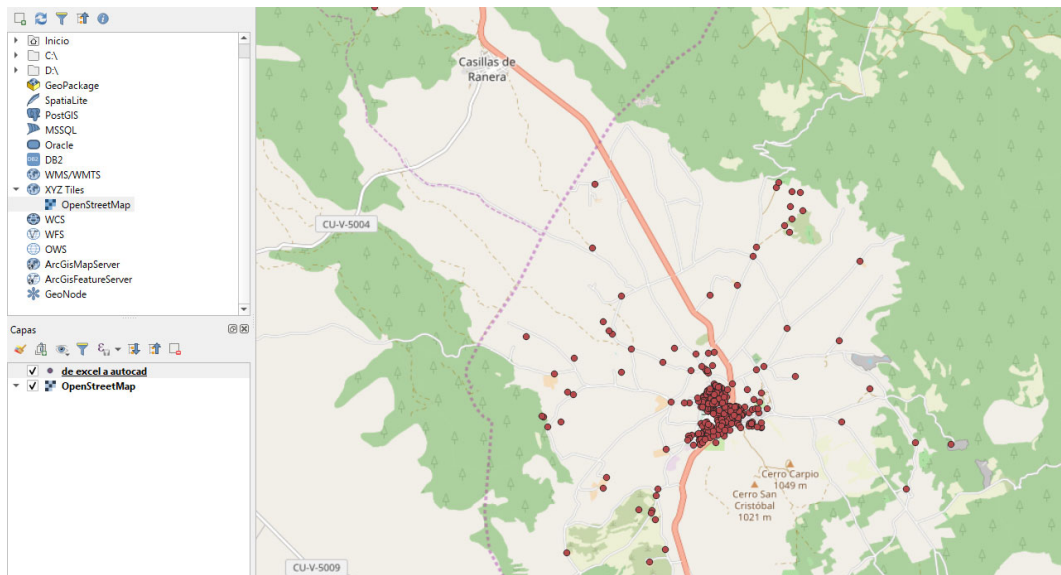


Ilustración 26. Nudos insertados en QGIS

Una vez se han introducido los nudos se procede a insertar las curvas de nivel en formato .DXF obtenidas en el punto 2.2.

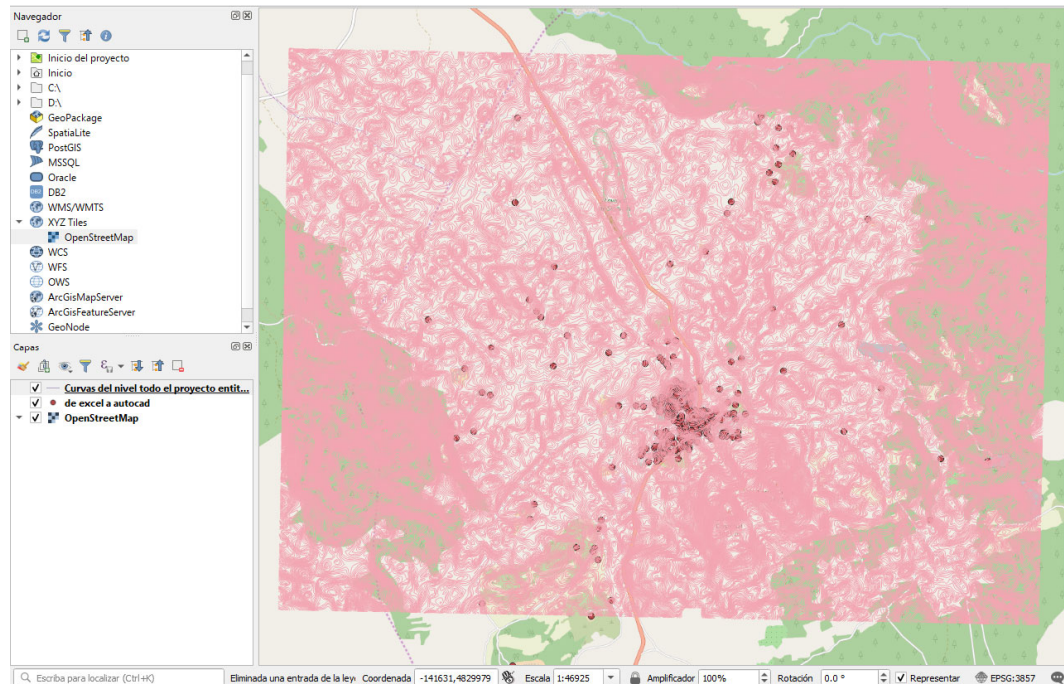


Ilustración 27. Curvas de nivel en QGIS

Con las curvas de nivel se realiza una interpolación TIN, con la que se obtiene la superficie con el relieve de Sinarcas. Una vez obtenida la superficie, se genera una nueva capa con los nudos proyectados sobre la superficie.

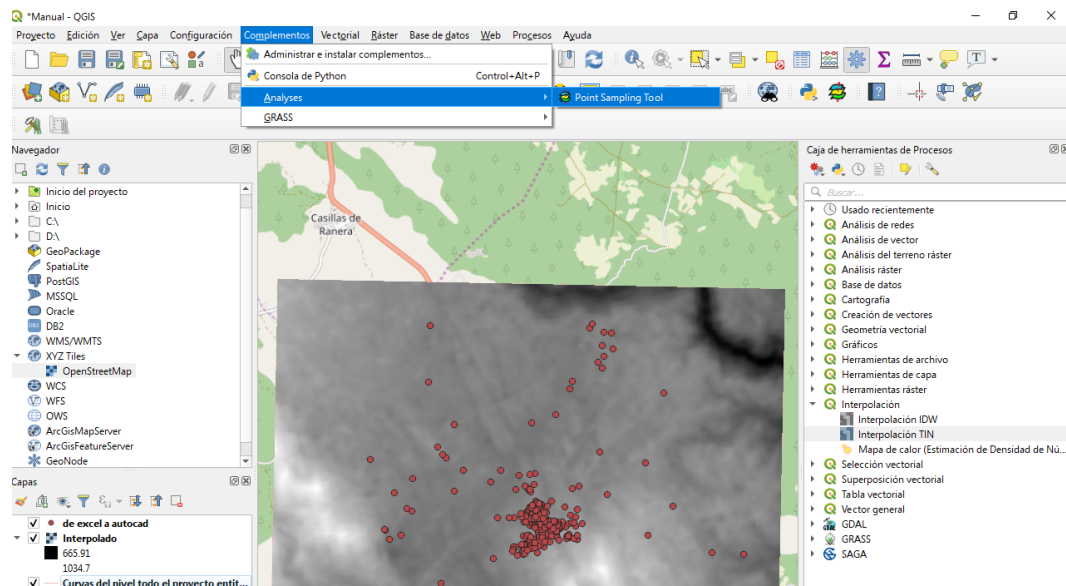


Ilustración 28. Nudos proyectados a la superficie

Esta capa se exporta a una hoja de cálculo en la cual se encuentra la identificación del nudo y la cota correspondiente. Con estos datos se modifica el archivo INP.

Por otro lado, se introduce un archivo CAD en formato DXF con las tuberías agrupadas en las diferentes capas por diámetros y material. Es importante que el nombre de todas las capas tenga el mismo

número de caracteres. En esta parte del proceso QGIS solo trabaja como interprete, ya que almacena el nombre de la capa donde esta dibujada cada polilínea.

	Layer	PaperSpace	SubClasses	Linetype	EntityHandle	Text	ID	Longitud
1	FC_175.0		AcDbEntity:Ac...		637		0	7863
2	FC_250.0		AcDbEntity:Ac...		63A		1	27
3	FC_100.0		AcDbEntity:Ac...		63D		2	281
4	FC_100.0		AcDbEntity:Ac...		640		3	402
5	FC_100.0		AcDbEntity:Ac...		641		4	426
6	FC_100.0		AcDbEntity:Ac...		642		5	37

Ilustración 29. Tabla con las características de las polilíneas

Estos datos se exportan a una hoja de cálculo y con la función “extrae” obtienen los diámetros de las tuberías. Al igual que con la parte de los nudos, se modifican estos valores en el archivo INP.

Finalmente se introducen a mano los datos de los depósitos y los embalses en EPANET junto a las tuberías que van conectados a estos. Únicamente faltara ajustar los caudales de los depósitos mediante válvulas de retención y válvulas limitadoras de caudal. Opcionalmente se puede insertar un mapa de fondo que facilita la ubicación del trazado de las tuberías.

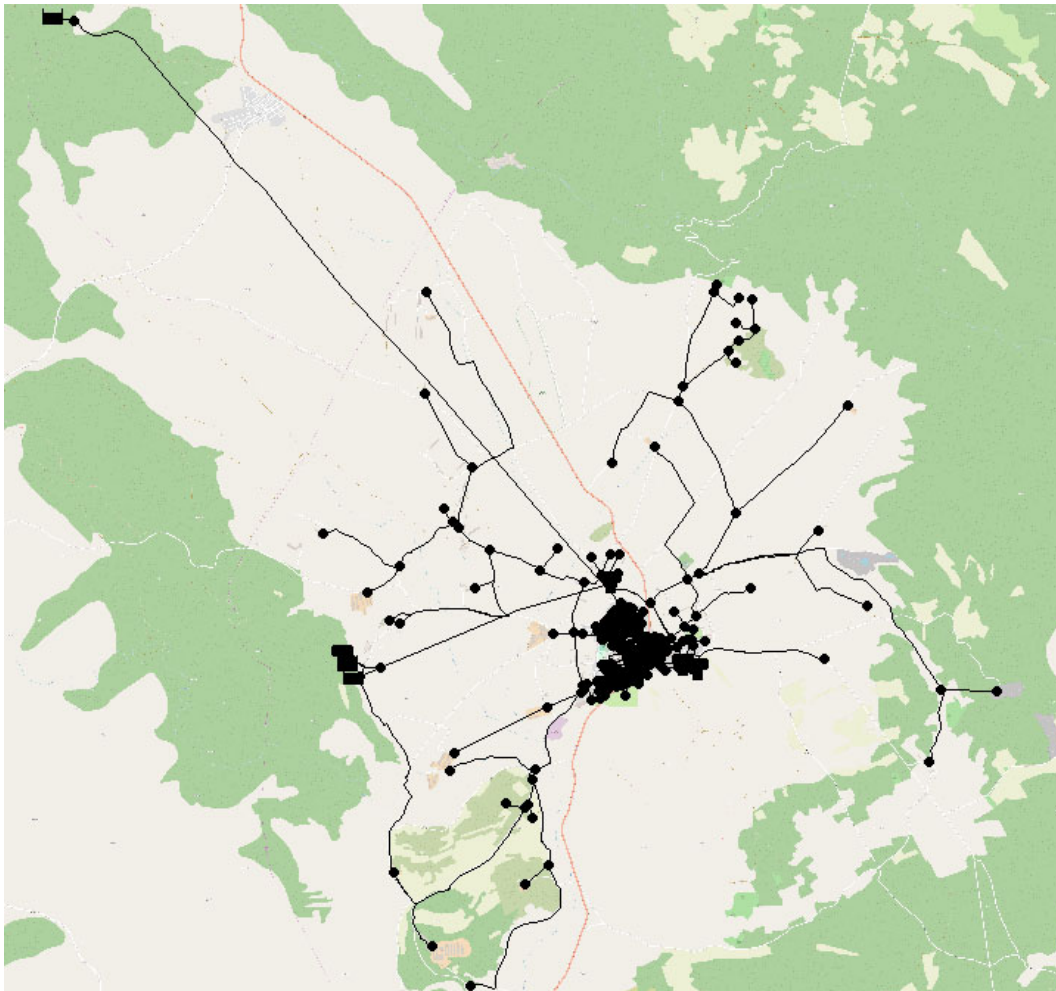


Ilustración 30. Modelo matemático de la red de agua potable de Sinarcas

5 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

En este apartado se va a cargar el modelo, es decir, introducir las cargas hidráulicas a la red. Las cargas son tanto los consumos de los usuarios como el volumen incontrolado, entendiéndose volumen incontrolado el volumen fugado más el volumen incontrolado consumido.

Para elaborar este apartado el Ayto. de Sinarcas ha facilitado un informe de los consumos bimensuales de la población, el consumo horario del contador general, los consumos promedio de las granjas más importantes y una estimación de los puntos de consumo sin contador. Cabe destacar que en los periodos de demanda máxima de agua todo el consumo de agua no está registrado por este contador ya que abastecen parte de la demanda a las granjas desde el depósito Concejil.

5.1 CONTADOR GENERAL

Sinarcas dispone de un único contador general a la salida del depósito viejo, el cual abastece y presuriza la red de la población. El contador general dispone de telelectura horaria. En la Ilustración 31 se ha representado los consumos horarios del 1 de julio de 2018 al 28 de febrero de 2019. Se aprecia que en los meses de julio y agosto tuvieron problemas con la telelectura.

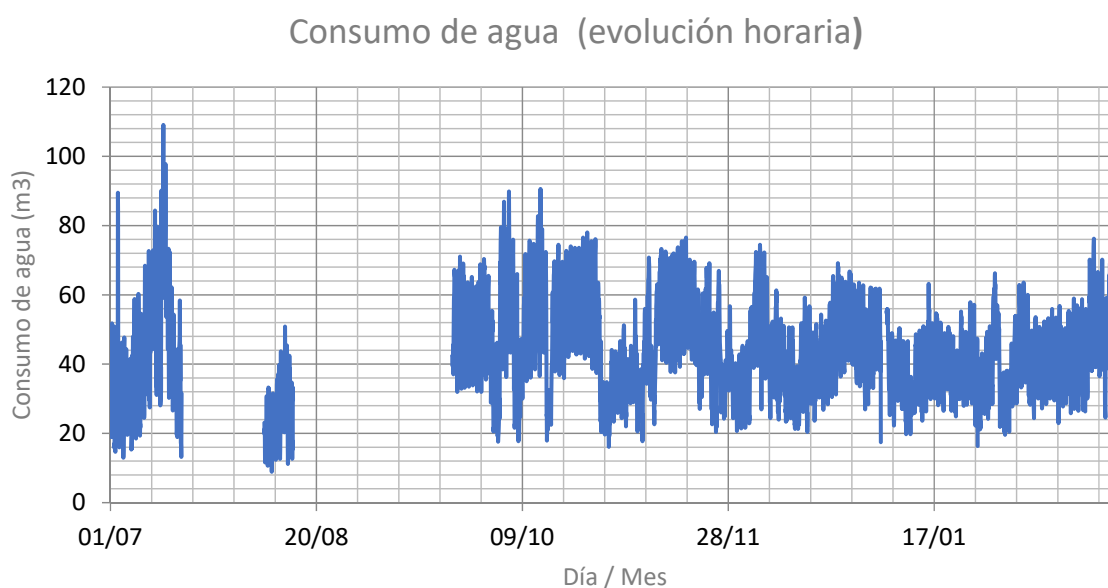


Ilustración 31. Datos del contador general de Sinarcas

En la Ilustración 31 no se puede apreciar ninguna tendencia clara de los consumos. Parece que de diciembre a febrero tiene una ligera tendencia a disminuir el caudal máximo inyectado a la red, aunque estos datos podrían estar falseados ya que en periodos de una demanda elevada inyectan caudal a la red, sin pasar por el contador general, desde el depósito Concejil. Además, se observa una variación importante de caudales a lo largo del día, entorno a los 25 m³/h.

De los datos del contador general se puede obtener un diagrama de caja y bigotes del caudal inyectado por hora. Este diagrama es útil para visualizar la media, los cuartiles y los datos anómalos de los caudales, así como los valores máximo y mínimo.

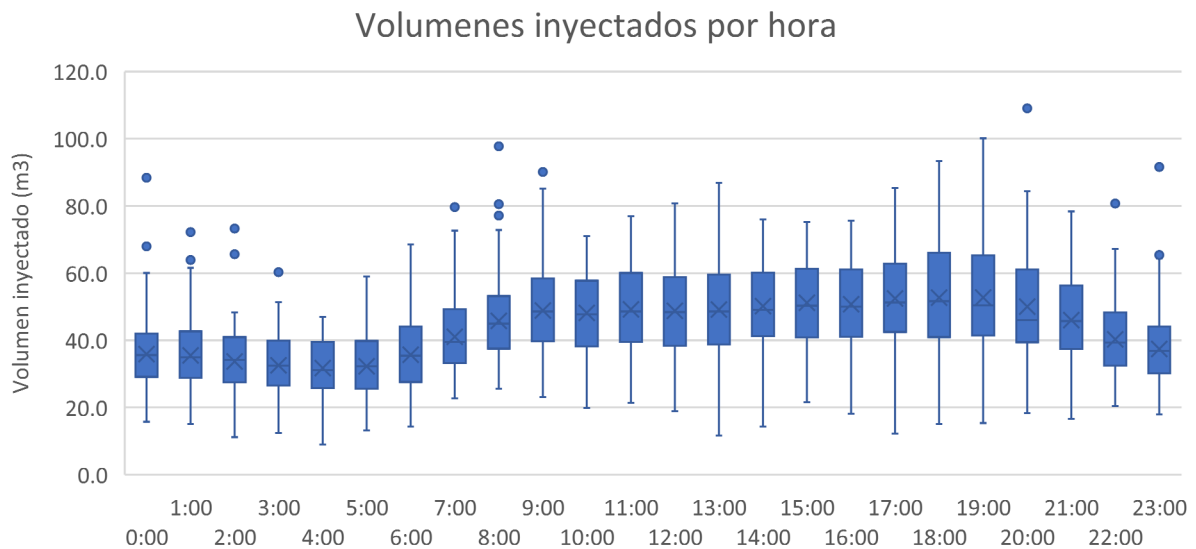


Ilustración 32. Diagrama de caja y bigotes del volumen inyectado por hora

A partir de la Ilustración 32 se puede visualizar que el caudal mínimo registrado se produce a las 4:00 y tiene un valor de 8,9 m³/h. Este valor es importante si se estiman las fugas mediante el método de los flujos nocturnos.

Con todos estos datos se debe ajustar la demanda del modelo matemático. Para que se asimile a la realidad.

5.2 ASIGNACIÓN DE CAUDALES

Al no disponer de las lecturas de todos los contadores de cada usuario se deben realizar una serie de estimaciones que permita cargar el modelo. En primer lugar, se debe estimar el consumo en los hogares y distribuirlo en los nudos que corresponda. Para estimar el caudal consumido para el uso doméstico se recurre a la dotación por habitante y día. Esta dotación se obtiene de las notas de prensa del 27 de noviembre de 2018 del Instituto Nacional de Estadística.

Estas notas de prensa disponen de la dotación por persona y día de las diferentes comunidades autónomas y la media nacional además de la variación bienal que ha existido con el estudio anterior. Los datos que publican en esta nota de prensa son de 2016. Estos valores se detallan en la página siguiente en la Tabla 2.

Además de conocer el caudal consumido por los usuarios se debe de conocer la ubicación de los puntos de consumo. Al no disponer de la ubicación se reparte el caudal consumido en domicilios por los nudos de la zona urbana en proporción a la longitud de las tuberías que se conectan a ellos ya que a mayor longitud mayor cantidad de acometidas irán conectadas a esas tuberías, asumiendo una distribución uniforme en la zona residencial.

Tabla 2. Dotación por usuario de las comunidades autónomas (INE, 2018)

Consumo de agua de los hogares por comunidad autónoma

Unidad: litros/ habitante/día

	Año 2016	% variación bienal
Andalucía	129	2,4
Aragón	137	5,4
Asturias, Principado de	150	11,9
Balears, Illes	134	8,1
Canarias	150	4,2
Cantabria	155	2
Castilla y León	152	-8,4
Castilla-La Mancha	128	2,4
Cataluña	127	7,6
Comunitat Valenciana	163	0,6
Extremadura	129	3,2
Galicia	138	7
Madrid, Comunidad de	133	1,5
Murcia, Región de	132	4,8
Navarra, Comunidad Foral de	112	0,9
País Vasco	112	-3,4
Rioja, La	115	8,5
Ceuta y Melilla	103	-2,9
Consumo medio nacional	136	3

Los datos representativos de Sinarcas de la Tabla 2 son los consumos de la Comunitat Valenciana, Castilla-La Mancha y la media nacional. Se considera la dotación de Castilla-La Mancha debido a la proximidad del municipio con esa autonomía.

En segundo lugar, se tratan los grandes consumidores. El ayuntamiento de Sinarcas facilita el volumen facturado y la ubicación de estos. La mayor parte de los grandes consumidores son empresas dedicadas a la cría y el crecimiento de animales para el consumo humano. Además, ha indicado que la variación del volumen consumido en verano e invierno varía entorno el 7%. Toda esta información se encuentra en la Tabla 3. Esta información no se ha introducido directamente en EPANET, sino que se ha codificado cada consumidor para que un programa pueda reconocer el usuario y modificar los parámetros que se consideren oportunos. Los parámetros más importantes que se pueden modificar son la demanda base y la curva de modulación, de esta forma se puede afinar el modelo una vez se introduzcan las fugas.

Los nombres de los grandes consumidores han sido codificados de forma alfabética para respetar la ley de protección de datos.

Tabla 3. Grandes consumidores

CÓDIGO	COORDENADAS		CONSUMO MES (m ³ /mes)	Demanda base (l/s)
A	39,73414	-1,2402	2968,5	1,145
B	39,71756	-1,24358	1184	0,457
C	39,70706	-1,25105	1087	0,419
D	39,72739	-1,24005	311	0,120
E	39,74164	-1,24894	290	0,112
F	39,74308	-1,26368	268,5	0,104
G	39,73757	-1,26076	100	0,039
H	39,73523	-1,26015	55	0,021
I	39,74134	-1,267	30	0,012
J	39,73531	-1,25778	258	0,100
K	39,75013	-1,22759	250	0,096
L	39,74052	-1,23158	225	0,087
M	39,72273	-1,25136	199	0,077
N	39,7215	-1,25325	175,5	0,068
Ñ	39,7461	-1,24879	238,5	0,092
O	39,73777	-1,24846	125	0,048
P	39,74237	-1,24836	123	0,047
Q	39,74999	-1,25252	116	0,045
R	39,73605	-1,24872	100	0,039
S	39,73786	-1,23573	113	0,044
T	39,74458	-1,24919	113	0,044
U	39,74031	-1,2349	103	0,040
V	39,74045	-1,23271	91,5	0,035
W	39,75494	-1,25317	75,5	0,029
X	39,74847	-1,23211	69,5	0,027
Y	39,75038	-1,22815	63,5	0,024
Z	39,72864	-1,24047	61	0,024
AA	CALLE DOS DE MAYO, 1		56	0,022
AB	CALLE UTIEL, 2		50,5	0,019
AC	CALLE ECOPARQUE, 53		45	0,017
AD	CALLE REAL, 13		40,5	0,016
AE	39,7329	-1,2225	37,5	0,014

En tercer lugar, se tratan los puntos de consumo sin contador. Los puntos de consumo sin contador se detallan en la siguiente tabla. Estos puntos de consumo pertenecen al municipio. El consumo de estos puntos deberá ser estimado y verificado en función de las características y la descripción que han facilitado por parte del Ayuntamiento. Al igual que en los grandes consumidores se han codificado para poder manipular sus parámetros de forma programada.

Tabla 4. Puntos de consumo sin contador

Nombre	Latitud	Longitud	Consumo (m3)	Comentarios
Piscina del pueblo	39,73280	-1,23272	16.463	Piscina, vestuarios, duchas del polideportivo y riego de jardines, periodo: 1 junio-15 septiembre
Fuentes del pueblo				
- Plaza Iglesia	39,73426	-1,23069		Mucha frecuencia de uso
- Ayuntamiento	39,73308	-1,22934		Poca frecuencia de uso
- Plaza herrero	39,73517	-1,23146		Poca frecuencia de uso
- Plaza boticario	39,73392	-1,23233		Poca frecuencia de uso
- Parque	39,73225	-1,23092		Mucha frecuencia de uso
- Zacuca	39,73543	-1,23259		Poca frecuencia de uso
- Parque de las ranas	39,73261	-1,22930		Poca frecuencia de uso
- Carretera	39,73263	-1,22894		Mucha frecuencia de uso
- San marcos	39,76373	-1,22608		Mucha frecuencia de uso
- Sabinar	39,73064	-1,23113		Poca frecuencia de uso
- Frontón	39,73198	-1,23365		Poca frecuencia de uso
- Césped	39,73239	-1,23236		Mucha frecuencia de uso
Abrevaderos ganado				
- Viñuelas	39,73870	-1,22237		1/m3 semana, Se concentra más de mato a octubre
- San marcos	39,75696	-1,21807		1/m3 semana, Se concentra más de mato a octubre
- Cerritos	39,74474	-1,25122		1/m3 semana, Se concentra más de mato a octubre
- El chorro	39,72091	-1,24189		1/m3 semana, Se concentra más de mato a octubre
Depósitos para agricultores			Consumo (m3/día)	
- Pedregal	39,73374	-1,23911	70	abril-junio, resto del año 20 m3/semana
- Cementerio	39,73867	-1,22250	70	abril-junio, resto del año 20 m3/semana
- San marcos	39,75366	-1,22452	50	abril-junio, resto del año 20 m3/semana
- Gasolinera	39,72258	-1,23781	40	abril-junio, resto del año 20 m3/semana
Gimnasio	39,73290	-1,23232		sin duchas, el consumo menor al de una vivienda

Nombre	Latitud	Longitud	Consumo (m3)	Comentarios
Musical	39,73202	-1,23107		el consumo es menor al de una vivienda
Jardines			superficie (m2)	
- "Césped"	39,73235	-1,23217	2400	Césped regado con 20 aspersores de 3/4"
- Parque	39,73236	-1,23130	475	Jardines regados por goteo DN16, arbusto y arboles
- Sabinar, Calle la torre	39,73063	-1,23264	250	Jardines regados por goteo DN16, arbusto y arboles
- Zacuca, Av. Virgen de Tejada	39,73453	-1,23333	200	Jardines regados por goteo DN16, arbusto y arboles
- Ramon Ochando	39,73351	-1,22999	100	Jardines regados por goteo DN16, arbusto y arboles
- Pisos	39,73256	-1,22780	120	Jardines regados por goteo DN16, arbusto y arboles
- Plaza las Ranas	39,73261	-1,22930	10	Jardines regados por goteo DN16, arbusto y arboles
Antiguo Matadero	39,73159	-1,22764		el consumo es menor al de una vivienda
Salón de bailes	39,73141	-1,22750		Capacidad para 500 personas, Se usa 30-50 veces al año
Mercado municipal	39,73243	-1,23060		El consumo es similar a 2 casas
Tanatorio	39,73019	-1,23063		El consumo es menor al de una vivienda
Colegio	39,73324	-1,23273		84 niños más profesores
Arboletum	39,76098	-1,21767		Jardín de árboles de 900 pies, gotero integrado en DN 16, se riega de marzo a octubre

A partir de los datos suministrados por el Ayuntamiento de Sinarcas se debe verificar que las estimaciones realizadas por el Ayuntamiento son representativas del proyecto.

A continuación, se calcula la demanda base de la piscina según el volumen consumido estimado y el periodo de tiempo indicado. La demanda base que se obtiene es de 1,8 l/s. Esta demanda es mayor que el consumo más elevado de la red. Esto se debe a que la estimación considera el volumen consumido para el llenado de la piscina. Para estimar el caudal punta de la instalación se recurre al Código Técnico de la Edificación (CTE en adelante). En la tabla 2.1 del Documento Base HS 4 se detallan los caudales mínimos que deben suministrar los diferentes elementos hidráulicos. Conociendo la curva de modulación tipo de una instalación deportiva se puede ajustar la demanda base, de forma que coincida el caudal punta de la instalación con la demanda máxima en EPANET. Simplemente se debe dividir el caudal punta entre el coeficiente máximo del patrón de demanda.

Tabla 5. Caudales instantáneos mínimos (CTE DB HS4 tabla 2.1)

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo agua fría (l/s)	Caudal instantáneo mínimo ACS (l/s)
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,1	0,065
Ducha	0,2	0,1
Bañera >=1,40 m	0,3	0,2
Bañera < 1,4 m	0,2	0,15
Bidé	0,1	0,065
Inodoro con cisterna	0,1	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinario con grifo temporizado	0,15	-
Urinario con cisterna	0,04	-
Fregadero domestico	0,2	0,1
Fregadero no domestico	0,3	0,2
Lavavajillas domestico	0,15	0,1
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,2
Lavadero	0,2	0,1
Lavadora domestica	0,2	0,15
Lavadora industrial (8kg)	0,6	0,4
Grifo aislado	0,15	0,1
Grifo garaje	0,2	-
Vertedero	0,2	-

El personal del Ayto. de Sinarcas proporciona información de la instalación aguas abajo de la acometida. Disponen de:

- 4 lavabos.
- 12 duchas en los vestuarios.
- 8 duchas exteriores en la piscina.
- 3 inodoros con cisterna.
- 2 urinarios con cisterna.
- 1 fregadero domésticos.
- 3 grifos aislados.

Esto supone una caudal punta de 5,43 l/s y 33 elementos instalados. A este caudal punta se le debe aplicar un coeficiente de simultaneidad, para ello se utiliza la norma francesa.

$$k_n = \frac{1}{\sqrt{n - 1}}$$

Ecuación 1

Donde n es el número de aparatos instalados.

Al obtener un coeficiente de simultaneidad menor de 0,2 se aplica 0,2 como coeficiente de simultaneidad. Obteniendo un caudal punta en la acometida de las instalaciones de 1,07 l/s.

Del patrón de demanda tipo para instalaciones punta se obtiene un coeficiente máximo de 1,7 a las 11:00. Con lo que se obtiene una demanda base de 0,63 l/s. Esta demanda base se aplica en periodos de verano, ya que en invierno disminuye el número de usuarios que disfrutan de estas instalaciones. Otra cuestión para tener en cuenta es que esta metodología no es válida para el dimensionado de la instalación deportiva. Esto se debe a que, en determinados momentos, como después de un partido, está previsto que se utilicen todas las duchas simultáneamente. Aunque como son momentos puntuales y del orden de magnitud es de media hora. Se ha optado por no tener en cuenta el caso particular de estar consumiendo todas las duchas simultáneamente ya que no es una configuración habitual en red de abastecimiento.

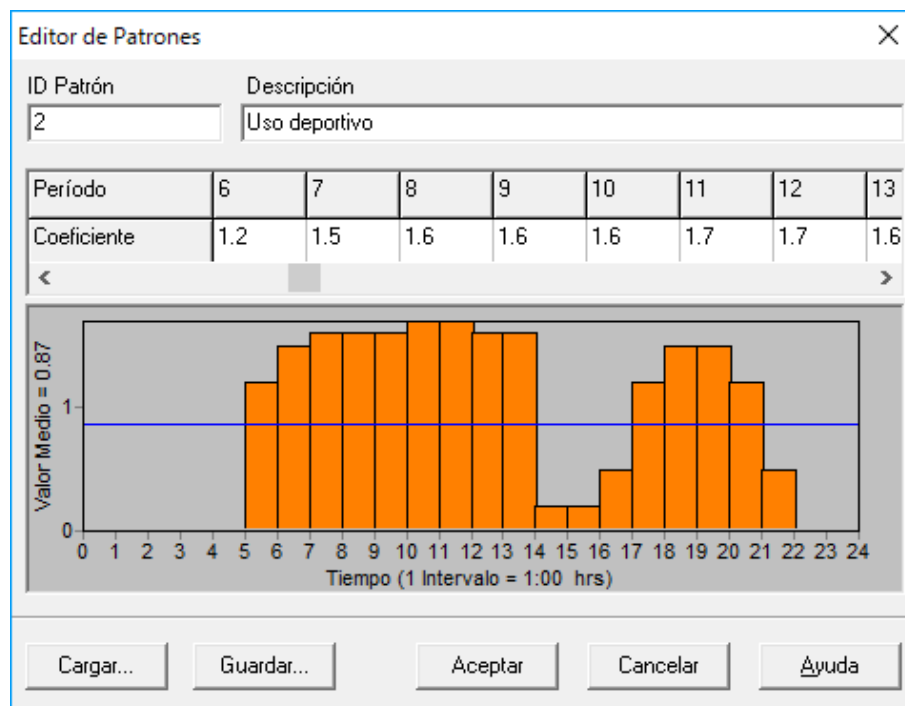


Ilustración 33. Patrón de demanda tipo de instalaciones deportivas

Para asignar el caudal de las fuentes se vuelve a recurrir a la Tabla 5. El consumo instantáneo de una fuente es similar al de un lavabo. Con el fin de comparar el caudal consumido por las fuentes respecto del caudal a la salida del depósito viejo se utiliza el factor de simultaneidad entre locales.

$$K_{loc} = \frac{19 + N}{10 \cdot (N + 1)}$$

Ecuación 2

Siendo N el número de locales.

Al aplicar el coeficiente de simultaneidad se obtiene que el caudal punta demandado a la red es de 0,29 l/s. Al ser el caudal medio inyectado de 12,23 l/s se puede considerar que la demanda de las fuentes no afectará al modelo.

Los abrevaderos y los depósitos para agricultores simplemente se calcula la demanda base a partir de su consumo semanal. Los consumos menores a una vivienda no se añaden en el modelo ya que la carga hidráulica se va a realizar mediante la dotación por unidad de longitud. De esta forma ya se asigna una demanda base como si fuera una vivienda. A los jardines se asignará una dotación en función de la superficie de jardín. Cursos Agua del ITA de la UPV en el curso “Modelización avanzada de redes con EPANET” facilita la siguiente tabla.

Tabla 6. Dotación para limpieza y jardines (Cursos Agua ITA UPV)

Zona	Dotación (l/día m ²)
Limpieza de viales	1-1,5
Limpieza de alcantarillado	15-25
Limpieza de mercados	5
Riego jardines	
-zona húmeda	1,5-3
-zona media	3-6
-zona seca	6-9

Como se indica en el apartado 2.4 el clima en Sinarcas es bastante seco en periodos estivales, pero hay problemas de abastecimiento de agua y suelen regar cada tres días. Por tanto, se asigna la dotación mínima de 1,5 l/día m². Por otro lado, también se dispone del patrón de demanda tipo para jardines. En este caso el patrón de demanda indica que de las 20:00 a la 22:00 se activa el riego con un caudal igual a la demanda base. Activan el riego a esas horas ya que no disponen de riego automático y hay que abrir las válvulas de forma manual.

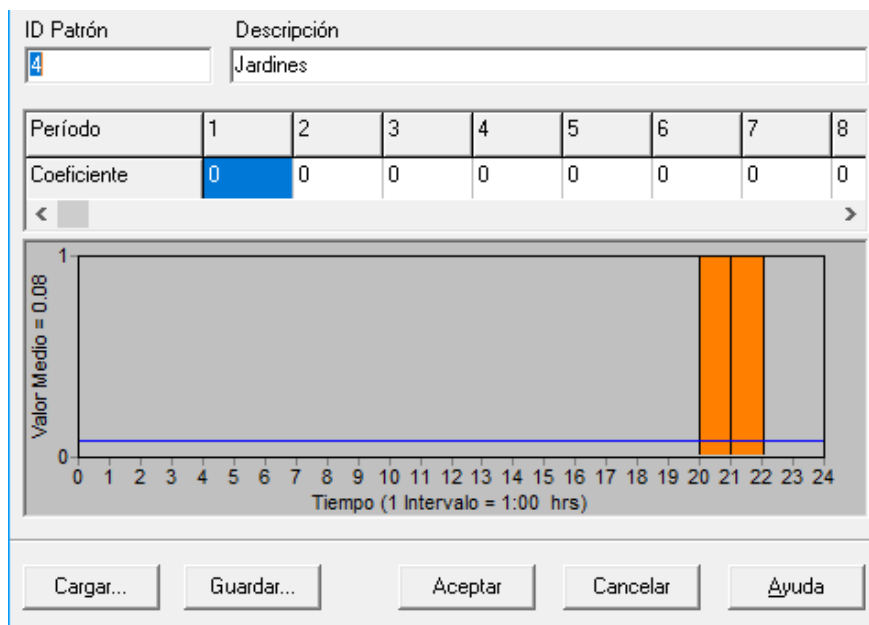


Ilustración 34. Patrón de demanda tipo de jardines

EPANET calcula el valor medio del patrón de demanda. Para suministrar ese volumen diario se debe dividir el volumen necesario entre el valor medio del patrón de demanda.

5.3 LOCALIZACIÓN Y ASIGNACIÓN DE LOS CAUDALES

Una vez determinados los consumos de la red se deben ubicar en la misma. La asignación de los caudales se ha realizado con una macro en Excel y el Toolkit de EPANET. En primer lugar, se ha codificado el tipo de usuario asignándole una demanda base igual a 1 si es un nudo de consumo doméstico, 2 si es un consumo puntual para agricultura/ramería y 3 para consumos industriales. Además, se han codificado los grandes consumidores con el valor $200 + i$, siendo i el orden en que aparecían en la hoja de cálculo facilitada por el Ayuntamiento. Se ha procedido de la misma forma en los consumidores sin contador con el valor $100 + i$.

Aunque programar la macro y plantear el método idóneo de realizarlo es un proceso laborioso, tiene la ventaja que permite modificar los valores de entrada a EPANET, tanto demandas base como curvas de modulación, con mayor facilidad. Esto resulta útil en caso de que se detecte algún error en la estimación, se disponga de datos nuevos o se observe una modificación en el consumo de algún nudo.

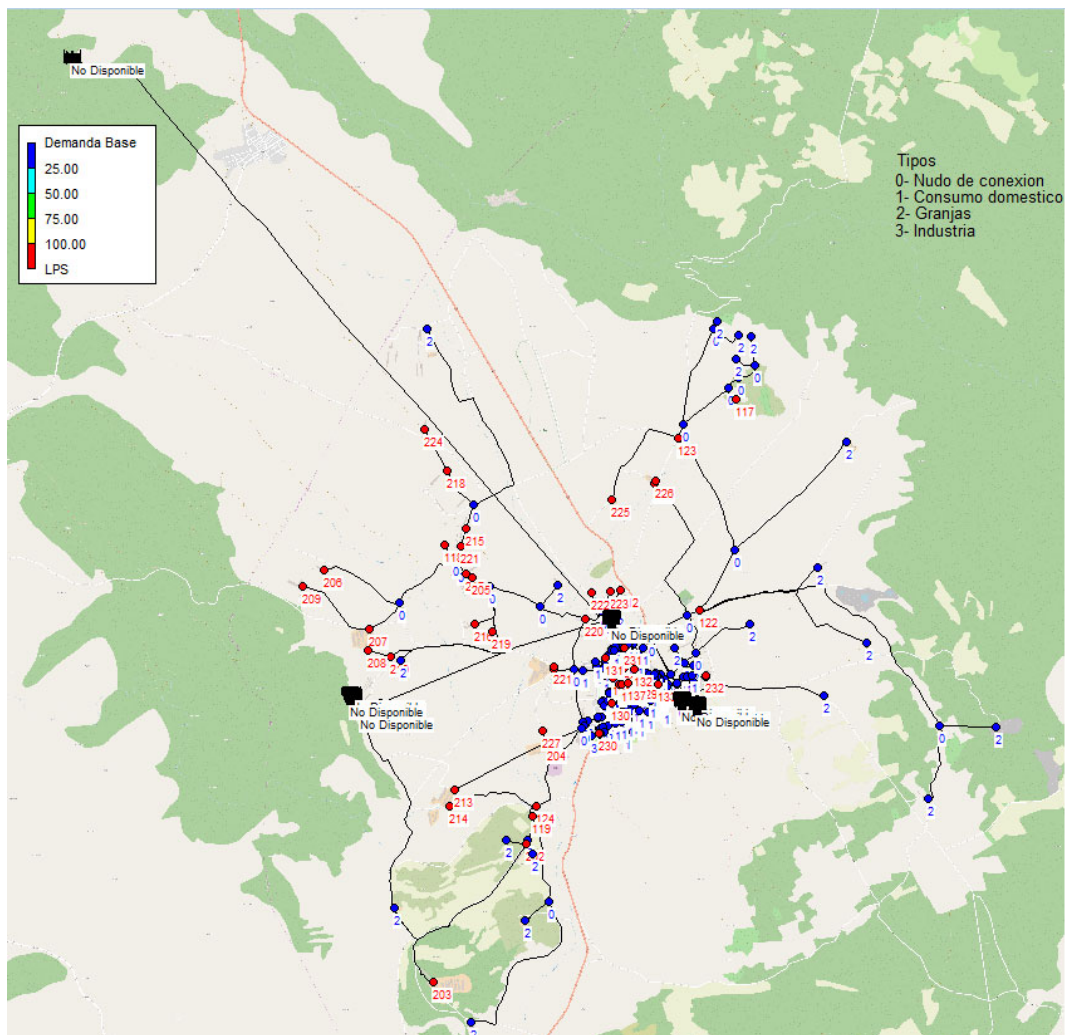


Ilustración 35. Localización de los consumidores

El funcionamiento del programa es el siguiente. En primer lugar, el programa lee todas las demandas base del archivo INP y almacena en memoria que tipo de nudo es. Una vez ha leído todos los nudos analiza si los nudos inicial y final de cada tubería son de tipo doméstico. Si cumple esta condición a esa

tubería la denomina tubería doméstica. Además, almacena la longitud y realiza un sumatorio de longitudes de las tuberías domésticas.

Por otro lado, calcula la demanda doméstica de la red. Multiplica la dotación por habitante y día y la multiplica por el número de habitantes. Asumiendo que el consumo de agua de uso doméstico es uniforme a lo largo de las tuberías domésticas. Para ello, reparte el consumo diario entre la longitud total de tuberías domésticas y le asigna una demanda base en función de la longitud de las tuberías que hay conectadas a cada nudo, distribuyendo la mitad del consumo asignado a la tubería al nudo inicial y la otra mitad al nudo final.

Explicado de forma numérica:

$$\begin{aligned} & \text{Demanda instantanea promedio} \left(\frac{l}{s} \right) \\ &= \text{Dotación} \left(\frac{l}{\text{habitante} \cdot \text{día}} \right) \cdot \text{población} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \end{aligned}$$

Ecuación 3

$$\text{Longitud domestica total (m)} = \sum_{i=1}^{\text{num tuberías domésticas}} \text{Longitud tubería}_i \text{(m)}$$

Ecuación 4

$$\text{Demanda por unidad de longitud} \left(\frac{l}{s \cdot m} \right) = \frac{\text{Demanda instantanea promedio} \left(\frac{l}{s} \right)}{\text{Longitud domestica total (m)}}$$

Ecuación 5

Demanda base nudo domestico

$$= \text{Demanda por unidad de longitud} \left(\frac{l}{s \cdot m} \right) \sum_{i=1}^{\text{num tuberías conectadas al nudo}} \frac{\text{Longitud tubería}_i \text{(m)}}{2}$$

Ecuación 6

Con los nudos de la zona industrial procede de la misma forma ya que en el Ayuntamiento no han considerado que su consumo sea destacable respecto al consumo doméstico. En el caso de los grandes consumidores y los consumos sin contador simplemente lee los datos de la hoja de cálculo y los asigna al nudo correspondiente. En los consumos puntuales de uso agrícola/ganadero se asigna el consumo de una vivienda. Según el INE la ocupación media por vivienda es de 2,5 personas, la demanda base se obtiene substituyendo en la Ecuación 3 la población por 2,5 habitantes.

5.4 ASIGNACIÓN DE FUGAS Y AJUSTE DE LA CURVA DE MODULACIÓN

A partir de los datos del contador general se puede obtener una curva de modulación de la red. Esta curva de modulación es válida si se considera toda la red como un nudo de consumo, pero esta simplificación se aleja de la realidad. La información que realmente interesa para el proyecto es como demandan los usuarios y cuál es el volumen fugado.

En primer lugar, se va a clasificar los diferentes caudales que circulan por una red de suministro de agua.

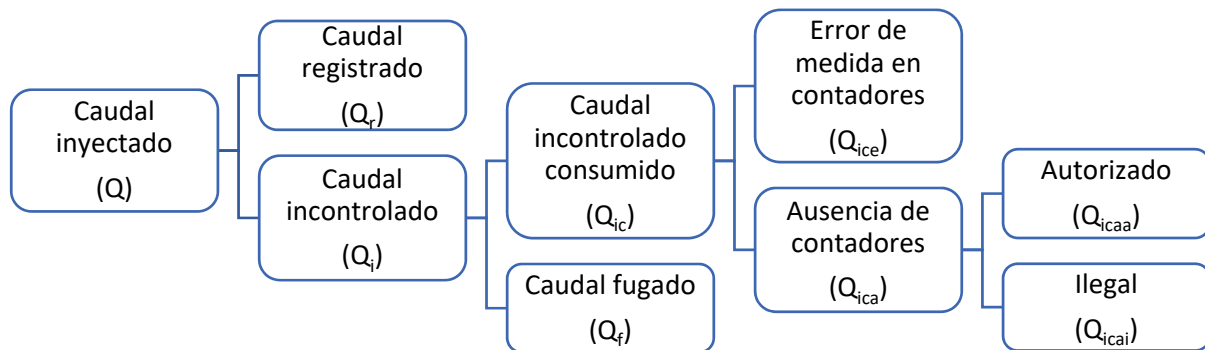


Ilustración 36. Clasificación de los caudales

La dotación por usuario y día hace referencia al caudal que demanda una persona. Este caudal engloba todo el caudal demandado, indistintamente de los errores de medida y/o la ausencia de contador en la acometida. Por otro lado, se dispone de una estimación del caudal incontrolado consumido por ausencia de contadores autorizado. De esta forma está estimado el caudal consumido, siendo la suma del caudal registrado más el caudal incontrolado consumido.

El caudal consumido (demanda base por factor de demanda) y el caudal fugado no se pueden tratar de la misma forma. Ambos tienen naturalezas opuestas, el caudal consumido aumenta con la demanda de los usuarios mientras que el caudal fugado aumenta al reducir la demanda, ya que disminuyen las pérdidas de carga en las tuberías con lo que aumenta la presión de la red. Al aumentar la presión aumentan las fugas.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 7. Darcy-Weisbach

$$h_f = k_v \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 8. Pérdidas localizadas

Donde:

- h_f es la pérdida de carga (mca).
- f es el factor de fricción (-).
- L es la longitud (m).
- D es el diámetro (m).

- v es la velocidad (m/s).
- g es la aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).
- k_v es el coeficiente de pérdidas locales (-).

Tal como se aprecia en la Ecuación 7 y la Ecuación 8 las pérdidas de carga son proporcionales al cuadrado de la velocidad. Con lo que, al aumentar los caudales circulantes por las tuberías, y con los caudales las velocidades, aumenta la pérdida de carga lo que conlleva a disminuir las presiones de la red.

El caudal fugado en una fuga se puede representar como una descarga a la atmosfera.

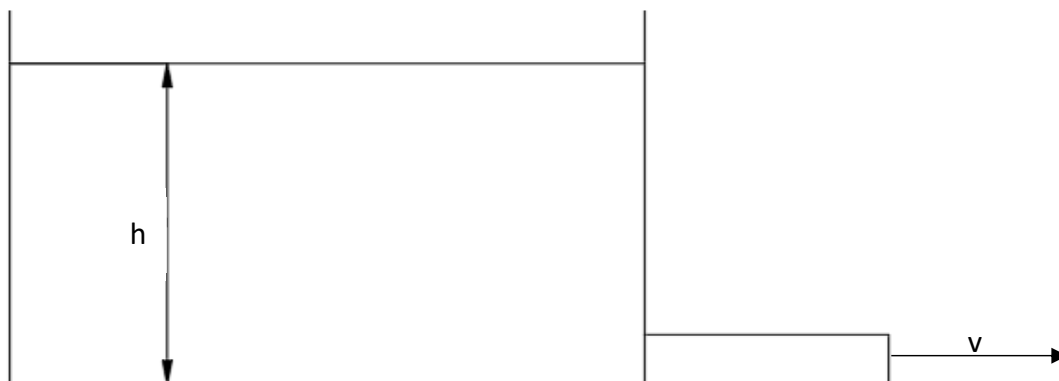


Ilustración 37. Representación de una fuga como una descarga a la atmosfera

Igualando la curva motriz y la curva resistente.

$$h = h_f = k_v \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 9

Como el caudal es el producto escalar de la velocidad por la sección.

$$p(mca) = h = k_v \cdot \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2g}$$

Ecuación 10

Donde A es el área de la sección de salida.

Despejando Q se obtiene.

$$Q = A \cdot \frac{\sqrt{2g}}{k_v} \cdot \sqrt{p(mca)}$$

Ecuación 11

Por otro lado, las tuberías son materiales elásticos, con lo que el área del orificio de salida varía en función de la presión una forma de modelizar este efecto es con la ecuación.

$$A = A_0 \cdot p^n$$

Ecuación 12

Sustituyendo la Ecuación 12 en la Ecuación 11 se obtiene.

$$Q = A_0 \cdot \frac{\sqrt{2g}}{k_v} \cdot p^{0,5+n}$$

Ecuación 13

Finalmente se agrupan los términos constantes y el exponente obteniendo la siguiente ecuación.

$$Q = k_l \cdot p^\gamma$$

Ecuación 14

Donde:

- k_l es el coeficiente emisor, proporcional al área de la fuga.
- γ es el exponente emisor [0,5; 2,5] proporcional a la elasticidad de la tubería.

Tras esta pequeña demostración matemática se ha obtenido la relación del caudal fugado con la presión además de los términos que se deben introducir en EPANET para modelar las fugas.

En primer lugar, se define el exponente emisor γ . El exponente emisor debe ser el mismo para toda la red ya que EPANET no da la opción de asignarlo individualmente a cada nudo. Por lo tanto, como solución de compromiso entre las tuberías rígidas de fibrocemento y las tuberías elásticas de polietileno se elige un exponente emisor $\gamma=1$.

Para determinar el coeficiente emisor k se debe seleccionar un día tipo. Para ello se opta por generar una tabla dinámica en Excel cuyas filas son el mes y las horas. Además, se definen las columnas como el promedio del consumo horario.

En una red cuya distribución de acometidas es similar a lo largo de la red se puede asignar el coeficiente emisor de forma proporcional a la longitud de tuberías conectadas al nudo, de la misma forma que se ha asignado la demanda base, pero en el caso de Sinarcas hay zonas con tuberías largas en las cuales no hay acometidas. Por otro lado, la relación que hay entre el número de acometidas y el volumen fugado, la longitud de tuberías y el volumen fugado es mayor en la relación de las acometidas. Por lo tanto, al no poder distribuir de una forma simple y representativa de la realidad, se opta por introducir el mismo coeficiente emisor en todos los nudos.

Tabla 7. Consumo medio horario por mes

Etiquetas de fila	Promedio de Horario (m³)
Enero	39,71
Febrero	42,86
Julio	43,48
Agosto	26,16
Septiembre	51,37
Octubre	49,23
Noviembre	45,42
Diciembre	43,55
(en blanco)	
Total general	43,81

Se elige el mes de enero como periodo de demanda baja. Ya que en el mes de agosto hubo problemas en la adquisición de datos del contador general (ver Ilustración 31). En la misma tabla dinámica se obtiene el consumo horario por hora del mes de enero. Además, se puede calcular el promedio de la red que corresponde a la demanda base global de la red en el caso.

Tabla 8. Demanda horaria de la red en periodos de demanda baja

Hora	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00
Consumo (m3/h)	32,45	32,18	30,75	30,29	29,56	29,92	32,22	36,86	39,70	43,03	44,40	46,11
Consumo (l/s)	9,01	8,94	8,54	8,41	8,21	8,31	8,95	10,24	11,03	11,95	12,33	12,81

Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Consumo (m3/h)	46,92	45,72	47,18	47,23	46,83	46,00	45,50	44,98	44,32	40,93	36,40	32,86
Consumo (l/s)	13,03	12,70	13,11	13,12	13,01	12,78	12,64	12,49	12,31	11,37	10,11	9,13

Una vez está definido el día de demanda baja definido se hace una simulación con las demandas base de demanda baja y se compara con el día tipo, tanto la evolución horaria como el promedio de los consumos.

Comparativa caudal simulado y día tipo

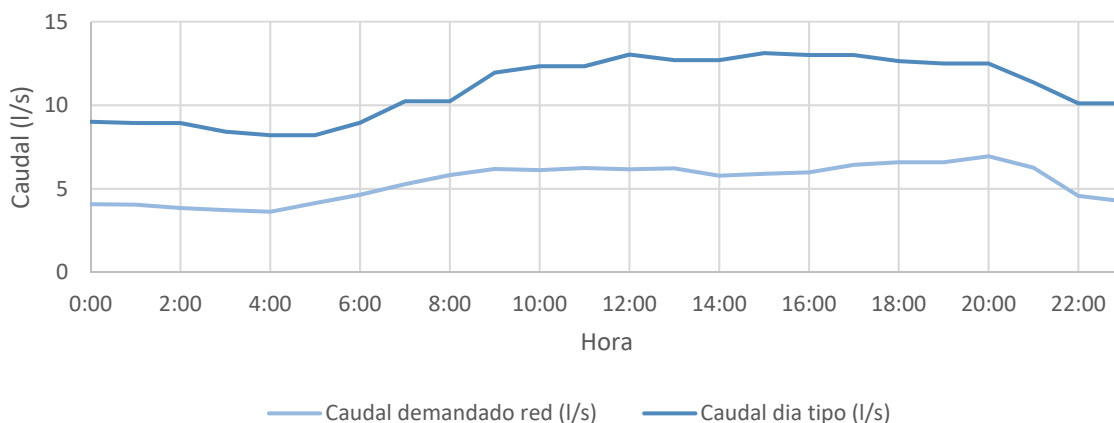


Ilustración 38. Comparativa entre simulación sin fugas y día tipo

Se aprecia en la Ilustración 38 que el volumen demandado entre el día tipo y la red sin fugas no coincide, se entiende como volumen al área que hay bajo las curvas. Al no poder calcular de forma rápida el coeficiente emisor, ya que depende de la presión de todos los nudos de la red que a la vez disminuye con las fugas, se opta por lanzar diferentes simulaciones con diferentes coeficientes emisores hasta que coincidan ambos volúmenes. El coeficiente emisor que hace coincidir ambos volúmenes es 0,000528.

Comparativa caudal simulado y día tipo

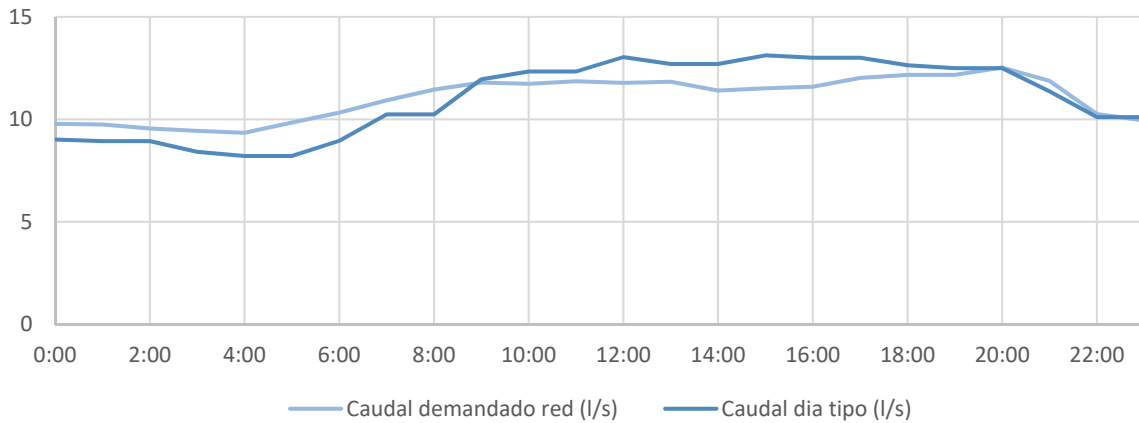


Ilustración 39. Comparativa entre simulación con coeficiente emisor $k=0,000528$ y día tipo

Con el coeficiente emisor $k = 0,000528$ se obtiene el mismo volumen consumido por la red a lo largo del día, pero no coinciden los caudales instantáneos en los mismos periodos de tiempo. El siguiente paso es ajustar la curva de modulación para que coincidan ambas gráficas. Este paso, al igual que la asignación del coeficiente emisor se realiza de forma manual debido a la complejidad de generar unas ecuaciones que permitan realizar este ajuste.

Comparativa caudal simulado y día tipo

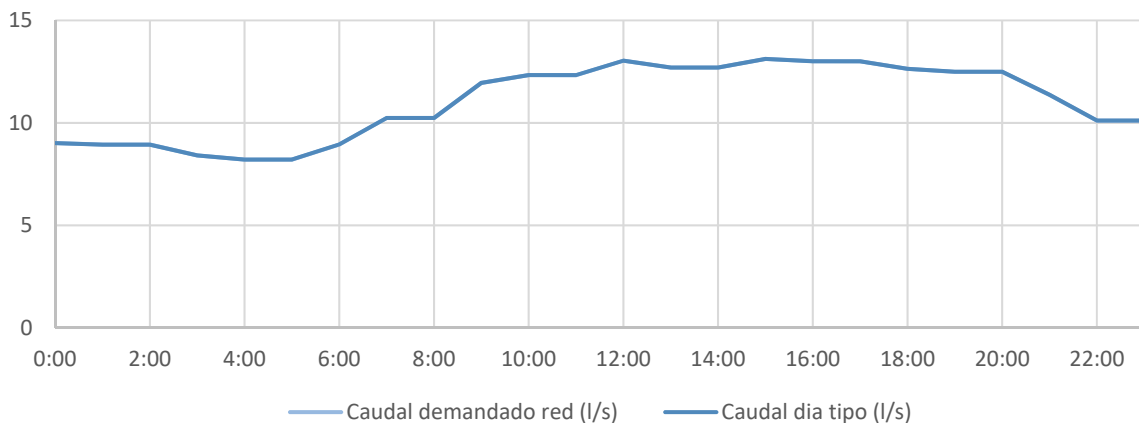


Ilustración 40. Comparativa entre simulación tras ajustar el patrón de demanda y día tipo

Con la curva de modulación ajustada se dispone de un modelo de la red representativo de los periodos de poca demanda de agua. Además, con el ajuste se ha obtenido el patrón de demanda de los consumidores de la red.

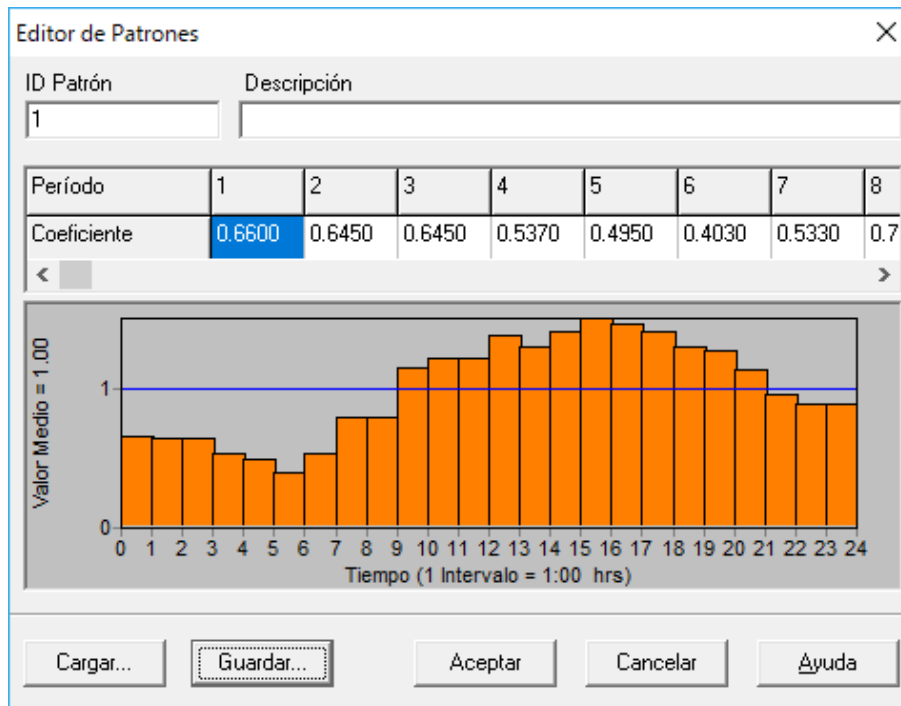


Ilustración 41. Patrón de demanda de los consumidores en invierno

Una vez conocidos el coeficiente emisor y el patrón de demanda en invierno se introducen estos datos en el modelo de verano. Modificando la demanda base de los nudos domésticos para que coincida con la población en verano, 1600 habitantes, se observa que el volumen demandado por el modelo matemático es ligeramente inferior al volumen inyectado en la red. Se consiguen igualar ambos volúmenes aumentando el 10% del consumo doméstico. Se ha modificado únicamente el consumo doméstico ya que la variación estacional del consumo en las granjas ha sido caracterizada por el personal del Ayto. de Sinarcas. Puede que esta caracterización sea incorrecta ya que en las granjas se utilizan evaporadores de agua para reducir la temperatura en el interior, aumentando el consumo de estas.

5.5 AUDITORÍA HÍDRICA

Una vez se dispone de la red ajustada a los caudales registrados por el contador general nos encontramos en disposición de realizar la auditoría hídrica. En esta auditoría se clasifica el volumen demandado por la red en función de cómo se ha consumido. Esta clasificación ya se ha mencionado anteriormente en el apartado 5.4 como introducción a las fugas y se ha representado en la Ilustración 36.

Por lo general, en una auditoría hídrica se trabajan con volúmenes, pero EPANET calcula los caudales instantáneos. En consecuencia, se requiere definir un periodo de tiempo como base del análisis. De esta forma se obtienen volúmenes en lugar de caudales. En este caso, por reciprocidad con el modelo matemático de EPANET, se decide establecer el periodo de referencia de un día.

EPANET no es capaz de distinguir directamente entre el caudal fugado y el caudal consumido. Para obtener los diferentes caudales se realiza un programa que lanza dos simulaciones y vuelca los resultados en una hoja de cálculo. La primera simulación lanzada lee las demandas de todos los nudos de la red, salvo los embalses, con el coeficiente emisor nulo, de esta forma se obtienen los consumos realizados por los usuarios. La segunda simulación lee las diferentes demandas de los nudos, entendiendo demanda como la suma del caudal consumido más el caudal fugado, y las vuelca en otra hoja de cálculo. A continuación, en el propio libro de Excel suma las demandas por horas y obtiene el caudal fugado a la hora a partir de las demandas de los nudos y el caudal consumido.

Esta auditoría se realiza tanto en periodo de demanda baja como en demanda alta obteniendo los siguientes resultados.

5.5.1 AUDITORÍA HÍDRICA EN PERIODOS DE DEMANDA BAJA

Tras realizar la simulación con las dotaciones en periodos de demanda baja se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 9. Demandas, consumos y fugas en periodos de demanda baja

Hora	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00
Caudal demandado (l/s)	9,01	8,94	8,94	8,41	8,21	8,21	8,95	10,24	10,24	11,95	12,33	12,33
Caudal consumido (l/s)	3,30	3,22	3,22	2,68	2,47	2,47	3,23	4,58	4,58	6,37	6,78	6,77
Caudal fugado (l/s)	5,71	5,71	5,71	5,73	5,74	5,74	5,72	5,66	5,66	5,58	5,56	5,56

Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Caudal demandado (l/s)	13,03	12,70	12,70	13,12	13,01	13,01	12,64	12,49	12,49	11,37	10,11	10,11
Caudal consumido (l/s)	7,52	7,17	7,19	7,63	7,52	7,51	7,10	6,94	6,93	5,75	4,45	4,45
Caudal fugado (l/s)	5,51	5,53	5,51	5,48	5,50	5,50	5,53	5,54	5,56	5,62	5,66	5,66

Pasando estos datos a metros cúbicos hora y agrupándolos se obtienen los principales volúmenes que participan en una auditoría hídrica. Además, el Ayuntamiento de Sinarcas ha indicado que el volumen facturado ese bimestre es de 26.255 m³. Dividiendo este valor entre el número de días del bimestre se obtiene una aproximación al volumen registrado de un día en periodos de demanda baja.

Tabla 10. Distribución de volúmenes tipo diarios del mes de enero

Volumen tipo	Volumen diario (m3/día)	Porcentaje
Volumen inyectado a la red (V)	952,22	100%
Volumen consumido (V _c)	465,67	48,9%
Volumen registrado (V _r)	430,40	45,2%
Volumen ausencia contador autorizado (V _{icaa})	46,44	4,88%
Volumen error en contadores (V _{ice}) más volumen ausencia contador ilegal (V _{icai})	-11,17	-1,17%
Volumen fugado (V _f)	486,55	51,1%

Representando esta información en un diagrama de proyección solar se puede comparar la distribución de volúmenes de una forma más intuitiva y visual. El volumen consumido se ha obtenido a partir de la dotación que se ha asignado a los nudos en el apartado 5.2. El volumen incontrolado consumido se ha obtenido a partir de las estimaciones facilitadas por el Ayuntamiento de Sinarcas. Por último, el término volumen incontrolado consumido por error de medida en los contadores (Vice) se ha obtenido mediante la siguiente ecuación. $V_{ice} = V_c - V_{icaa} - V_r$.

Volúmenes tipo en demanda baja

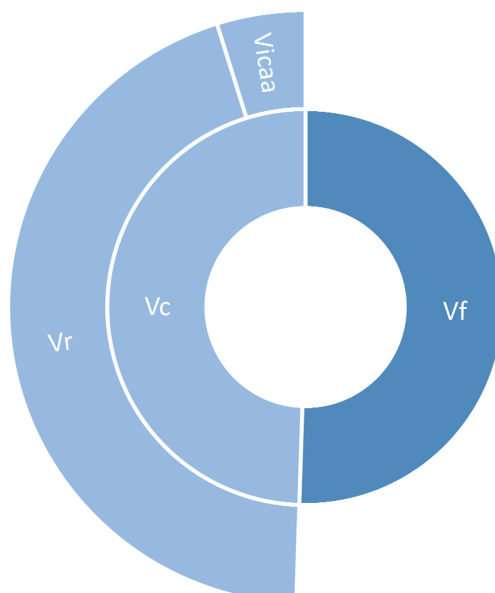


Ilustración 42. Representación de la distribución de volúmenes tipo diarios del mes de enero

Una vez graficados los diferentes volúmenes se pueden realizar diferentes observaciones que justifiquen el volumen incontrolado consumido por error de medida en los contadores negativo.

Primera opción. La legislación actual permite un error de media mayor al volumen consumido. Sin embargo, con la edad los contadores tienden a contabilizar menos volumen del que se consume. En Sinarcas, según el Ayuntamiento, los contadores son viejos, algunos se han renovado ya que han dejado de contabilizar, pero el resto sigue en uso a pesar de haber superado su periodo de vida útil.

Esta justificación no parece la adecuada debido al envejecimiento de los contadores.

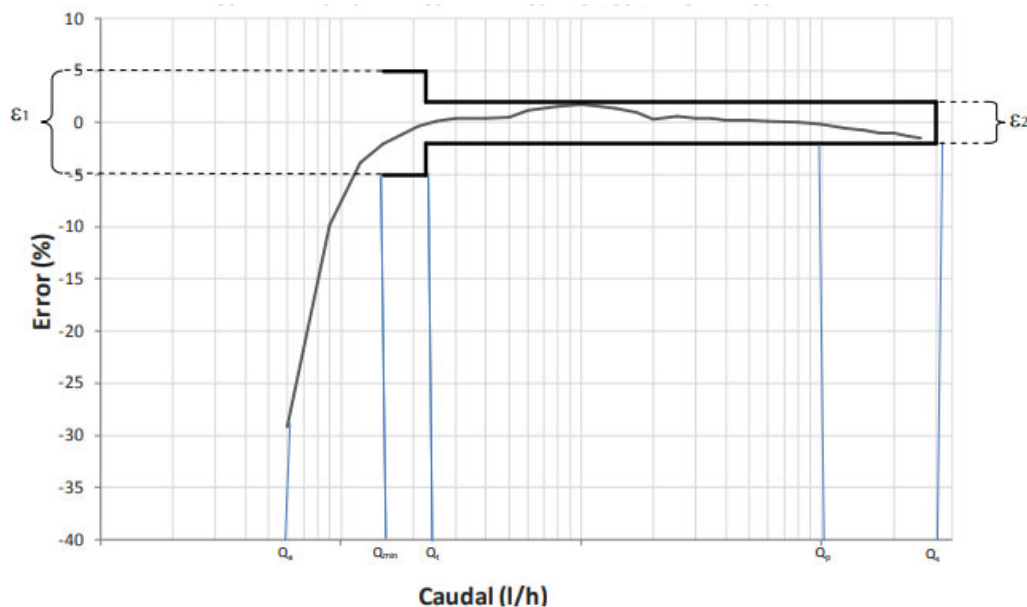


Ilustración 43. Curva de error de un contador (Evaluación del error global de medición de contadores domésticos nuevos, 2012)

Segunda opción. El error puede deberse a una mala estimación de la dotación, tanto de uso doméstico como las estimaciones de los consumos en los puntos de consumo sin contador. Al aumentar la dotación doméstica aumentaría el volumen consumido a la vez que aumenta el volumen incontrolado consumido, aunque la relación entre el volumen introducido a la red y el volumen fugado tiene el orden de magnitud esperado en una red de un pueblo rural. Por otro lado, al disminuir el volumen incontrolado consumido por ausencia de contador autorizado aumentaría el volumen incontrolado consumido por error de medida en los contadores.

Tercera opción. La aproximación del volumen registrado entre los días del periodo es incorrecta, incluso el periodo entre lecturas puede ser diferente a los 59 días que se ha estimado

Cuarta opción. Se ha introducido agua a la red desde el depósito Concejil y no se ha registrado en el contador general.

Todos estos errores, salvo la primera opción, se pueden solucionar instalando contadores con registro horario en los puntos de aportación de agua a la red (Relamina, Laguna y Ranera), y en los puntos de consumo, especialmente en los grandes consumidores y en los puntos de consumo sin contador.

5.5.2 AUDITORÍA HÍDRICA EN PERIODOS DE DEMANDA ALTA

Lanzando una simulación con las dotaciones características de periodos de demanda alta se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 11. Demandas, consumos y fugas en periodos de demanda alta

Hora	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00
Caudal demandado (l/s)	11,18	11,06	11,06	10,19	9,85	9,85	11,08	13,24	13,24	16,10	16,74	16,73
Caudal consumido (l/s)	5,53	5,40	5,40	4,50	4,15	4,14	5,42	7,67	7,67	10,68	11,36	11,35
Caudal fugado (l/s)	5,65	5,66	5,66	5,69	5,70	5,70	5,66	5,57	5,57	5,42	5,39	5,39

Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Caudal demandado (l/s)	17,92	17,36	17,37	18,07	17,90	17,89	17,26	17,01	16,95	15,08	13,03	13,03
Caudal consumido (l/s)	12,61	12,01	12,04	12,79	12,60	12,58	11,91	11,64	11,59	9,62	7,45	7,45
Caudal fugado (l/s)	5,31	5,35	5,33	5,28	5,30	5,31	5,35	5,37	5,36	5,46	5,57	5,57

De la misma forma que se ha hecho en el apartado anterior se agrupan los diferentes términos para obtener las diferentes porciones que conciben el volumen demandado diario. En este bimestre el volumen registrado en los contadores de los usuarios es de 24.695 m³. Este volumen es menor que en periodo de demanda baja. Esto significa que los periodos entre lecturas no corresponden con los días del bimestre, ya que en la lectura de contadores no participan las estimaciones realizadas en el apartado 5.2.

Tabla 12. Distribución de volúmenes tipo diarios del mes de septiembre

Volumen tipo	Volumen diario (m ³ /día)	Porcentaje
Volumen Inyectado (V)	1256,99	100%
Volumen consumido (V _c)	783,19	62%
Volumen registrado (V _r)	404,83	32%
Volumen ausencia contador autorizado (V _{icaa})	327,75	26%
Volumen error en contadores (V _{ice}) más volumen ausencia contador ilegal (V _{icai})	50,6	4%
Volumen fugado (V _f)	473,8	38%

Se representan las nuevas porciones en un gráfico de proyección solar para facilitar la interpretación de los datos.

Volúmenes tipo en demanda alta

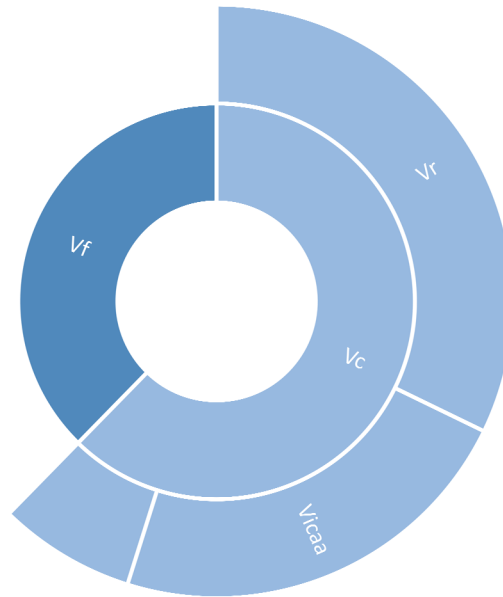


Ilustración 44. Representación de la distribución de volúmenes tipo diarios del mes de septiembre

Se observa que ha disminuido la proporción de volumen fugado respecto al mes de enero. Esto se debe a que al aumentar el consumo aumentan las pérdidas de carga en las tuberías, al aumentar las pérdidas de carga disminuye la presión en la red y con la presión disminuyen las fugas.

Otra porción destacable es el aumento del consumo en los puntos sin contador. En periodos estivales aumenta el consumo de agua en los abrevaderos para ganado y en los depósitos para agricultores.

5.6 INDICADORES DE FUGAS

Tradicionalmente las redes de agua se han comparado mediante rendimientos. Estos rendimientos relacionan en volumen consumido o registrado con el volumen suministrado a la red. En este caso, al no tener datos fiables de las mediciones, ya que no se dispone de las fechas de lectura de los contadores, juntamente al gran volumen que se consume sin ser registrado, no se van a evaluar los rendimientos que dependen de los contadores. Por lo tanto, se va a evaluar el rendimiento de la red que corresponde al volumen consumido entre el volumen inyectado. En este caso en invierno es del 48,9% y en verano es del 62%.

Estos indicadores no resultan adecuados, ya que incentivan a aumentar el consumo de agua para aumentar el rendimiento de la red. Por ese motivo la International Water Association (IWA en adelante) propone otros indicadores menos sensibles al consumo.

El primer indicador es el volumen incontrolado fugado por acometida y día (VIF). En Sinarcas no hay bloques de viviendas, sus residencias son viviendas unifamiliares. Eso quiere decir que el número de abonados coincide con el número de acometidas que corresponde a 980 abonados.

A partir de los datos obtenidos en ambas auditorías hídricas se calcula los litros/acometida y día en ambos periodos, cuyos resultados son 495 l / acometida y día en invierno y 483 l / acometida y día en verano.

Sin embargo, en este indicador sigue teniendo influencia el consumo de agua y las pérdidas de carga que esto supone. En consecuencia, surge el Índice de Fugas Estructural (IFE). Este indicador relaciona la cantidad de fugas con su situación ideal (Umbral Mínimo de Fugas (UMF)), en función de diversos parámetros. El UMF se obtiene a partir de la siguiente ecuación.

$$UMF = \frac{(A \cdot L_t + B \cdot N_a + C \cdot L_a) \cdot p}{N_a}$$

Ecuación 15

Donde:

- A es un valor fijo igual a 18.
- L_t es la longitud total de la red (km).
- B es un valor fijo igual a 0,8.
- N_a es el número de acometidas.
- C es un valor fijo igual a 25.
- L_a es la longitud total de acometidas (km).
- p es la presión media de la red (mca).

Aplicando la Ecuación 15 a la red de Sinarcas, estimando la longitud media de las acometidas en 7 m, con los valores de presión media en enero (40 mca) y en septiembre (36,8 mca) se obtiene un UMF de 94,18 l/acometida/día en enero y 86,73 l/acometida/día en septiembre.

Por otro lado, el índice de fugas estructural (IFE) se define mediante la siguiente ecuación.

$$IFE = \frac{VIF}{UMF}$$

Ecuación 16

Conociendo el VIF y el UMF en ambos periodos se obtiene el IFE, siendo de 5,14 en enero y 5,46 en septiembre. En el IFE el valor ideal es uno y empeora a medida que aumenta. Aplicado este concepto a los resultados obtenidos se observa que este indicador mejora en periodos en los que se consume menos agua.

Tabla 13. Valores del IFE en países en desarrollo y en vías de desarrollo (Liemberger & McKenzie, 2005)

		IFE	Litros/acometida/día				
			10 mca	20 mca	30 mca	40 mca	50 mca
Países desarrollados	A	1-2		<50	<75	<100	<125
	B	2-4		50 – 100	75 – 150	100 – 200	125 – 500
	C	4-8		100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500
	D	>8		>200	>300	>400	>500
Países en vías de desarrollo	A	1-2	<50	<100	<150	<200	<250
	B	4-8	50 – 100	100 – 200	150 – 300	200 – 400	250 – 500
	C	8-16	100 – 200	200 – 400	300 – 600	400 – 800	500 – 1000
	D	>16	>200	>400	>600	>800	>1000

Juntamente a la tabla los autores realizan la siguiente clasificación:

A: Excelente. No requiere ningún tipo de intervención, no resulta económico disminuir más las fugas.

B: Buena. No requiere ninguna acción urgente. Considerar un control activo de la presión y otros medios de disminución de fugas.

C: Pobre. Requiere analizar el nivel de fugas y su naturaleza para aplicar técnicas de reducción de fugas.

D: Malo. Uso ineficiente del agua. Requiere programas urgentes de reducción de fugas.

Analizando el valor del IFE con la Tabla 13 se obtiene que la red de Sinarcas se encuentra entre el rango C y el D, según como se entre en la tabla. En ambos casos que requiere localizar las fugas y repararlas.

6 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED

En este apartado se va a analizar diferentes parámetros del funcionamiento de la red. Este análisis permite conocer el funcionamiento de la red al igual que identificar y localizar fallos de diseño o comportamientos anómalos en una red de suministro de agua con las características de Sinarcas.

6.1 ANÁLISIS DE LAS PRESIONES MÁXIMAS

El primer análisis que se realiza es un estudio de las presiones máximas. Es importante controlar las presiones máximas ya que las presiones elevadas favorecen la aparición de averías y fugas. Ya se ha comentado con anterioridad la importancia y la relación que tienen las fugas con la presión de la red (ver apartado 5.4). Conocer los puntos de presiones máximas permite conocer zonas susceptibles a instalar válvulas reductoras de presión, con el fin de disminuir el nivel de fugas y prolongar la vida útil de la red.

Las presiones máximas de la red se producen en los periodos de menor consumo en la hora valle. Este intervalo de tiempo corresponde al consumo del mes de enero a las 4:00. EPANET permite representar un mapa de contorno con las presiones. De esta forma se puede conocer de forma rápida e intuitiva las zonas con presiones elevadas.

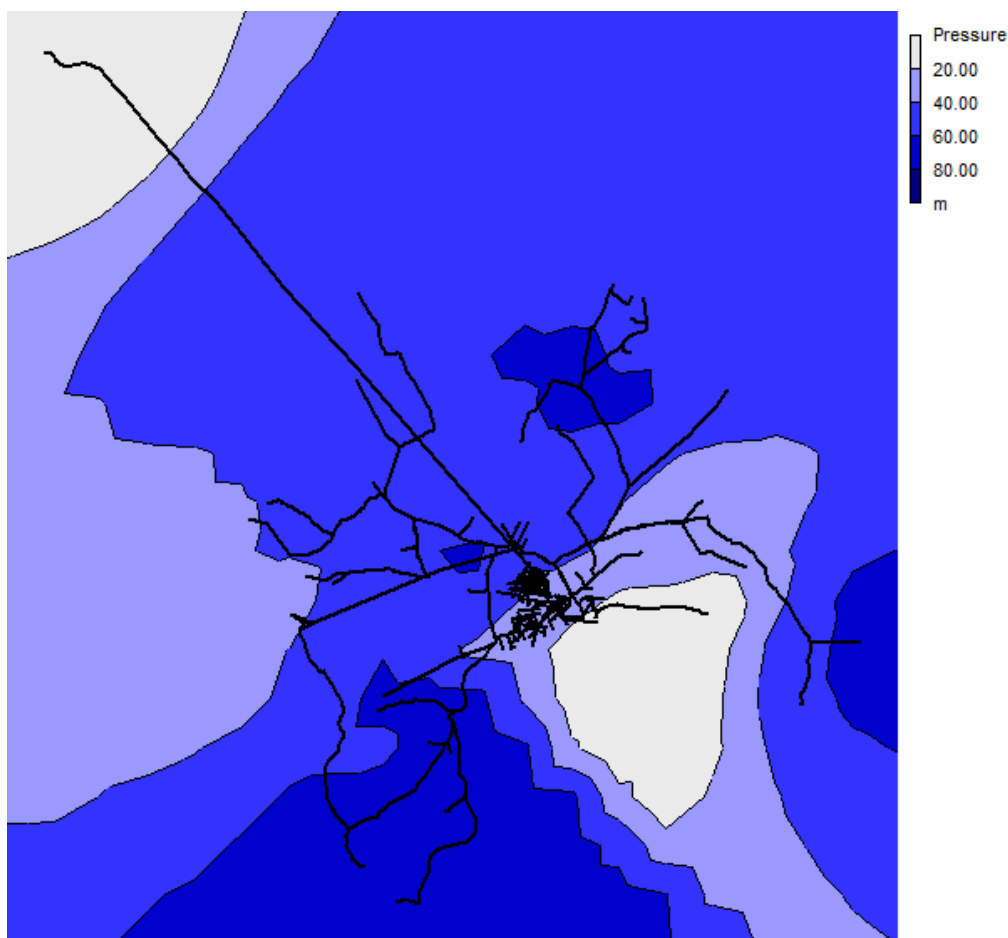


Ilustración 45. Mapa de contorno con las presiones máximas de la red

Se puede observar como en la parte sur de la red se localiza un área con presiones muy elevadas, entre 60 y 80 mca. Además, en esta zona los puntos de consumo se caracterizan por estar en los extremos de una red ramificada. Lo que supone que reducir las presiones en estas ramas no afectará a otros usuarios ubicados aguas abajo.

6.2 ANÁLISIS DE LAS PRESIONES MÍNIMAS

Como se ha comentado en el apartado anterior un nivel de presiones elevadas no es adecuado para la red. Sin embargo, un nivel deficiente de presión supondría que la red no es capaz de aportar el agua demandada por los usuarios, mal funcionamiento de los equipos instalados y, en el caso de disponer presiones negativas, la intrusión de agentes patógenos en la red.

Al contrario que las presiones máximas, las presiones mínimas se producen en los periodos de demanda alta en horas punta. Este periodo corresponde con el mes de septiembre a las 15:00. Volviendo a recurrir a los mapas de contorno se obtiene la distribución espacial de presiones mínimas.

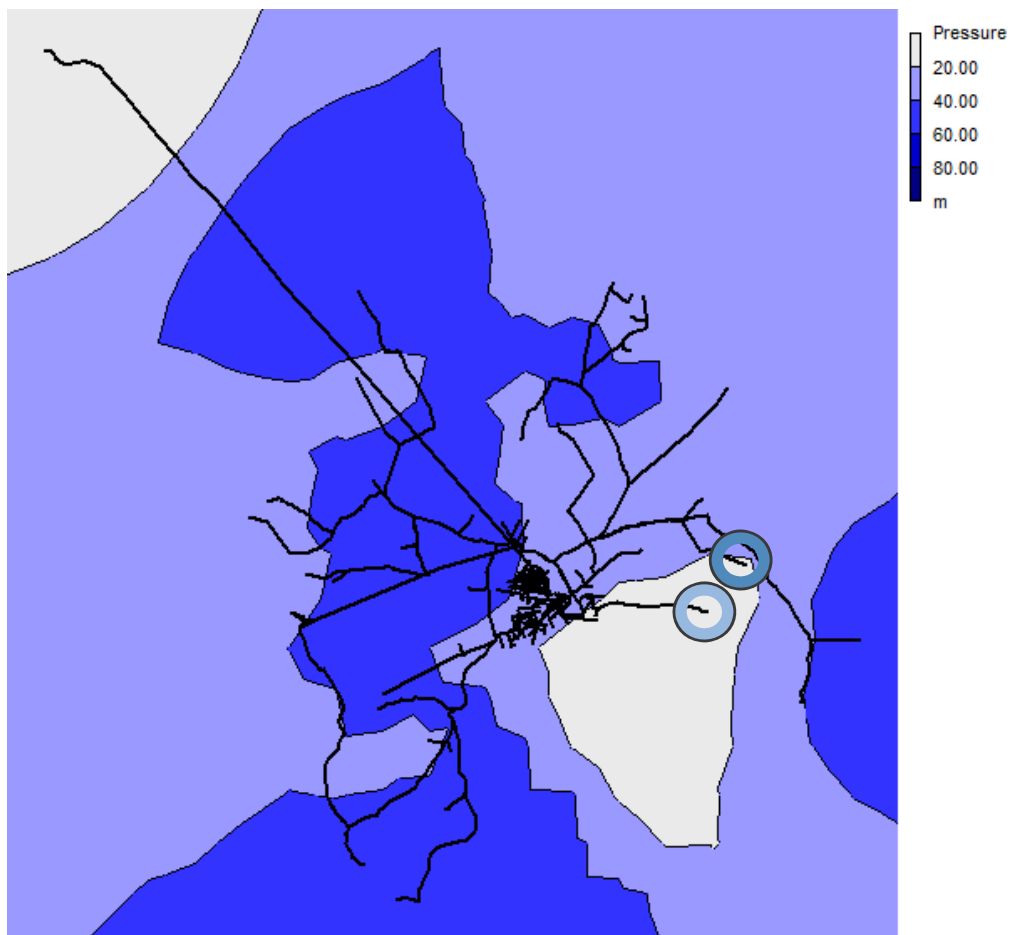


Ilustración 46. Mapa de contorno con las presiones mínimas de la red

Se observa en la Ilustración 46 que la mayoría de presiones se encuentran por encima de los 20 mca. Este es un valor adecuado para una red de agua de estas características. Sin embargo, se encuentran dos puntos de consumo con una presión inferior a los 20 mca. Estos puntos requieren un análisis más detallado.

Graficando las presiones de ambos nudos se obtienen la siguiente evolución temporal de presiones

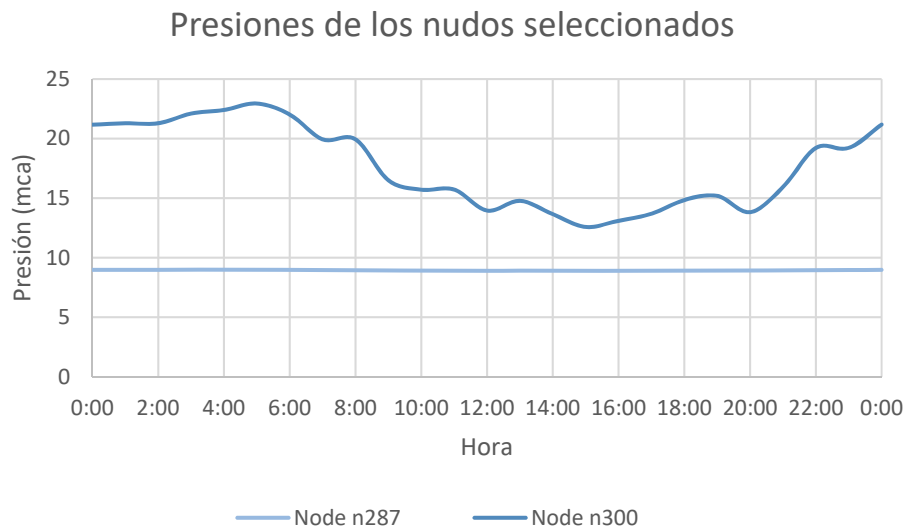


Ilustración 47. Evolución temporal en los puntos de consumo con presiones menores a 20 mca

Ambos nudos representan abrevaderos para ganado ubicados en el medio rural, su demanda base es 0,00298 l/s. Se observa que el nudo n300 tiene una variación de presiones de 11 mca. Esto se debe a los consumos ubicados aguas arriba de este nudo. Por otro lado, la presión en el nudo n287 es prácticamente plana sobre los 9 mca. Al tener presiones positivas no supone un riesgo de intrusión de agentes patógenos en la red. Además, al no ser un nudo con mucha demanda no supone un servicio deficiente del sistema de abastecimiento de agua.



Ilustración 48. Punto de consumo con la presión mínima de la red (Google Maps)

6.3 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS UNITARIAS MÁXIMAS

Otro punto importante en una red de distribución de agua es el dimensionado de las tuberías. Un diámetro demasiado pequeño produce mayor pérdida de carga. Esto supone más energía disipada por la red en forma de fricción. En este apartado se va a determinar que tuberías tienen una pérdida de carga unitaria elevada, es decir las que disipan más energía por unidad de longitud. Antes de proceder con este análisis se deben tener una serie de consideraciones.

En primer lugar, se ha simplificado la red sustituyendo los depósitos como embalses. Esto supone que la pérdida de carga entre embalses (Relamina – Concejil, Concejil – Viejo, Nuevo – Viejo), indiferentemente del diámetro de la tubería, serán la diferencia de cotas partido entre la longitud del conducto, ya que no se han añadido válvulas en el modelo. Modificar el diámetro en estas tuberías supondría una modificación del caudal, pero no de la pérdida unitaria.

En segundo lugar, se debe contemplar la incertidumbre de los datos de partida, ya que no se disponen de planos en la fase de proyecto ni un registro de modificaciones. Los planos que se disponen en la actualidad se han realizado a posteriori de su instalación y sin verificar los datos, lo que significa que los planos no tienen que corresponder con la realidad. Por lo tanto, habrá que revisar los diámetros las tuberías con una pérdida unitaria elevada. De esta forma se verificarán los datos de partida del modelo matemático.

Los valores habituales de pérdidas unitarias son del orden de magnitud de 2 o 3 m/km, en algunos casos excepcionales pueden alcanzar los 10 m/km. Con esta información se ha representado la pérdida unitaria en las tuberías a las 15:00 en el mes de septiembre, que corresponde al periodo con mayores pérdidas de carga.

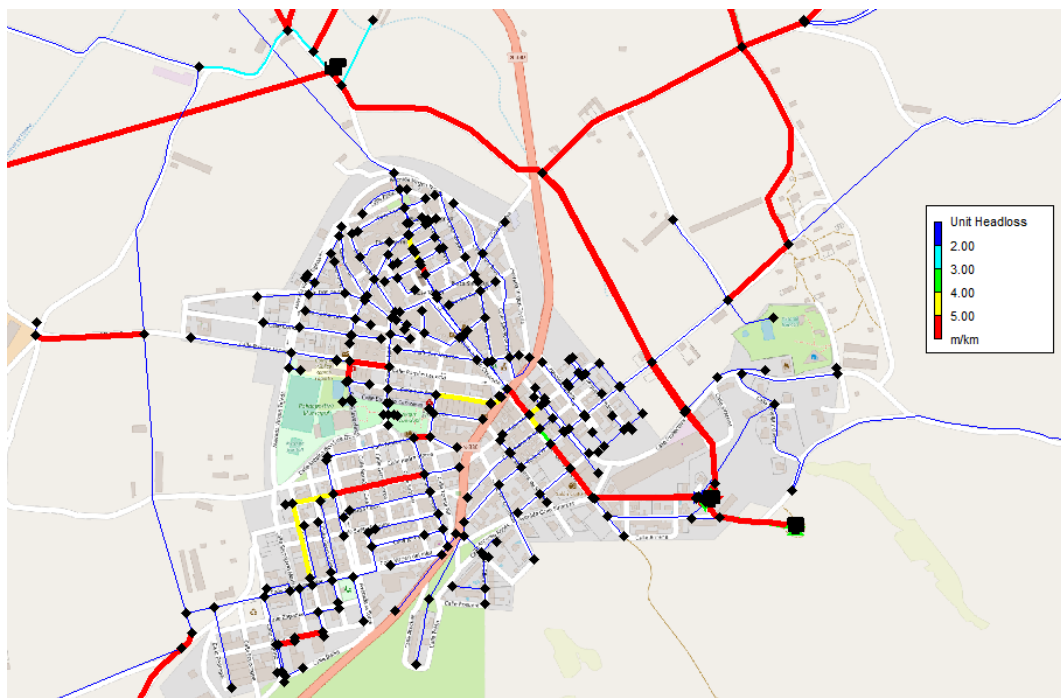


Ilustración 49. Pérdidas unitarias en la zona urbana

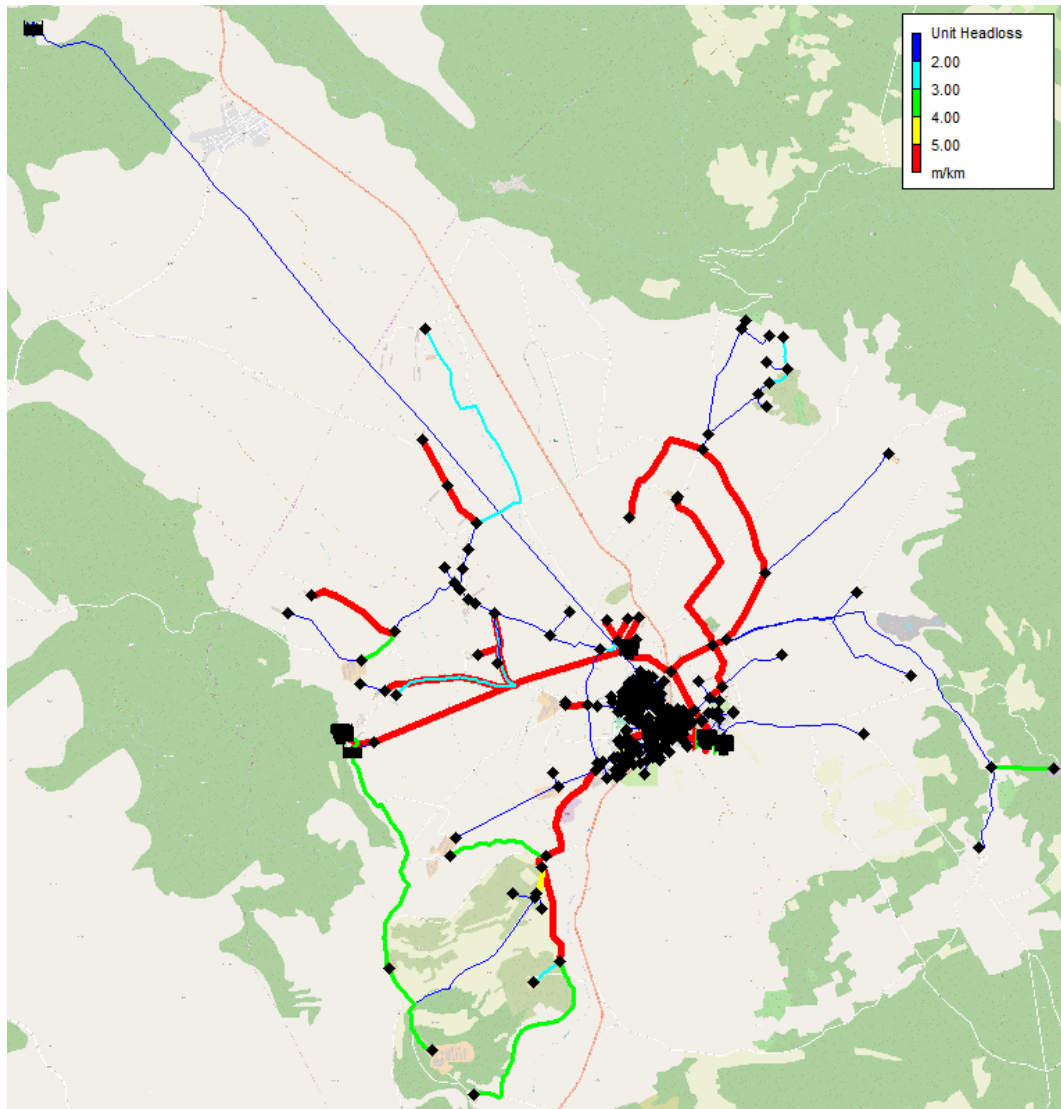


Ilustración 50. Pérdidas unitarias en la red

Se pueden observar un elevado número de tuberías con una pérdida unitaria elevada. En la mayoría de los casos son tuberías que no pertenecen al Ayuntamiento de Sinarcas (ver Ilustración 7). Esto supone que no existe la posibilidad de reemplazar estas tuberías por otras de mayor diámetro. Sin embargo, esta información resulta útil, ya que, en determinadas ocasiones los propietarios de estas tuberías comunican la falta de presión en sus instalaciones. Esta falta de presión puede deberse al infradimensionado de las tuberías.

7 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

El paso previo a la auditoría energética es la fase de diagnóstico. El diagnóstico energético permite caracterizar e identificar los principales ahorros potenciales de energía. Este diagnóstico, propuesto por la Dra. Gómez en su Tesis (2016), consiste en comparar el sistema actual con el sistema con menores requisitos energéticos.

Como se ha mencionado en el apartado 2.1, Sinarcas se encuentra a una altura de 900m. Para simplificar los cálculos energéticos se recomienda ajustar las cotas de forma que la cota mínima de la red coincida con cero.

En primer lugar, se va a presentar el sistema ideal en una red de suministro de agua. El agua originalmente se encuentra en un punto de captación con una cota (h_{ni}). Para abastecer a la red se requiere un aporte energético a través de una bomba, la cual aportará una altura (h_{pi}). Por otro lado, la red de agua se encuentra a diferentes cotas (Z_j), a las cuales se les debe abastecer una presión mínima (p_0 en mca). Sin embargo, para poder abastecer a los puntos más elevados, se requiere aumentar la presión en toda la red. La diferencia entre la altura mínima requerida para abastecer a toda la red ($Z_h + p_0$) y la altura mínima requerida por los usuarios ($Z_j + p_0$), es la presión topográfica (p_{jt}). Finalmente, la diferencia entre la altura mínima requerida para abastecer a toda la red y la altura del depósito de cabecera se define como presión en exceso ideal (p_{ei}).

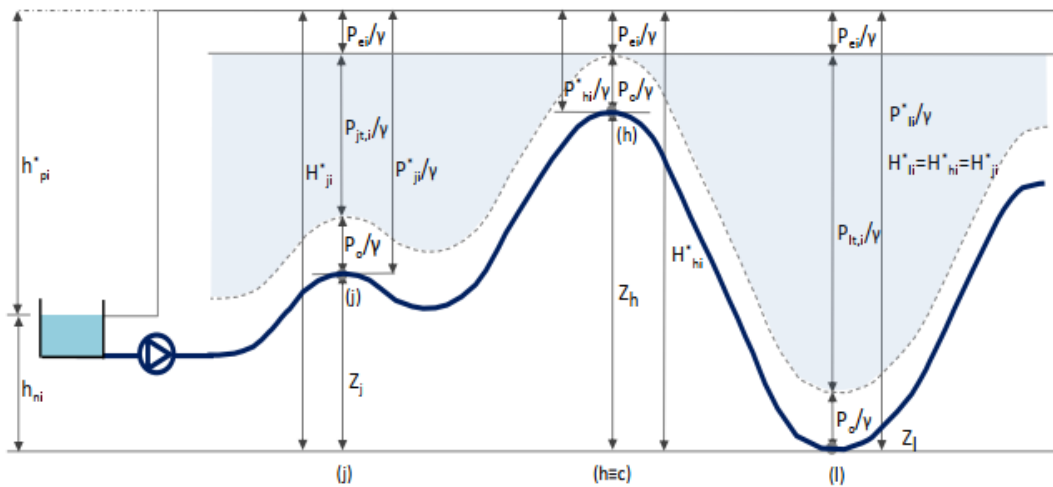


Ilustración 51. Sistema ideal de agua a presión (Gómez Selles, 2016)

Una vez presentado el caso ideal se procede a calcular la energía mínima requerida por los usuarios. Esta corresponde con la integral de t_0 a t_f del peso específico del agua (γ) por el caudal consumido ($Q_{cons}(t)$) por la cota (Z_j) + la presión mínima de servicio (p_0).

$$E_{uo} = \int_{t_0}^{t_f} \gamma \cdot Q_{cons}(t) \cdot (Z_j + p_0) \cdot dt$$

Ecuación 17

Por otro lado, existe la energía topográfica. Esta energía se puede reducir, modificando el diseño de la red, o se puede recuperar mediante el uso de bombas como turbinas, conocidas como PATs (pumps as turbine). La energía topográfica es la energía que se consume de más en los puntos de menor cota, para poder abastecer al punto de mayor cota. Corresponde con la integral de t_0 a t_f del peso específico del agua (γ) por el caudal consumido ($Q_{cons}(t)$) por la cota máxima Z_h menos la cota (Z_j) y la presión mínima de servicio. Expresada matemáticamente con la siguiente ecuación.

$$E_{ti} = \int_{t_0}^{t_f} \gamma \cdot Q_{cons}(t) \cdot (Z_h - Z_j - p_0) \cdot dt$$

Ecuación 18

Por último, el término de exceso de energía corresponde a la presión que extra que se puede suministrar a la red. Corresponde con la integral de t_0 a t_f del peso específico del agua (γ) por el caudal consumido ($Q_{cons}(t)$) por exceso de presión (P_{ei}). Expresada matemáticamente con la siguiente ecuación.

$$E_{ei} = \int_{t_0}^{t_f} \gamma \cdot Q_{cons}(t) \cdot p_{ei} \cdot dt$$

Ecuación 19

Una vez clasificada la energía según su uso, se calcula la energía suministrada ideal (E_{si}) como la suma de la energía mínima requerida por los usuarios, más la energía topográfica ideal, más el exceso de energía ideal.

Con el fin de clasificar la red se calcula el rendimiento ideal de la red y la proporción de energía topográfica con las siguientes ecuaciones.

$$\eta_{ai} = \frac{E_{uo}}{E_{si}}$$

Ecuación 20

$$\theta_{ti} = \frac{E_{ti}}{E_{si}}$$

Ecuación 21

De nuevo se recurre a la programación de Toolkit de EPANET para obtener estos valores. En este caso se ha diseñado un programa, cuyo código se adjunta en el ANEXO 2. CÓDIGOS DE TOOLKIT DE EPANET, que realiza conjuntamente el diagnóstico energético y la auditoría energética. Se ha optado por hacer el programa conjunto debido a la relación entre los datos que se utilizan en ambas fases.

A la hora de realizar el diagnóstico energético se han tenido las siguientes consideraciones:

- La presión mínima de servicio son 20 mca.
- La altura a la que se abastece la red coincide con la cota de solera del depósito más elevado.

Con estas consideraciones se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 14. Resultados del diagnóstico energético

E_{uo} (kWh)	178,57
E_{ti} (kWh)	60,61
E_{ei} (kWh)	-19,46
E_{si} (kWh)	219,72
η_{ai} (-)	0,81
θ_{ti} (-)	0,28

En primer lugar, se destaca un exceso de energía negativa. Esto significa que hay zonas en las que se suministra agua con una presión menor que la presión mínima de servicio. Esto se puede verificar en la Ilustración 45, ya que incluso en los periodos de presiones máximas hay zonas con presiones menores a los 20 mca.

El otro valor relevante es la proporción de energía topográfica. En la metodología propuesta por la Dra. Gómez en su tesis se propone modificar la configuración del sistema con proporciones de energía topográfica mayores a 0,15.

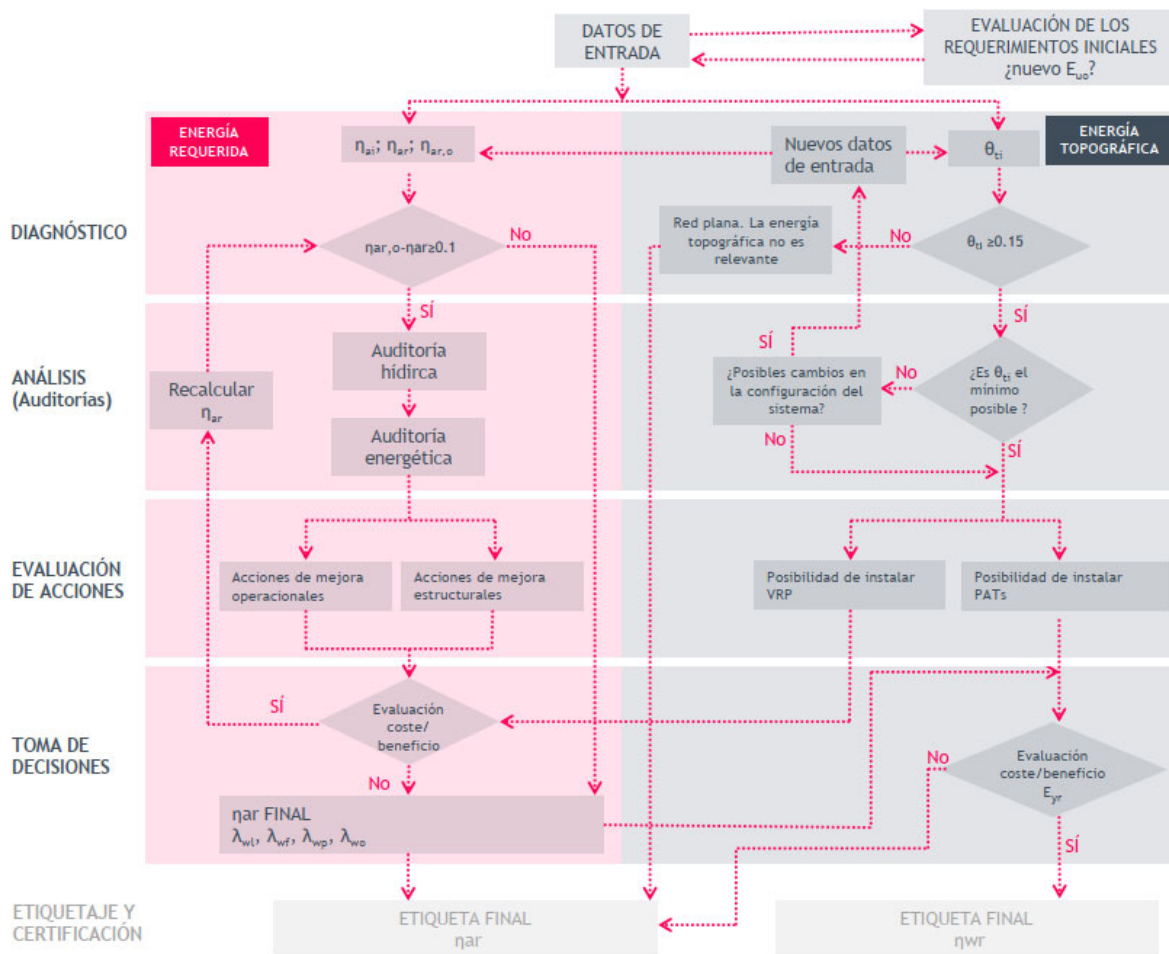


Ilustración 52. Metodología propuesta por la Dra. Gómez (Gómez Selles, 2016)

Una vez analizado el caso ideal se plantea el caso real. En el caso real existen otros agentes que consumen energía. Estos otros agentes son las pérdidas por fricción (E_{fr}), la energía embebida en las fugas (E_{ri}) y la energía perdida en las estaciones de bombeo (E_{rb}). Con estos nuevos factores el perfil de presiones se modifica.

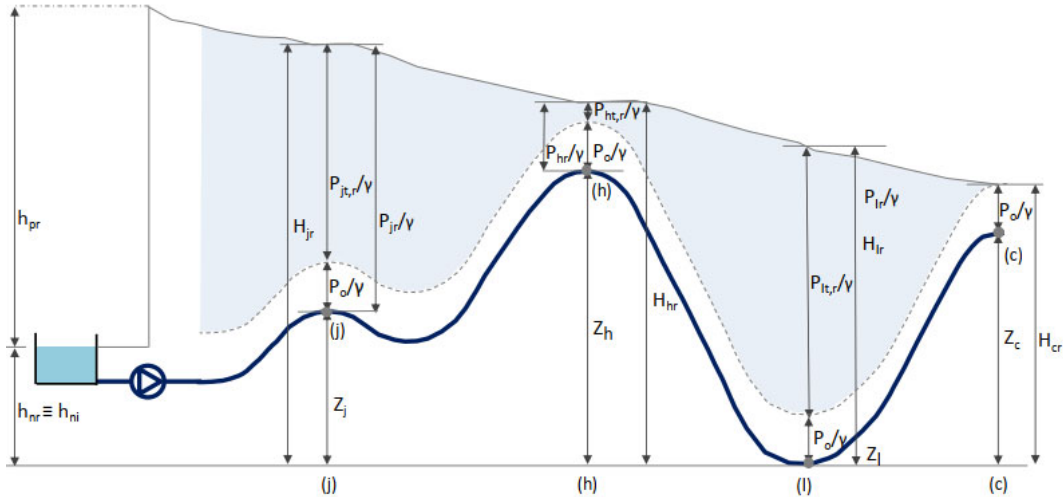


Ilustración 53. Sistema real de agua a presión (Gómez Selles, 2016)

Sin embargo, en esta fase previa a la auditoría, no es fácil determinar la proporción que corresponde a cada agente. Con el fin de obtener un indicador representativo que relacione el sistema ideal con el sistema utópico se calcula el rendimiento real. Este rendimiento se calcula a partir de la energía facturada.

$$\eta_{ar} = \frac{E_{uo}}{E_{sr}}$$

Ecuación 22

Según la factura del mes de enero de 2019 se consumieron 13.589 kWh, que corresponden con un promedio de 438 kWh. De esta forma se obtiene un rendimiento real de 0,407 que es prácticamente la mitad del rendimiento ideal, a esta relación falta el aporte energético que proviene de la energía natural del manantial Ranera. Esto implica un margen de maniobra bastante elevado.

8 BALANCE ENERGÉTICO

En este apartado se va a realizar un balance energético. Este balance permite conocer la proporción del aporte de energía distribuido entre las bombas y la energía natural, en que se emplea esa energía, cuál es la energía realmente necesaria para abastecer a la red, etc. En primer lugar, se va a realizar un breve desarrollo teórico sobre cómo se realiza este balance y que elementos participan

Este balance parte del Teorema de Arrastre de Reynolds (TAR en adelante).

$$\frac{d\vec{H}}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint_{V.C.} \rho \cdot \vec{h} \cdot dV + \iint_{S.C.} \rho \cdot \vec{h} \cdot \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

Ecuación 23

Sin entrar en detalle del procedimiento, ya que es un concepto básico de mecánica de fluidos, se aplica el TAR a la propiedad energía para obtener la ecuación integral de la energía.

$$\frac{dCalor}{dt} + \frac{dW_{eje}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{V.C.} \left(u + g \cdot z + \frac{v^2}{2} \right) \cdot \rho \cdot dV + \int_{S.C.} \left(u + \frac{p}{\rho} + g \cdot z + \frac{v^2}{2} \right) \cdot \rho \cdot \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

Ecuación 24

Donde:

- $\frac{dCalor}{dt}$ es la potencia calorífica que intercambia el volumen de control con el exterior.
- $\frac{dW_{eje}}{dt}$ es la potencia mecánica intercambiado con el sistema a través de las bombas o turbinas (si existieran).
- u es la energía interna del sistema
- g es la aceleración de la gravedad.
- z es la cota.
- v es la velocidad.
- ρ es la densidad.
- V es el volumen.
- p es la presión.
- A es el área.

Una vez presentada la ecuación se van a realizar una serie de simplificaciones. En primer lugar, no hay intercambio de calor entre el contorno del volumen de control. En segundo lugar, el termino $\frac{v^2}{2}$ es despreciable frente a la presión o la cota. En tercer lugar, el comportamiento de la red es cíclico, al repetir periódicamente los valores de presión, velocidad y temperatura en el interior del volumen de control no hay variación temporal y por lo tanto la variación de energía interna es nula. Por último, se define la altura piezométrica como $H_p = \frac{p}{\gamma} + z$, que multiplicado por la gravedad queda $g \cdot H_p = \frac{p}{\rho} + g \cdot z$. Además, el diferencial de volumen en depósitos de sección constante se puede descomponer como el área de la base por el diferencial de z, $dV = A \cdot dz$.

$$\frac{dW_{eje}}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{V.C} (g \cdot z) \cdot \rho \cdot A \cdot dz + \int_{S.C.} (u + g \cdot H_p) \cdot \rho \cdot \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

Ecuación 25

Operando se obtiene.

$$\begin{aligned} W_{eje} + \gamma \cdot t \cdot \sum_{ent=1}^{N_{ent}} Q_e \cdot H_e \\ = \frac{\gamma}{2} \cdot \sum_{dep=1}^{N_{dep}} A_{dep} \cdot (z^2(tf) - z^2(ti)) + \gamma \cdot t \cdot \sum_{sal=1}^{N_{sal}} Q_s \cdot H_s + \gamma \cdot t \cdot \sum_{tub=1}^{N_{tub}} Q_{tub} \cdot \Delta H_{tub} \end{aligned}$$

Ecuación 26

Donde:

- W_{eje} es la energía que aportan las bombas al sistema.
- $\gamma \cdot t \cdot \sum_{ent=1}^{N_{ent}} Q_e \cdot H_e$ es la energía aportada por las entradas de agua.
- $\frac{\gamma}{2} \cdot \sum_{dep=1}^{N_{dep}} A_{dep} \cdot (z^2(tf) - z^2(ti))$ es la energía acumulada o cedida en los depósitos.
- $\gamma \cdot t \cdot \sum_{sal=1}^{N_{sal}} Q_s \cdot H_s$ es la energía que sale del sistema, incluye caudales consumidos y fugas.
- $\gamma \cdot t \cdot \sum_{tub=1}^{N_{tub}} Q_{tub} \cdot \Delta H_{tub}$ es la energía disipada por pérdidas de carga.

Una vez planteado el balance energético se complementa el programa de toolkit que realiza el diagnóstico energético (se encuentra en el ANEXO 2. CÓDIGOS DE TOOLKIT DE EPANET). Este programa lee los diferentes parámetros indicados en la Ecuación 26 y actualiza los valores de los distintos aportes y consumos de energía de forma que emula la integral potencia por diferencial de tiempo. Además, se lanza una segunda simulación sin fugas para determinar que porción de la energía disipada por fricción corresponde al caudal fugado.

8.1 AUDITORÍA ENERGÉTICA EN PERIODOS DE DEMANDA BAJA

Lanzando el programa con el archivo cuyos consumos son los del mes de enero se obtienen los resultados con el periodo de mayores fugas se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 15. Resultados de la auditoría energética en periodos de demanda baja

Auditoría energética (Energías en kWh)	
Caso con fugas	
Energía natural (E_n)	182
Energía bombeo útil (E_{bu})	283
Energía bombeo real (E_b)	374
Energía consumida por usuarios (E_{cu})	209
Energía consumida requerida (E_{cur})	178
Energía consumida topográfica (E_{cut})	31
Energía fugas (E_i)	240
Energía fricción (E_f)	102
Energía potencial depósitos (E_{pd})	-69
Caso sin fugas	
Energía fricción (E_{fsf})	55

A partir de los datos de la Tabla 15 se calcula la energía perdida en las bombas (E_{bp}) como la energía de bombeo real (E_b) menos la energía de bombeo útil (E_{bu}). La energía disipada por fricción de las fugas (E_{ff}) como la energía disipada por fricción (E_f) menos la energía disipada por fricción sin fugas (E_{fsf}). Con estos datos se representa un gráfico de proyección solar que permite visualizar de forma más intuitiva los puntos con mayor potencial de mejora.

Balance de energías en el sistema en demanda baja

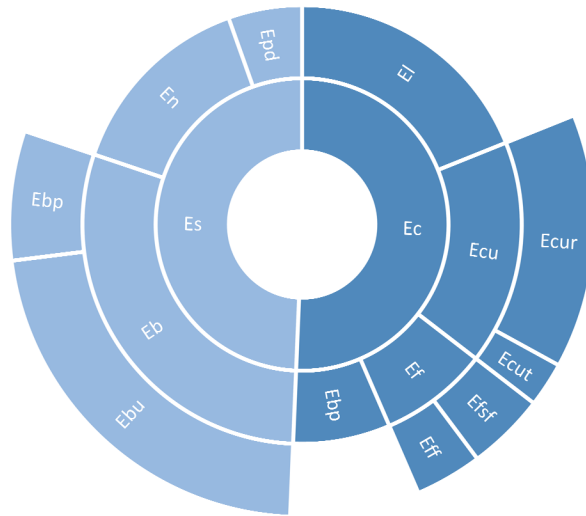


Ilustración 54. Balance de energías en enero

Se destaca la importancia de las fugas en el balance energético, ya que el término de energía embebida por las fugas es mayor que la energía consumida por los usuarios, de forma conjunta la requerida y la topográfica, además de las pérdidas energéticas disipadas por fricción del volumen fugado. Otra característica a destacar es la similitud entre la energía natural (E_n) y la energía requerida por los usuarios (E_{cur}). Disminuyendo las fugas y la energía disipada en fricción se podría disminuir gran parte de la energía aportada por el bombeo. Siempre y cuando el manantial sea capaz de abastecer las necesidades de la red

Por último, comentar que se está produciendo un error, referido a la energía suministrada, del 3,55% que equivale a 17 kWh. Por ese motivo las porciones de energía suministrada (E_s) y la energía consumida (E_c) no terminan de ser simétricos.

8.2 AUDITORÍA ENERGÉTICA EN PERIODOS DE DEMANDA ALTA

A continuación, se lanza de nuevo el programa en el periodo de demanda alta. Como es previsible va a disminuir la proporción de energía embebida en las fugas (E_i) y va a aumentar la energía disipada por fricción (E_f). Tras lanzar el programa se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 16. Resultados de la auditoría energética en periodos de demanda alta

Auditoría energética (Energías en kWh)	
Caso con fugas	
Energía natural (E_n)	182
Energía bombeo útil (E_{bu})	550
Energía bombeo real (E_b)	727
Energía consumida por usuarios (E_{cu})	346
Energía consumida requerida (E_{cur})	301
Energía consumida topográfica (E_{cut})	45
Energía fugas (E_i)	232
Energía fricción (E_f)	190
Energía potencial depósitos (E_{pd})	-38
Caso sin fugas	
Energía fricción (E_{fsf})	65

Se obtienen la energía de pérdidas en el bombeo (E_{bp}) y la energía disipada por fricción del volumen fugado (E_{ff}) de la misma forma que se ha calculado en el apartado anterior.

Balance de energías en el sistema en demanda alta



Ilustración 55. Balance de energías en septiembre

De la Ilustración 55 se extrae la siguiente información. En primer lugar, la energía potencial de los depósitos, porción sin nombre dentro de energía suministrada (E_s), viene suministrada por las bombas.

En segundo lugar, se ha reducido la proporción de energía embebida en las fugas (E_i) respecto los periodos de demanda bajas, tal como se había previsto. En tercer lugar, se observa que la energía de bombeo útil es prácticamente el doble de la que requieren los usuarios. Esta energía se invierte en vencer pérdidas por fricción elevadas debido a un diámetro de tuberías insuficiente (ver apartado 6.3) y en transportar agua que no será consumida.

De la auditoría hídrica y la auditoría energética se obtienen los campos con mayor potencial de mejora. Estos campos son la reducción de fugas y la reducción de pérdidas por fricción.

9 PROPUESTAS DE MEJORA

En este apartado se van a proponer una serie de medidas de mejora. En primer lugar, se van a proponer una serie de medidas que ayuden a verificar el modelo y la obtención de datos reales. En segundo lugar, se van a proponer medidas de mejora que permitan gestionar la red de agua potable de una forma más eficiente.

9.1 PROPUESTAS DE MEJORA DEL MODELO MATEMÁTICO Y LOS DATOS DE PARTIDA

Como ya se ha comentado a lo largo del documento, la mayoría de los datos de entrada son estimaciones, las cuales se han realizado con fuentes de confianza como el INE o la experiencia propia de los técnicos del Ayuntamiento. Aun así, es probable que los datos no correspondan con la realidad. En consecuencia, el modelo matemático está simulando un escenario el cual no corresponde con el comportamiento habitual de la red.

9.1.1 VERIFICACIÓN DE LOS DIÁMETROS DEL MODELO MATEMÁTICO

Durante la elaboración de la base del modelo matemático se han corregido, con la ayuda del fontanero municipal, aquellos diámetros que presentaban problemas a la hora de realizar la simulación. Sin embargo, es probable que algunos de los conductos con una pérdida unitaria por encima de 5 mca/km no corresponda con el diámetro real (ver apartado 6.3) A la hora de verificar los diámetros es importante recordar que los diámetros introducidos en EPANET corresponden con el diámetro interior de la tubería.

9.1.2 INSTALACIÓN DE CONTADORES EN LAS FUENTES DE SUMINISTRO DE AGUA

En la actualidad únicamente existe un contador general que se encuentra a la salida del depósito viejo. Sin embargo, existen una cantidad de elementos y tuberías aguas arriba del contador general. Estos elementos son susceptibles de tener fugas y/o acometidas ilegales. Se recomienda instalar contadores en los puntos de captación de agua de la red. Estos puntos son el manantial de Ranera, y los pozos de la Relamina y de la Laguna. A la hora de instalar los contadores hay que tener en cuenta las recomendaciones del fabricante como la distancia que debe respetar entre el contador y los codos ubicados aguas arriba y aguas abajo.

Al instalar estos contadores se estará controlando las fugas en la red, fugas en los equipos de bombeo y valvulería, infiltraciones en los depósitos y la detección de acometidas ilegales. Además, midiendo en esos puntos no se falsea la auditoría hídrica cuando se inyecta agua a la red desde el Concejal.

9.1.3 RENOVACIÓN E INSTALACIÓN DE CONTADORES EN LOS PUNTOS DE CONSUMO

En las reuniones que se han realizado a lo largo del trabajo con el Ayuntamiento de Sinarcas se ha comentado la antigüedad de algunos de los contadores. Juntamente a la falta de contadores en algunos puntos de consumo, como los depósitos para agricultores, se propone realizar una serie de campañas que permitan renovar el parque de contadores e introducirlos en los puntos que actualmente carecen de ellos. De cara a la obtención de datos representativos se recomienda contadores con telelectura. De esta forma, además de facilitar la facturación del agua y la obtención del volumen a facturar, permite obtener los consumos horarios con los que se puede obtener la curva de modulación real en los puntos de consumo en lugar de introducir patrones de demanda tipo.

9.1.4 INSTALACIÓN DE REGISTRADORES DE PRESIÓN

Uno de los pasos que no se ha realizado ha sido la calibración del modelo matemático. Este paso es importante ya que permite asegurar que el modelo matemático corresponde con la realidad. En la calibración del modelo se comparan los caudales y las presiones del modelo con la realidad. Con la incorporación de las medidas de mejora anteriores se puede controlar el caudal. En caso de querer mayor precisión se pueden instalar contadores en algunos tramos intermedios, pero en un principio no son necesarios.

El otro campo que se requiere para la calibración es la presión. En esta fase se caracterizan las pérdidas de carga, tanto las localizadas como las pérdidas por fricción en las tuberías. De esta forma se puede caracterizar un aumento de la rugosidad del interior de la tubería o una reducción del diámetro debido a los sedimentos que se han depositado en las paredes. Para este proceso se requiere la instalación de registradores de presión. Al ser una red con depósitos es importante conocer la altura de la lámina de agua en los depósitos.

La omisión de la fase de calibración puede afectar a los valores obtenidos a lo largo del estudio tanto a las auditorías hídrica y energética, como los análisis de las presiones y las pérdidas unitarias.

Además de la obtención de datos, la instalación de los registradores de presión puede resultar útil para determinar la causa de presiones insuficientes en algunas granjas. Ya que puede ser un problema de la red que no soporta la demanda o un diámetro insuficiente en sus tuberías privadas.

9.2 PROPUESTAS DE MEJORA DE GESTIÓN DE LA RED

A partir de los diferentes estudios realizados a lo largo del trabajo se han obtenido una serie de conclusiones que ayudan a determinar los agentes que permiten mayores ahorros energéticos. Que fundamentalmente son la reducción del volumen fugado y la disminución de las pérdidas energéticas por fricción.

9.2.1 CAMPAÑA DE REDUCCIÓN DE FUGAS

En la fase de la auditoría hídrica se ha determinado que el volumen fugado al día se encuentra en un rango entre 473,8 y 486,6 m³. Referenciando estos valores al número de acometidas corresponde a un rango entre 483 y 495 l/acometida y día. Por las características de la red estas fugas se pueden reducir a 87 l/acometida y día. Esto supone una reducción del volumen fugado de un 80 %. Para alcanzar estos valores se pueden combinar dos estrategias. Una es la detección y reparación de las fugas y la otra es reducir las presiones en aquellos puntos que tengan un exceso de presión.

En primer lugar, se estudia la posibilidad de introducir una válvula reductora de presión (PRV) en el sector sur de la población. Bajando la presión de consigna a 20 mca, y obteniendo presiones negativas en algunos puntos de consumo, se consigue una reducción del caudal de entrada de 0,9 l/s que equivale a 16,81 m³ al día de los 485 m³ que se fugan a diario en periodos de demanda baja. Por lo tanto, se desestima la opción de instalar una PRV y se opta por realizar campañas de localización y reparación de fugas.

En el apartado 5.6 se ha determinado que el umbral mínimo de fugas, por la tipología de la red, es de 94 l/acometida y día. En el supuesto que se alcanzara dicho valor, el volumen demandado por la red a diario pasa de ser 952 m³ a 569 m³ suponiendo un ahorro de 383 m³ en el periodo de demanda baja.

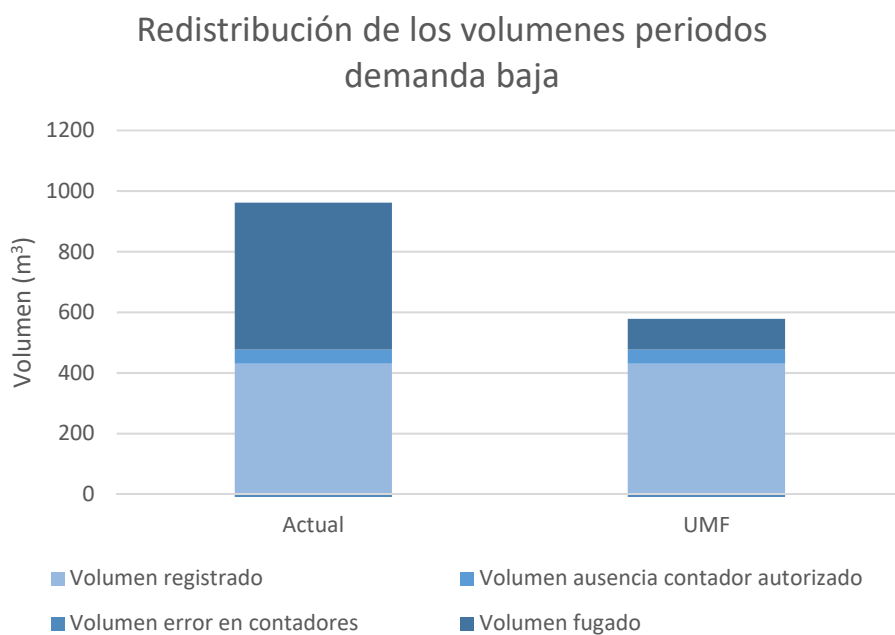


Ilustración 56. Redistribución de los volúmenes al disminuir las fugas enero

En periodos de demanda alta el volumen demandado por la red pasa de ser 1.257 m³ al día a 880 m³ supone un ahorro de 376 m³ al día.

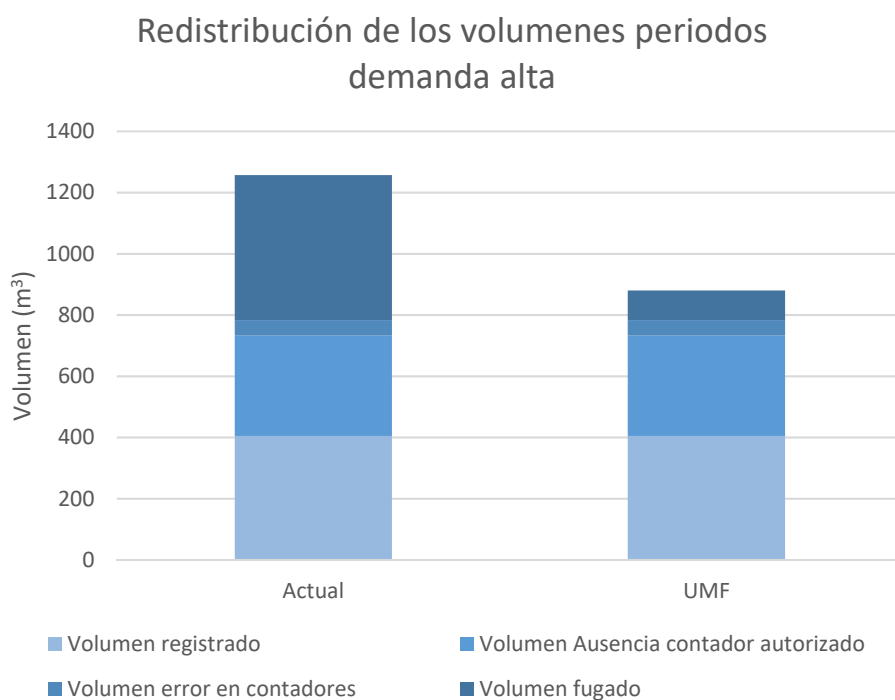


Ilustración 57. Redistribución de los volúmenes al disminuir las fugas septiembre

Estos ahorros en agua también suponen un ahorro energético. Volviendo a lanzar el programa que realiza la auditoría energética con el modelo de demanda baja se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 17. Auditoría energética tras reducir las fugas en enero

Auditoría energética (Energías en kWh)	
Caso con fugas	
Energía natural	180
Energía bombeo ideal	165
Energía bombeo real	218
Energía consumida	213
Energía consumida requerida	179
Energía consumida topográfica	34
Energía fugas	53
Energía fricción	57
Energía potencial depósitos	40
Caso sin fugas	
Energía fricción	55

Representado un gráfico de proyección solar queda de la siguiente forma.

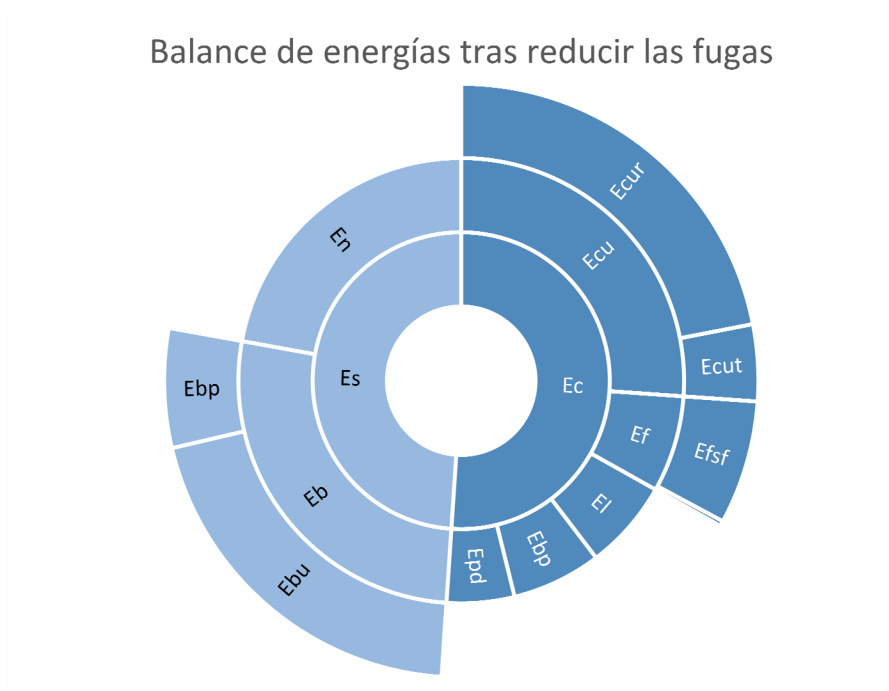


Ilustración 58. Representación de la auditoría energética en enero tras reducir las fugas

Se puede observar como más de la mitad de la energía que se consume es la que requiere la red para poder abastecer a la población con una presión mínima de 20 mca. Para realizar una comparativa con el caso actual se ha realizado una gráfica de barras con las energías consumidas y suministradas en la red. Añadir que en la simulación del estado real se ha consumido energía de los depósitos (se han vaciado parcialmente) y en el caso del umbral mínimo de fugas se ha generado energía potencial en los depósitos (se han llenado parcialmente). Por último, destacar que se produce un error de 17 kWh entre la energía consumida y la aportada. Esto corresponde a un error relativo del 4,97%.

Comparación caso actual y caso umbral mínimo de fugas

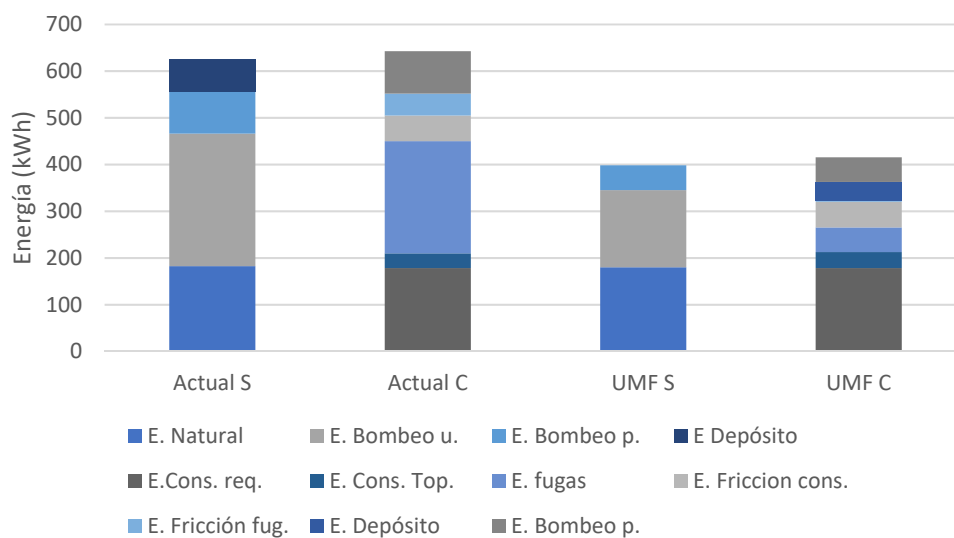


Ilustración 59. Comparativa de consumos energéticos en enero

Comparando las energías consumidas en ambos casos se obtiene un ahorro energético en torno a 230 kWh al día de los cuales 157 kWh suponen una reducción de la energía consumida por las bombas.

Haciendo el mismo procedimiento con el mes representativo de las demandas altas se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 18. Auditoría energética tras reducir las fugas en septiembre

Auditoría energética (Energías en kWh)	
Caso con fugas	
Energía natural	181
Energía bombeo ideal	193
Energía bombeo real	255
Energía consumida	351
Energía consumida requerida	301
Energía consumida topográfica	50
Energía fugas	50
Energía fricción	78
Energía potencial depósitos	-76
Caso sin fugas	
Energía fricción	65

De nuevo se representan estos valores en un gráfico de proyección solar para poder interpretar estos valores de forma visual.

Balance energético tras reducir las fugas



Ilustración 60. Representación de la auditoría energética en septiembre tras reducir las fugas

Como se puede observar el grafico de la Ilustración 60 ha aumentado la proporción de energía consumida por los usuarios. Ahora tiene un orden de magnitud entorno al 65%. Presentando estos datos en valores absolutos y comparando con el caso actual se obtienen los ahorros potenciales de energía.

Comparación caso actual y caso umbral mínimo de fugas

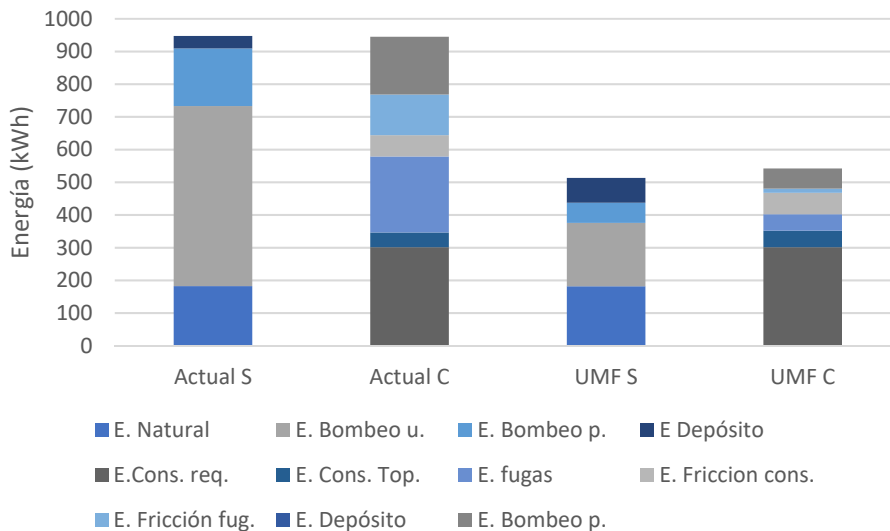


Ilustración 61. Comparativa de consumos energéticos en septiembre

De la Ilustración 61 hay que destacar que, en el caso de conseguir reducir las fugas al umbral mínimo, se conseguirían unos ahorros energéticos de 434 kWh al día. Cabe remarcar que estos valores están condicionados por los niveles iniciales de los depósitos.

Para la campaña de reducción de fugas y posterior conservación del nivel de fugas se ha contactado con el Grupo Mejoras. El grupo mejoras ofrece una serie de productos los cuales pueden facilitar las tareas de localización de fugas.

El primer equipo que ha sugerido el Grupo Mejoras es un geófono. Un geógrafo es una herramienta que ayuda al técnico a localizar las fugas. La forma tradicional de localizar las fugas es con técnicas de audición y la experiencia propia del técnico. El geógrafo además de captar los sonidos de las tuberías es capaz de analizar las frecuencias y realizar un filtrado. De esta forma además de la audición del técnico se puede observar el espectro en frecuencias. Además, tiene otras opciones como la opción de grabar los sonidos y geolocalizar las fugas para poder disminuir el tiempo de reparación.

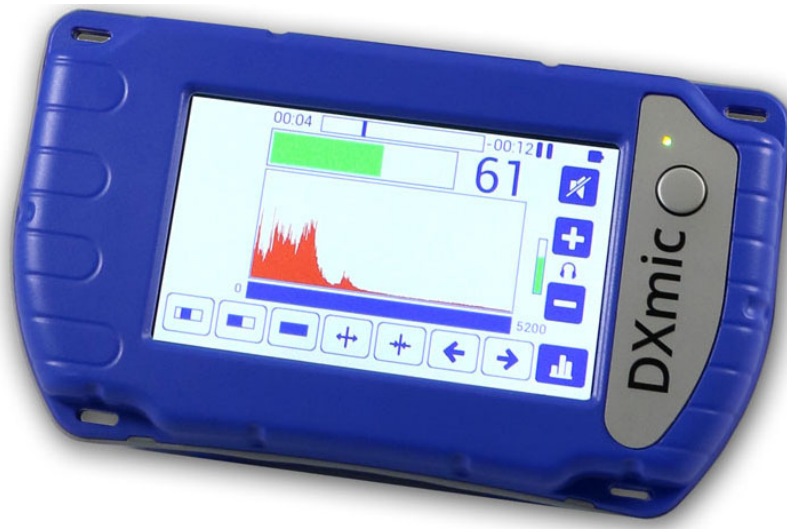


Ilustración 62. Geófono DXMIC (Grupo Mejoras)

El segundo elemento que propone el Grupo Mejoras son 30 sensores con comunicación por radio. Estos equipos permiten registrar las frecuencias de la red e identificar las fugas. Una vez han localizado una fuga, entra en modo alarma y emite una señal por radio para que el operario encargado de patrullar periódicamente pueda registrar la fuga y comunicarlo a los técnicos de localización. De esta forma se acota la zona de búsqueda de fugas.



Ilustración 63. Prelocalizador de fugas (Grupo Mejoras)

El último elemento que ha sugerido el Grupo Mejoras es un datalogger, estos equipos registran caudales y presión en la red de esta forma se pueden estimar las fugas empleando la metodología de los mínimos flujos nocturnos. Estos equipos suelen utilizarse en redes sectorizadas y se instalan en cabecera de cada sector.



Ilustración 64. Datalogger (Grupo Mejoras)

9.2.2 MODIFICACIÓN DEL LAYOUT

En este apartado se van a estudiar una serie de modificaciones que contribuyan al ahorro energético. Como se ha visto en el apartado 3, el diseño actual de la red tiene una serie de bombeos que se despresurizan en depósitos. Esto supone disipar energía en forma de fricción a través de las válvulas que gobiernan los depósitos. Otro punto que se pretende corregir es la ruta que realiza el agua hasta el punto de consumo, ya que actualmente el agua rodea toda la población hasta alcanzar el depósito viejo y a continuación o se deriva a la población o vuelve por una tubería paralela a la que alimenta a los depósitos Viejo y Nuevo desde el Concejil.

En estas simulaciones se va a trabajar con el informe energético que facilita EPANET, ya que el objetivo es reducir el coste de la utilización de las bombas en lugar de determinar en que se invierte esa energía. Se va a suponer un precio constante del kWh de 0,1€. Se elige este valor ya que no se disponen de las tarifas energéticas del Ayuntamiento con su propia compañía comercializadora, la Sinarquense. Además, con este valor se puede calcular de forma rápida la energía consumida por el sistema, simplemente hay que multiplicar el coste total diario por 10. Este valor lo facilita el informe energético de EPANET.

Otra consideración a tener en cuenta es que se van a realizar las simulaciones con las demandas de septiembre ya que son más exigentes. Una vez se seleccione la distribución y los equipos nuevos se comprobará su funcionamiento con los consumos de enero.

Por último, se ha añadido una tubería nueva que se está instalando en la actualidad, ya que la tubería que está alimentando al depósito Concejil desde Relamina, travesa campos privados en lugar de estar ubicados por caminos públicos. La configuración actual, a través de las parcelas privadas, dificulta las tareas de mantenimiento en esta tubería. La tubería instalada es de polietileno de alta densidad PN 10 de 250mm de diámetro nominal.



Ilustración 65. Tuberías actual y nueva

9.2.2.1 CASO INICIAL

El caso inicial se dispone de los cuatro depósitos y el aporte de agua proviene desde el manantial Ranera y el pozo Relamina. El agua que proviene del manantial Ranera llega directamente al depósito Viejo y el agua que proviene del pozo Relamina es bombeada al depósito Ranera, de este, baja por gravedad al Concejil y de este es rebombada al depósito nuevo para alimentar por gravedad al depósito viejo y finalmente se distribuye a los consumidores. No hay ningún tipo de discriminación horaria.

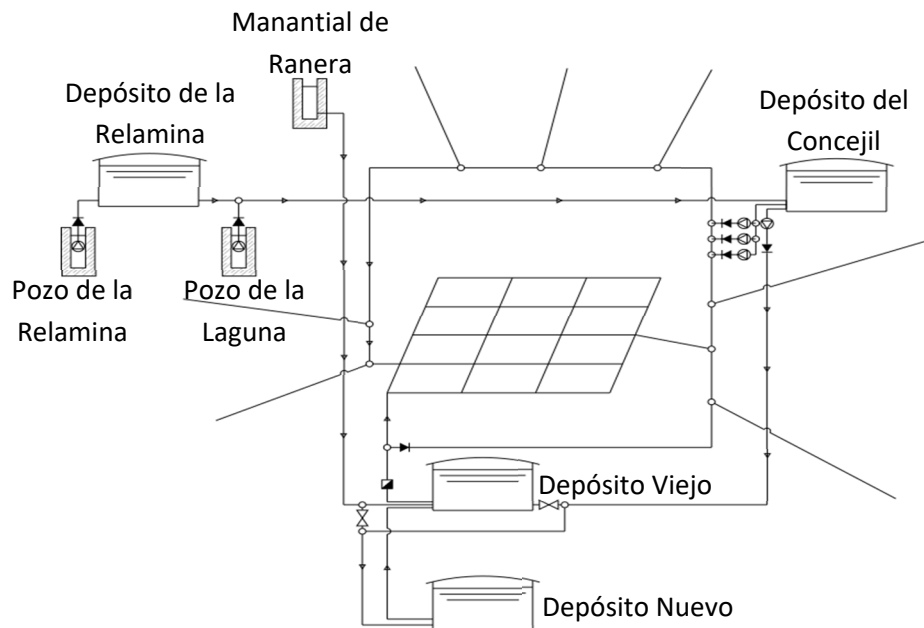


Ilustración 66. Esquema de la red de abastecimiento

9.2.2.1.1 DEMANDA ALTA

Se comprueba que el valor inicial de los depósitos pertenece al ciclo habitual de su modo de funcionamiento. Es decir, se introduce un valor inicial que se repita cada día sobre las 0:00.

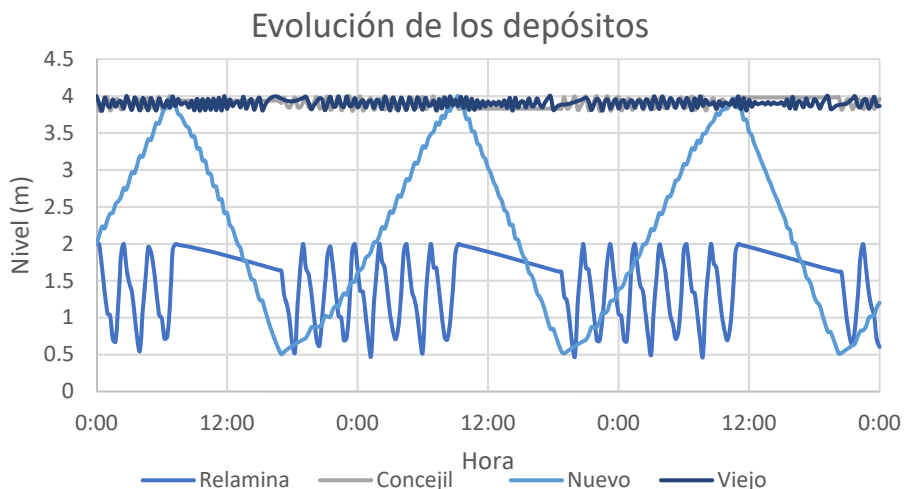


Ilustración 67. Niveles de los depósitos caso inicial (demanda alta)

Como se aprecia en la Ilustración 67, los niveles están estabilizados y se repiten periódicamente. Sin embargo, hay una diferencia de unos 70 cm en depósito viejo. Al no existir ningún tipo de regulación no se puede ajustar para que la diferencia de niveles sea despreciable.

Tabla 19. Informe energético caso inicial (demanda alta)

Bomba	Porcentaje de utilización (%)	Rendimiento promedio (%)	Intensidad energética (kWh/m ³)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Coste diario (€)
B1	18,96	74,95	0,52	97,91	98,08	44,56
B2	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0
B4	59,41	76,75	0,37	21,41	21,44	30,53
B5	0	0	0	0	0	0
B6	0	0	0	0	0	0
Coste total						75,08

Se observa que las bombas están trabajando en su punto de funcionamiento óptimo o cercano al ya que tienen un rendimiento próximo al rendimiento máximo. Este valor será difícil de alcanzar, ya que en un bombeo entre dos depósitos es más fácil de ajustar el punto de funcionamiento que en un bombeo directo a red.

Ya por último se analizan las presiones máximas y mínimas para comprobar que no se perjudica a ningún usuario de la red. Ya que se van a tratar de reducir las presiones para ahorrar energía, aunque al variar la distribución se puede dar la circunstancia que en algunos puntos aumente la presión respecto el caso inicial.

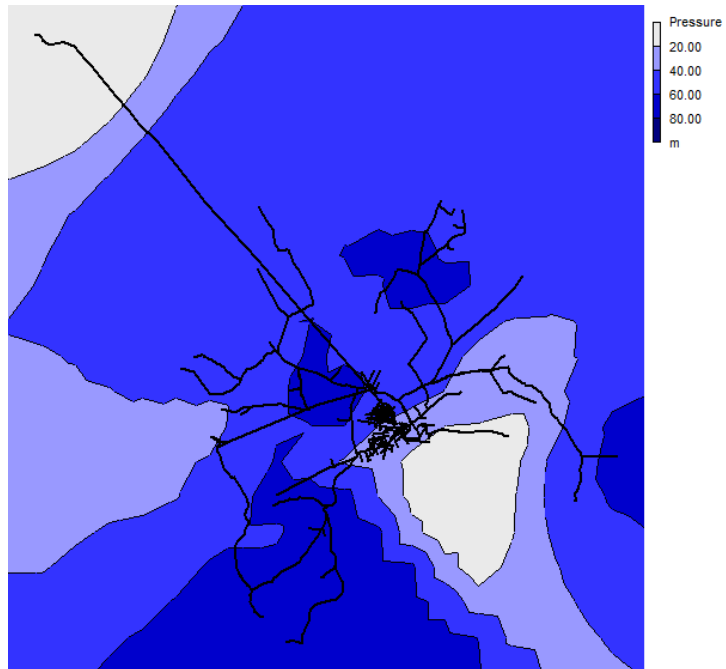


Ilustración 68. Distribución de presiones máximas (demanda alta)

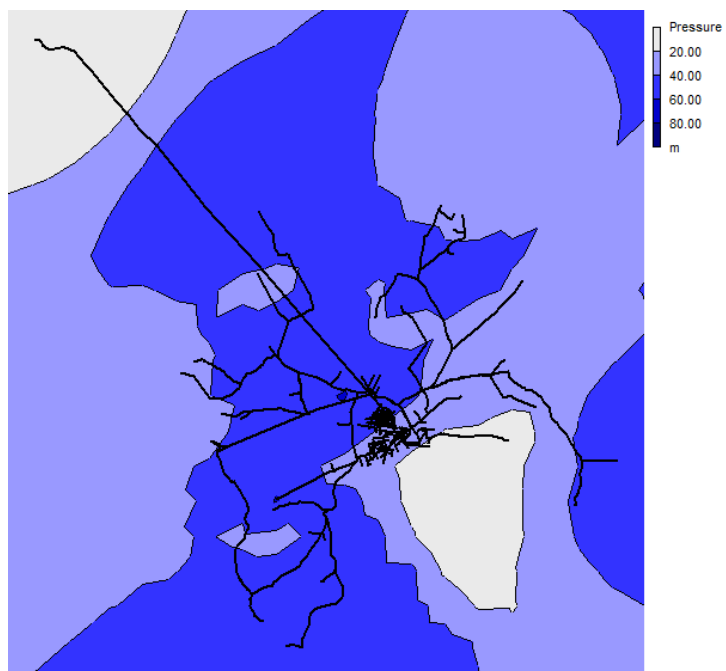


Ilustración 69. Distribución de presiones mínimas (demanda alta)

De la Ilustración 69 se debe comentar que varía respecto a la Ilustración 46 debido a que se simplificó el modelo y se trabajaba con embalses en lugar de depósitos.

Los parámetros que se deben cumplir para mejorar la red actual son: disminuir la energía diaria consumida, mantener las presiones mínimas o tratar de que todos los nudos dispongan 20 mca y por último intentar reducir las presiones máximas.

9.2.2.1.2 DEMANDA BAJA

Se repiten los mismos análisis para los periodos de demanda baja. De esta forma se puede contrastar los resultados de las modificaciones en ambos periodos.

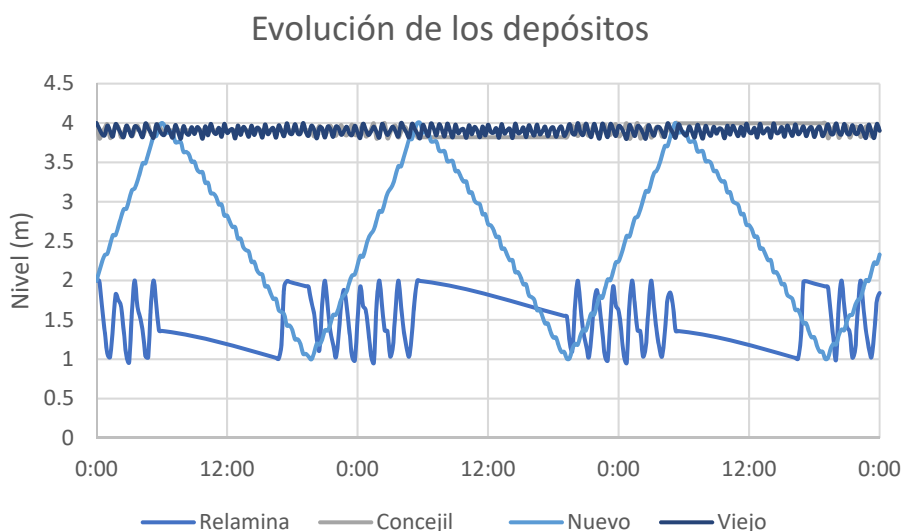


Ilustración 70. Niveles de los depósitos caso inicial (demanda baja)

Se observa en la Ilustración 70 como los niveles de los depósitos coinciden los valores a las mismas horas. A continuación, se analiza el informe energético.

Tabla 20. Informe energético caso inicial (demanda baja)

Bomba	Porcentaje de utilización (%)	Rendimiento promedio (%)	Intensidad energética (kWh/m ³)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Coste diario (€)
B1	14,13	74,97	0,52	97,88	97,98	33,19
B2	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0
B4	42,48	76,74	0,37	21,41	21,43	21,82
B5	0	0	0	0	0	0
B6	0	0	0	0	0	0
Coste total						55,02

Se observa como el punto de funcionamiento de las bombas se encuentra próximo al punto de máximo rendimiento. Analizando las presiones máximas y mínimas se obtienen los siguientes gráficos.

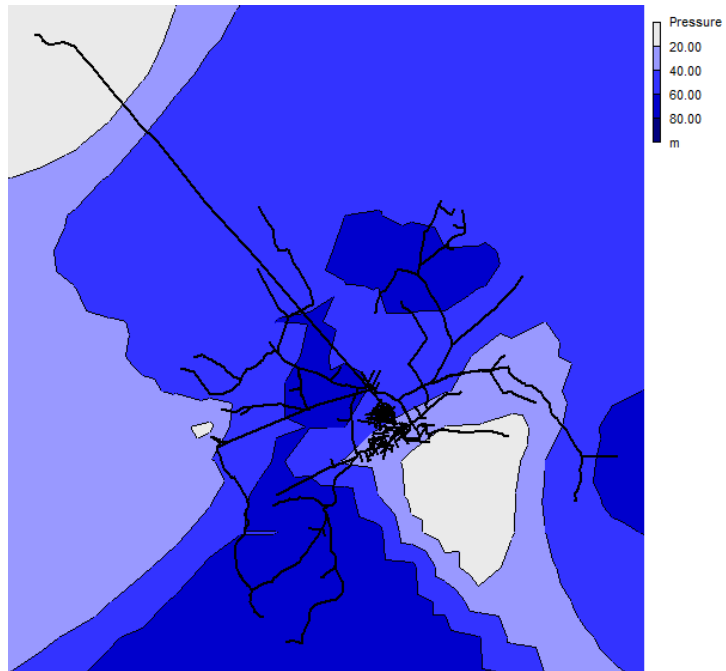


Ilustración 71. Distribución de presiones máximas (demanda baja)

Se observa como las presiones son muy similares a las presiones en demanda alta.

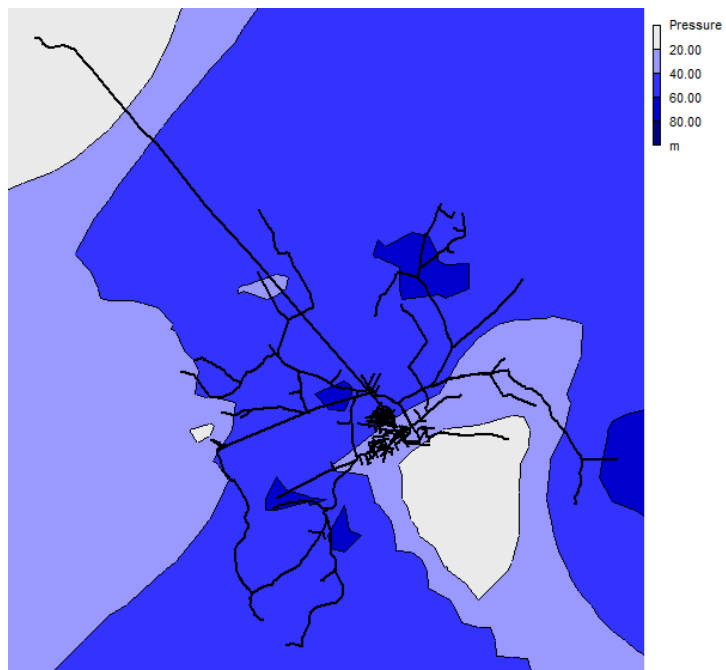


Ilustración 72. Distribución de presiones mínimas (demanda baja)

9.2.2.1.3 DEMANDA ALTA CON SEQUÍA (SIN APORTE DEL MANANTIAL)

Otra configuración que se debe tener en cuenta a la hora de analizar los diferentes escenarios del estudio es la posibilidad de que en periodos de sequía el manantial de Ranera deje de abastecer agua. Este escenario se puede producir en agosto, cuyas demandas corresponden con los periodos de demanda alta. No se van a estudiar las presiones en la red, ya que al estar condicionadas por las demandas y las alturas de los depósitos las presiones máximas y mínimas serán similares al caso de demanda alta sin sequía.

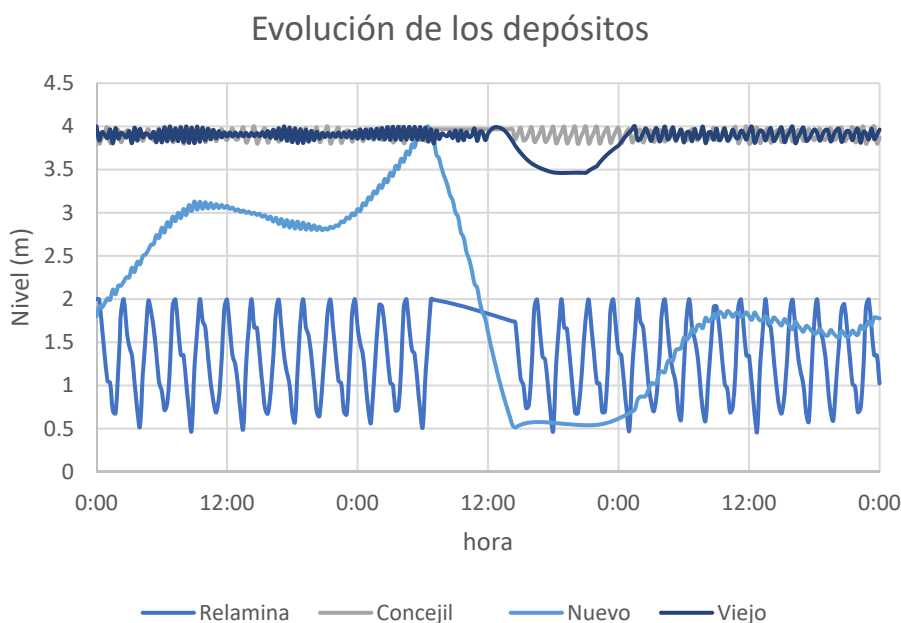


Ilustración 73. Evolución de los depósitos caso inicial con sequía

Se observa que el sistema inicial es robusto frente a casos de sequía con las demandas actuales. Le cuesta 72 horas repetir el ciclo del depósito nuevo pero el sistema se mantiene constante y no fallará. Además de analizar la evolución de los depósitos se evalúa el informe energético para disponer del coste de funcionamiento en la configuración actual.

Tabla 21. Consumos energéticos caso inicial con sequía

Bomba	Porcentaje de utilización (%)	Rendimiento promedio (%)	Intensidad energética (kWh/m ³)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Coste diario (€)
B1	28,36	74,95	0,52	97,91	98,07	66,65
B2	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0
B4	88,97	76,76	0,37	21,41	21,44	45,72
B5	0	0	0	0	0	0
B6	0	0	0	0	0	0
B7	0	0	0	0	0	0
Coste total						112,37

9.2.2.2 CASO 1: BOMBEO DIRECTO CON LA BOMBA ACTUAL Y ELIMINANDO DEPÓSITOS

En esta simulación se pretende evaluar el comportamiento de la red eliminando todos los depósitos excepto el depósito viejo. Este depósito se utiliza para almacenar agua del manantial ya que no supone ningún coste económico. La conexión de la bomba se realiza en el anillo exterior que bordea la localidad. De esta forma se consigue abastecer a la población desde diferentes puntos, se reduce el trayecto del agua a las granjas y se aprovecha la infraestructura que ya hay instalada. A parte de terminar de instalar la tubería, inhabilitar los depósitos existentes, instalar una válvula de retención a la salida del depósito nuevo e instalar una unidad de cloración en continuo a la salida del pozo no supondría más costes.

En caso de avería o mantenimiento de la bomba se debería abastecer agua desde el pozo Laguna, que pertenece a una comunidad de regantes. De esta forma no se interrumpe el servicio de suministro de agua.

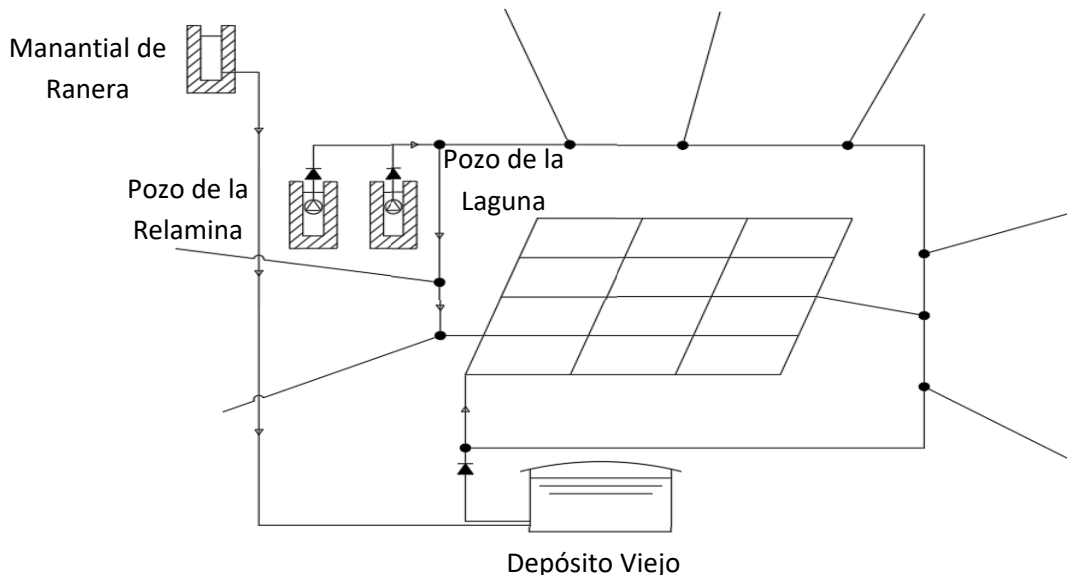


Ilustración 74. Esquema de la instalación con bombeo directo

Se revisan los depósitos para verificar que están todos desconectados de la red salvo el depósito viejo que se le suministra agua desde el manantial.

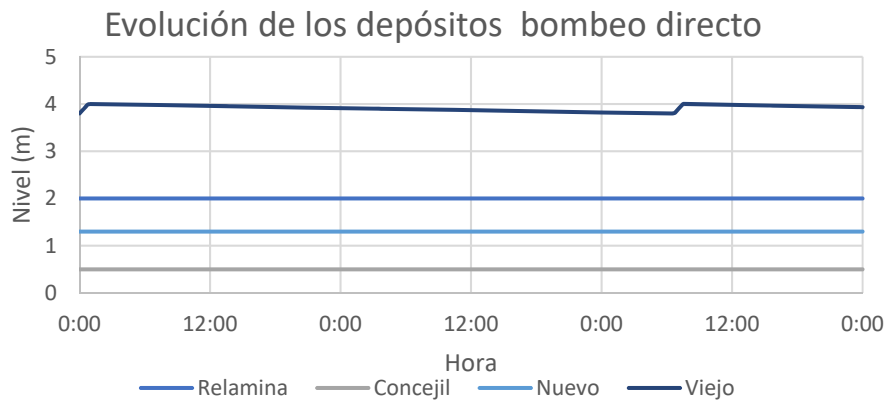


Ilustración 75. Evolución de los depósitos caso 1

Se observa que los depósitos no participan en la simulación. El depósito viejo se vacía, pero por un emisor que existe entre el depósito y la válvula de retención. La presión de la red impide que se pueda alimentar desde el depósito viejo.

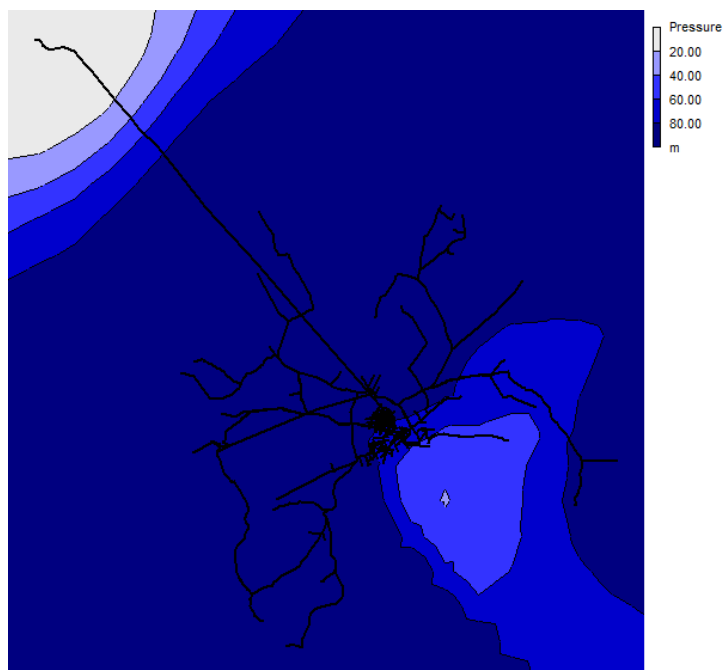


Ilustración 76. Presiones máximas caso 1

Algunos de los puntos de consumo sobrepasan los 100 mca. Estas presiones no son adecuadas no solo por el coste energético que esto supone, sino por el aumento del volumen fugado y la integridad de la red de agua.

Tabla 22. Informe energético caso 1

Bomba	Porcentaje de utilización (%)	Rendimiento promedio (%)	Intensidad energética (kWh/m ³)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Coste diario (€)
B1	100	56,8	1,06	79,17	80,88	190,01
B2	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0
B4	0	0	0	0	0	0
B5	0	0	0	0	0	0
B6	0	0	0	0	0	0
Coste total						190,01

Del informe energético se pueden extraer unas conclusiones. En primer lugar, el bombeo directo con la bomba actual supone un aumento del consumo energético. Se reduce la potencia máxima, pero al estar trabajando durante todo el día aumenta el consumo. La última conclusión y no menos importante es que la bomba no está diseñada para trabajar en ese punto de funcionamiento, ya que su rendimiento promedio ha bajado al 56,8 %. Se desestima esta opción por ser ineficiente.

9.2.2.3 CASO 2: BOMBEO DIRECTO CON OTRA BOMBA Y ELIMINANDO LOS DEPÓSITOS

A partir del caso 1 se establece que la bomba debe aportar un caudal entrono a los 11,2 l/s y una altura de 200 mca. Buscando estas características en el Product Center de Grudfos se encuentran una serie de bombas que cumplen con estas características.

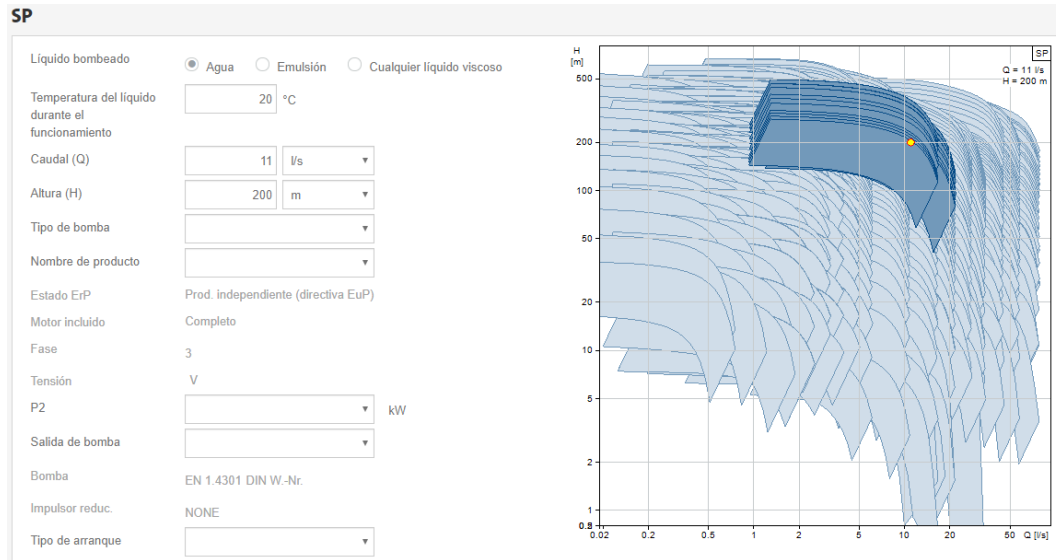


Ilustración 77. Product Center (Grundfos)

Modificando los parámetros para que el producto center de Grundfos encuentre una bomba que tenga rendimientos buenos tanto en invierno como en verano se encuentra la bomba SP 46-23 - 15A20323 cuyas curvas corresponden con el siguiente gráfico.

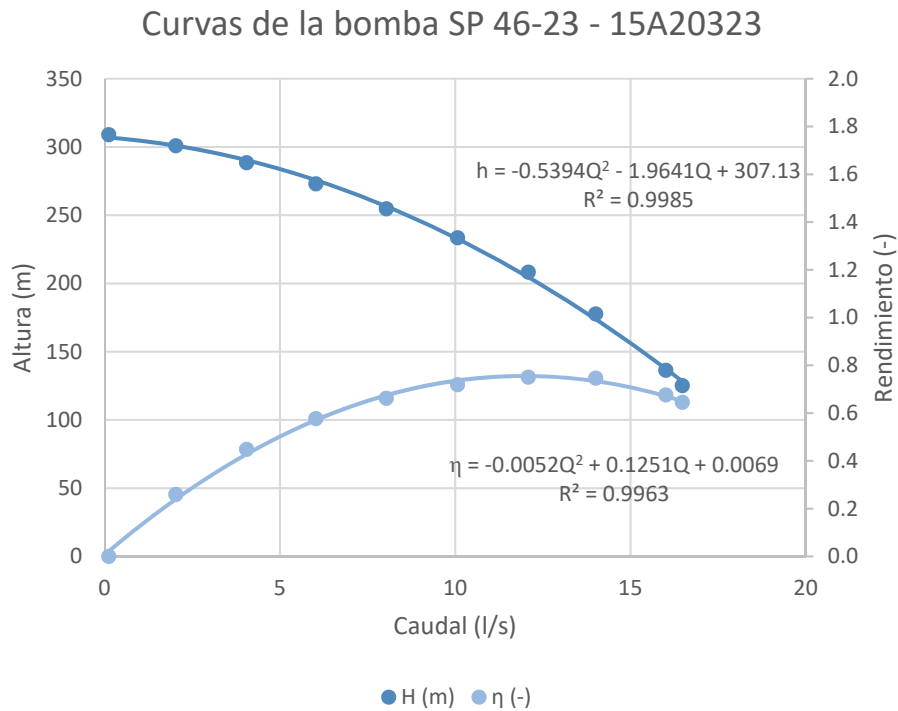


Ilustración 78. Curvas de la bomba caso 2

9.2.2.3.1 DEMANDA ALTA

Una vez introducidas ambas curvas en EPANET se analizan los niveles de los depósitos, presiones y el consumo energético en el periodo de demanda alta. De este modo se puede evaluar el comportamiento de la red con la configuración nueva.

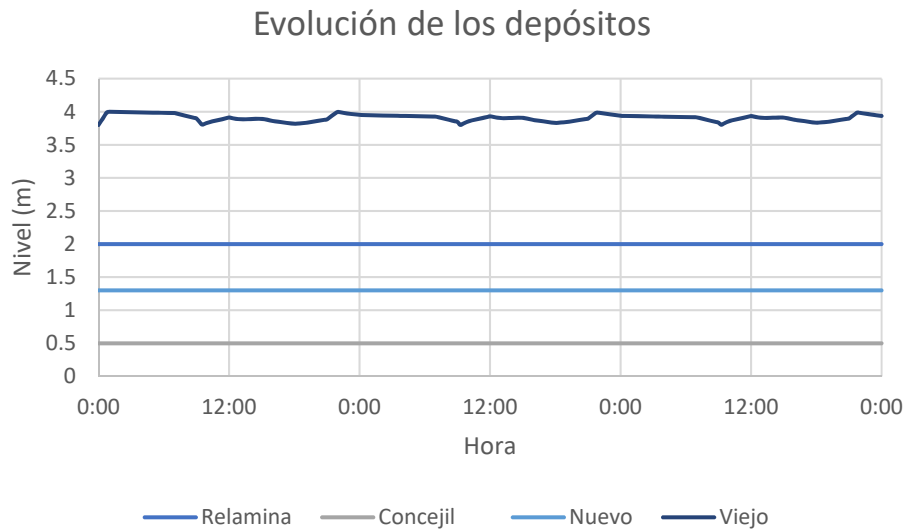


Ilustración 79. Evolución de los depósitos caso 2 demanda alta

Se aprecia en la Ilustración 79 que el depósito viejo apenas abastece a la población esto se debe a unas presiones en la red superiores a la altura de la lámina de agua en el depósito. A continuación, se analizan las presiones máximas de la red.

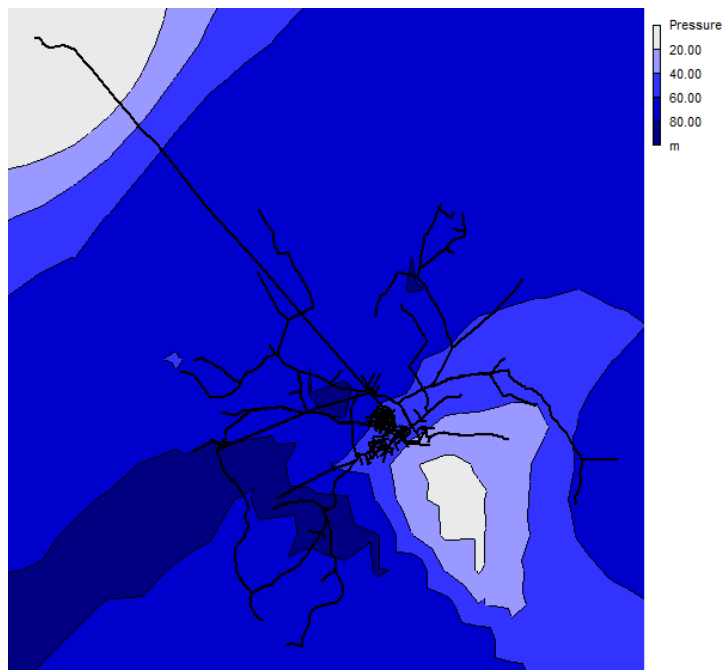


Ilustración 80. Presiones máximas del caso 2

Se observan unas presiones elevadas, aunque resultan inferiores a las del caso 1. Con estos niveles de presión se puede reducir la velocidad de giro de la bomba mediante un variador de frecuencia para ajustar las presiones próximas a la presión mínima requerida por los usuarios.

Tabla 23. Informe energético caso 2 demanda alta

Bomba	Porcentaje de utilización (%)	Rendimiento promedio (%)	Intensidad energética (kWh/m ³)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Coste diario (€)
B1	100	74,66	0,66	32,79	32,99	78,7
B2	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0
B4	0	0	0	0	0	0
B5	0	0	0	0	0	0
B6	0	0	0	0	0	0
B7	0	0	0	0	0	0
Coste total						78,7

Se observa en la Tabla 23 una disminución considerable del coste energético respecto del caso 1 un aumento de unos 30kWh al día respecto el caso inicial. Ajustando la velocidad de giro de la bomba para reducir las presiones se debería disminuir el consumo energético.

9.2.2.3.2 DEMANDA ALTA CON SEQUÍA

Con esta configuración no se busca el ahorro energético, se busca la robustez del sistema frente a un periodo de sequía en el cual el manantial deja de suministrar agua. Tras ajustar los depósitos al nivel inicial mínimo para simular que el aporte del manantial es nulo durante los días anteriores, el sistema falla a las 9:00.

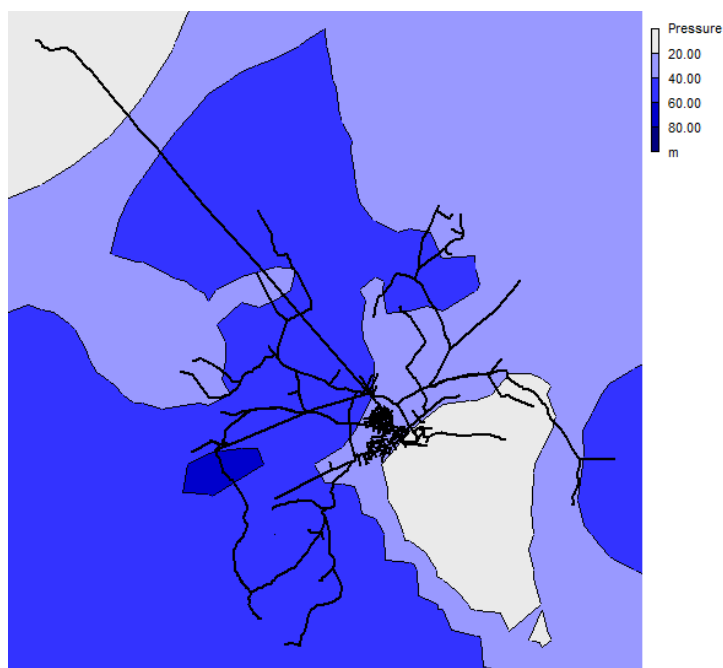


Ilustración 81. Inicio de las presiones negativas

Forzando la velocidad de la bomba hasta que sea capaz de mantener la demanda de la población se consigue que el pozo abastezca a la población con una α de 1,2. Este valor no se debe aplicar en la realidad ya que al aumentar la altura y el caudal se supera la potencia nominal del motor eléctrico, pudiendo dañar los devanados de las bobinas. Sin embargo, en el modelo matemático nos permite conocer la altura y el caudal que debe aportar la bomba nueva. Analizando las presiones en la red con la velocidad relativa de giro 1,2 se obtienen presiones en algunos nudos de 100 mca. Estos valores no son aceptables ya que ponen en peligro la integridad de la instalación.

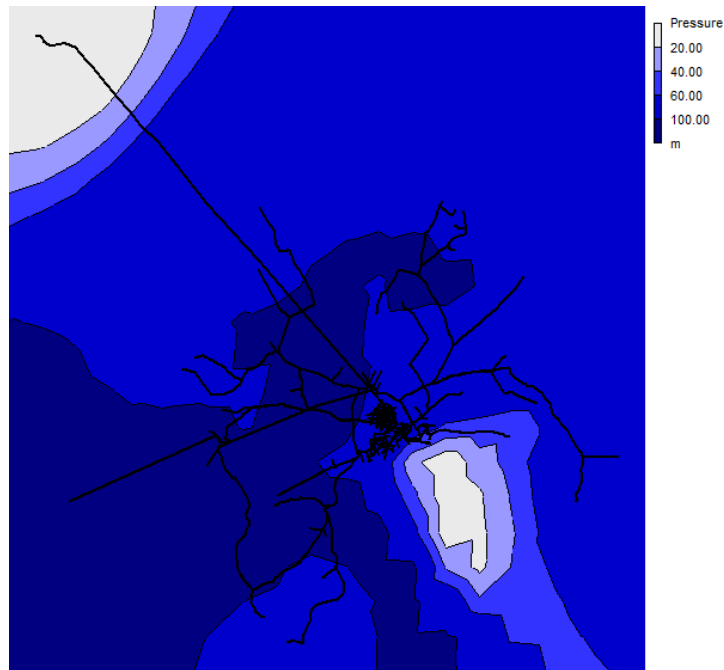


Ilustración 82. Presiones máximas forzando la bomba

Al no poder dar por válida esa solución se plantea el caso 3 habilitando el depósito Viejo como depósito de compensación.

9.2.2.4 CASO 3: BOMBEO DIRECTO CON DEPÓSITO DE COMPENSACIÓN

Al no poder abastecer con un bombeo directo a la red con un bombeo directo se habilita el depósito viejo como depósito de compensación. Este tipo de depósitos se llena cuando hay presiones elevadas en la red y se vacían cuando disminuye la presión en las zonas próximas al depósito. De esta forma se pueden reducir las presiones en cabecera.

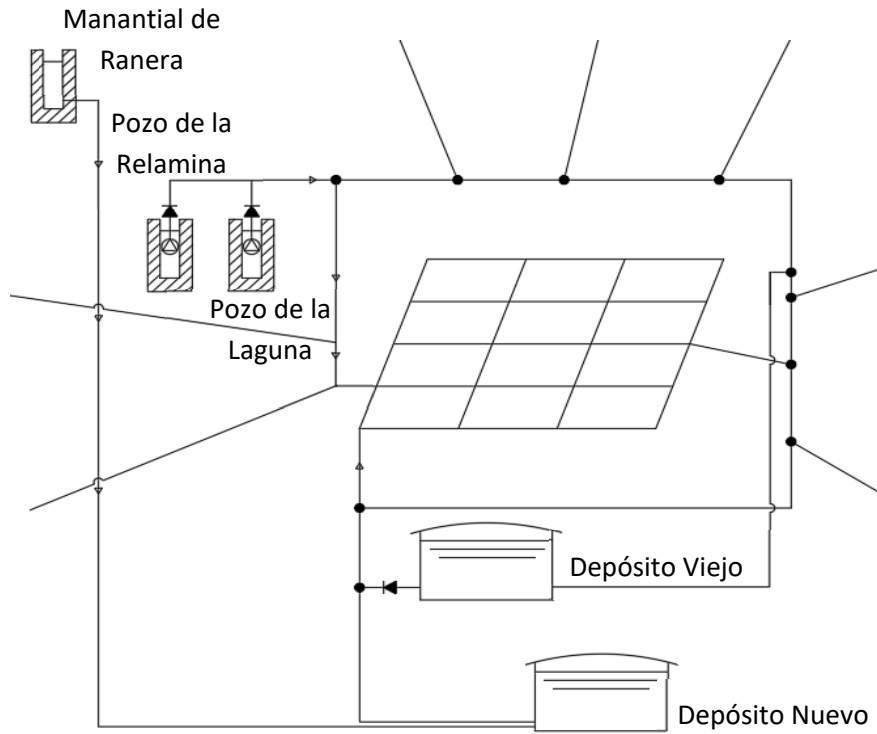


Ilustración 83. Esquema de la instalación con depósito de compensación

9.2.2.4.1 DEMANDA ALTA CON SEQUÍA

Como el caso 2 fallaba en el caso que el manantial no aporta agua, se comprueba directamente el caso con sequía a la nueva configuración. La red responde correctamente con una α de 1,065, siendo α la relación de la velocidad de giro de la bomba respecto la velocidad de giro nominal. Realizando estas modificaciones se obtienen los puntos más desfavorables presiones menores de 93 mca.

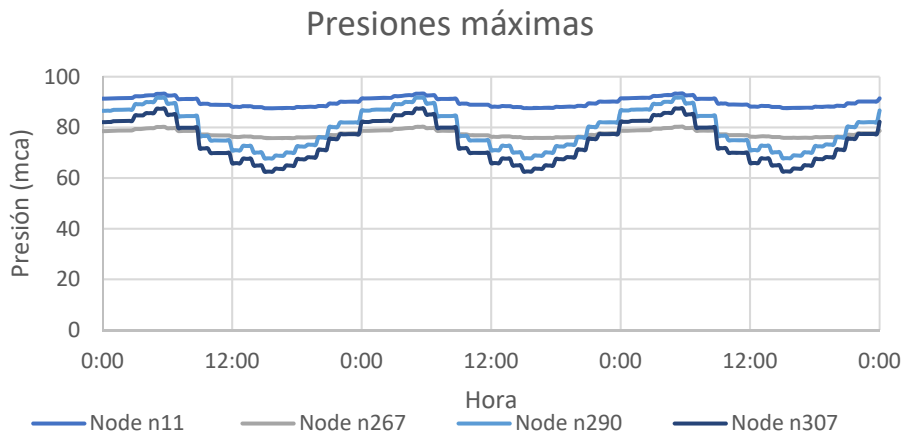


Ilustración 84. Presiones máximas en caso de sequía abasteciendo por la bomba SP 46-23 - 15A20323

De nuevo se evalúa la evolución de los depósitos, ya que las presiones de la red están delimitadas por la altura de la lámina de agua. En el caso que uno de los depósitos se vacíe se deja de suministrar agua a los usuarios además de presentar la intrusión de agentes patógenos en la red.

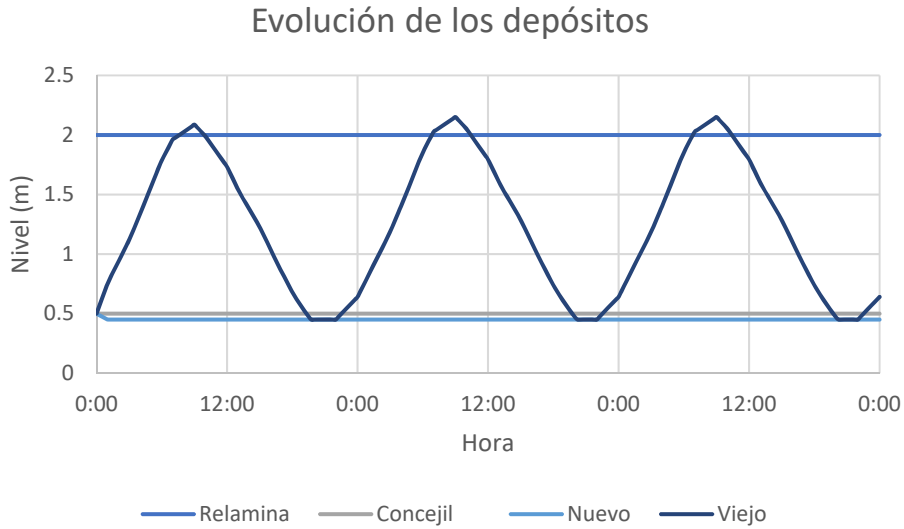


Ilustración 85. Evolución de los depósitos caso 3 en periodos de sequía con la bomba

Se observa como el depósito viejo se queda vacío entre las 20 y las 22 h. aun así la bomba es capaz de abastecer a la red con una α de 1,035 con unas presiones aceptables salvo en algunas zonas que se requiere una sectorización.

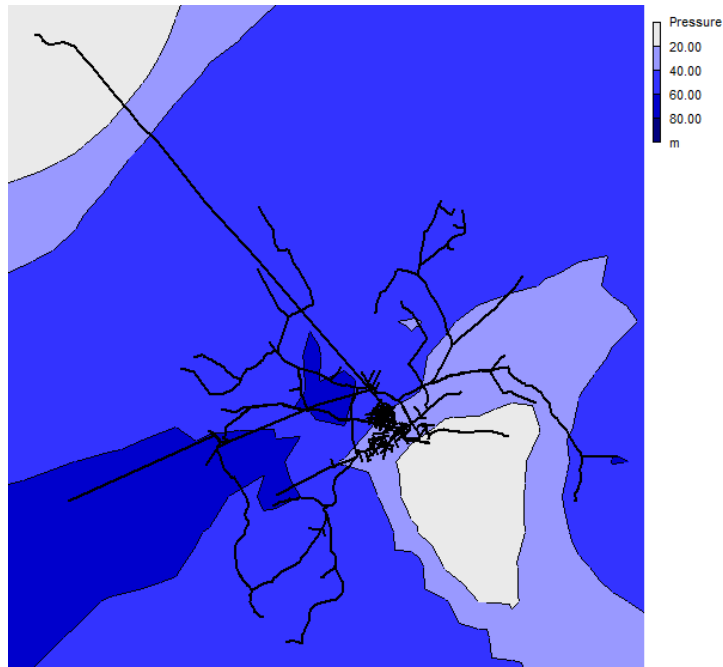


Ilustración 86. Presiones mínimas de la red caso 3

Con esta configuración la bomba consume 37,07 kW siendo la potencia nominal 37kW si esta situación se da con un mínimo aporte del manantial podría funcionar. Otra opción es cambiar la bomba por una

bomba de Grundfos SP 60-22 - 14A00322 Es importante destacar que no se disponen de los niveles dinámicos del pozo ni sus oscilaciones a lo largo del año. Una modificación esos niveles o un aumento de la demanda supondría que el modelo no representa la realidad.

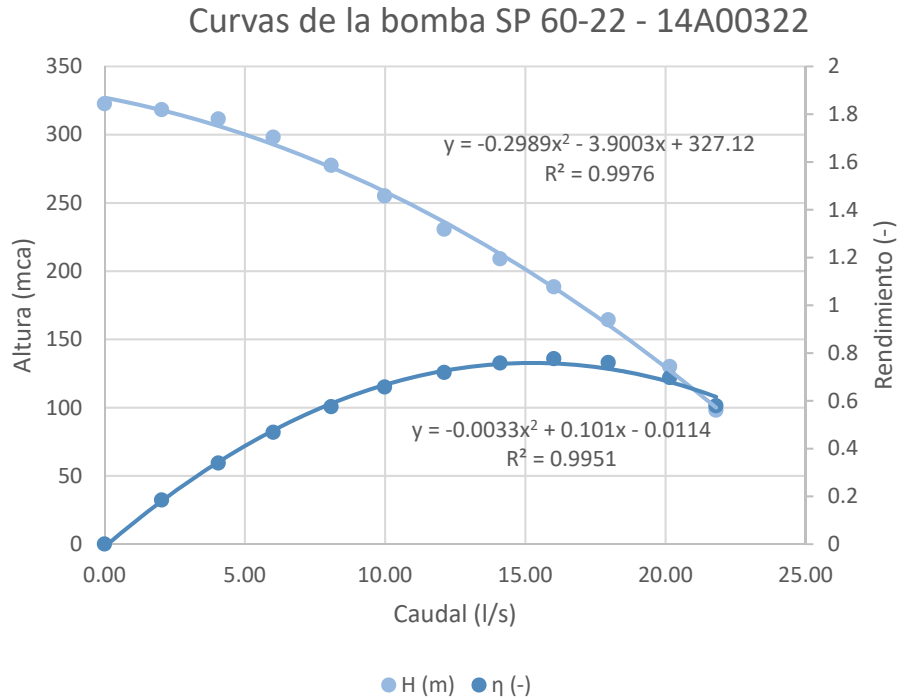


Ilustración 87. Curvas de la bomba SP 60-22 - 14A00322

Con la bomba SP 60-22 - 14A00322 se obtiene la siguiente evolución en los depósitos. Se observa como el agua que proviene del manantial se introduce directamente a la red, ya que el depósito nuevo se mantiene al nivel mínimo, y como el depósito viejo repite su evolución de forma periódica.

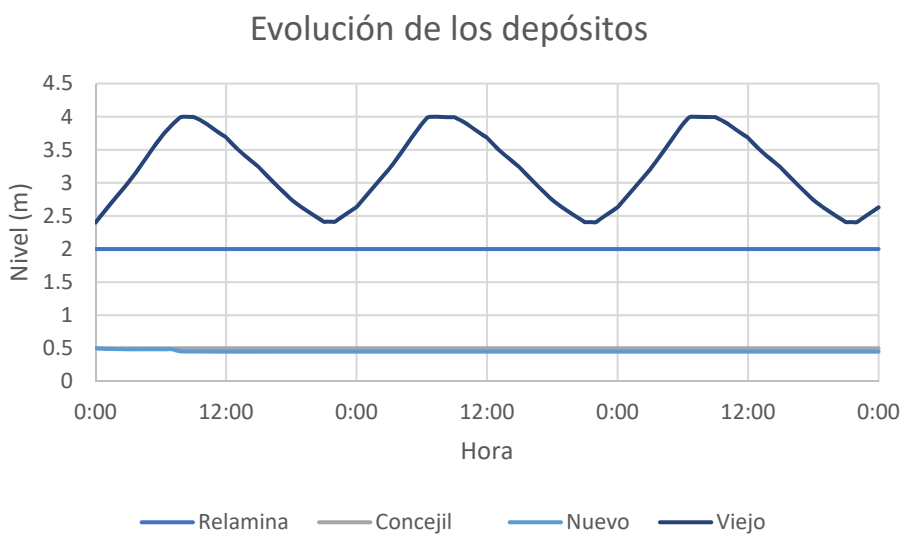


Ilustración 88. Evolución de los depósitos del caso 3 con la bomba SP 60-22 - 14A00322 con sequía

Se observa en la Ilustración 88 que el sistema es más robusto a sequía que con la bomba SP 46-23 - 15A20323 ya que el depósito de compensación es capaz de llenarse cada día.

A continuación, se van a comparar los informes energéticos de EPANET de los dos casos.

Tabla 24. Consumos energéticos caso bombeo directo con sequía

Bomba	Porcentaje de utilización (%)	Rendimiento promedio (%)	Intensidad energética (kWh/m ³)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Coste diario (€)
B1	100	77,19	0,64	36,03	36,13	86,47
B2	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0
B4	0	0	0	0	0	0
B5	0	0	0	0	0	0
B6	0	0	0	0	0	0
B7	0	0	0	0	0	0
Coste total						86,47

Se puede observar en ambas tablas como se ha reducido el consumo y la potencia máxima obteniendo beneficios energéticos y económicos.

9.2.2.4.2 DEMANDA ALTA

Tras haber evaluado y estabilizado el funcionamiento de la red en periodos de sequía se procede a evaluar su comportamiento normal en periodos de demanda alta. Se ajusta la velocidad de giro de la bomba para estabilizar el depósito de compensación. Se decide por estabilizar el depósito de compensación a un metro, de esta forma se dispone de medio metro de agua, que tarda en vaciarse unas 5 horas para ajustar la velocidad de giro de la bomba. Se consigue estabilizar el depósito de compensación con una α de 0,887.

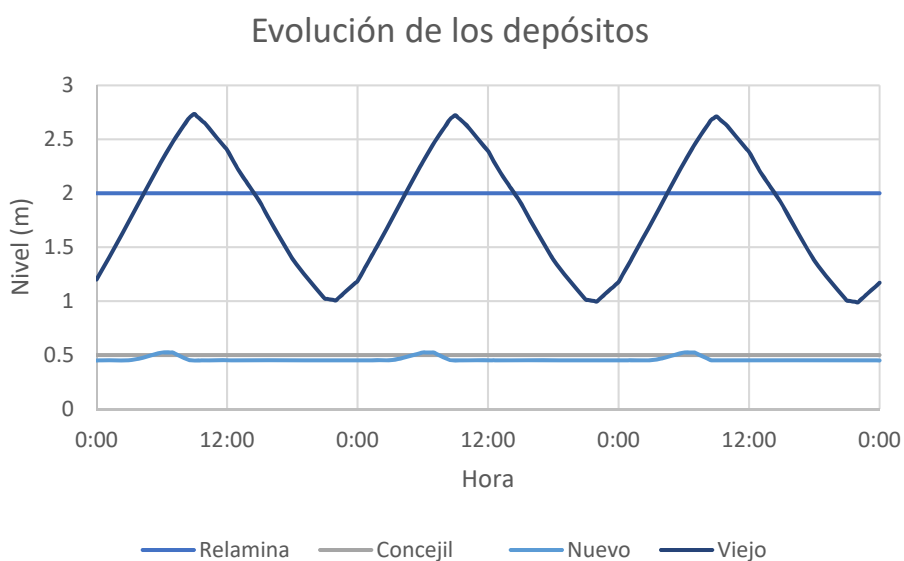


Ilustración 89. Evolución de los depósitos caso 3 con demanda alta

En este caso el agua proveniente del manantial se introduce directamente a la red a la red. Este aporte se observa en que no hay acumulación en depósito Nuevo. A continuación, se analizan las presiones máximas y mínimas.

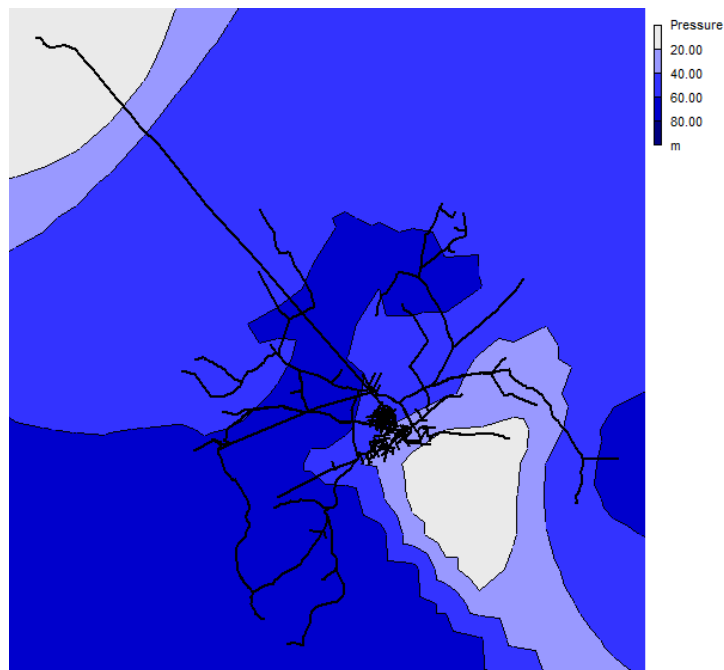


Ilustración 90. Presiones máximas del caso 4

Únicamente se observa en el área de trabajo de EPANET nudos con presiones superiores a 80 mca. Aun estar por debajo de las presiones máximas que soportan las tuberías son valores elevados los cuales favorecen la aparición de fugas en estas zonas de presiones elevadas. Para tratar de solucionar estas presiones se plantea un caso 4 con rebombes que permitan reducir la presión en la zona de cabecera.

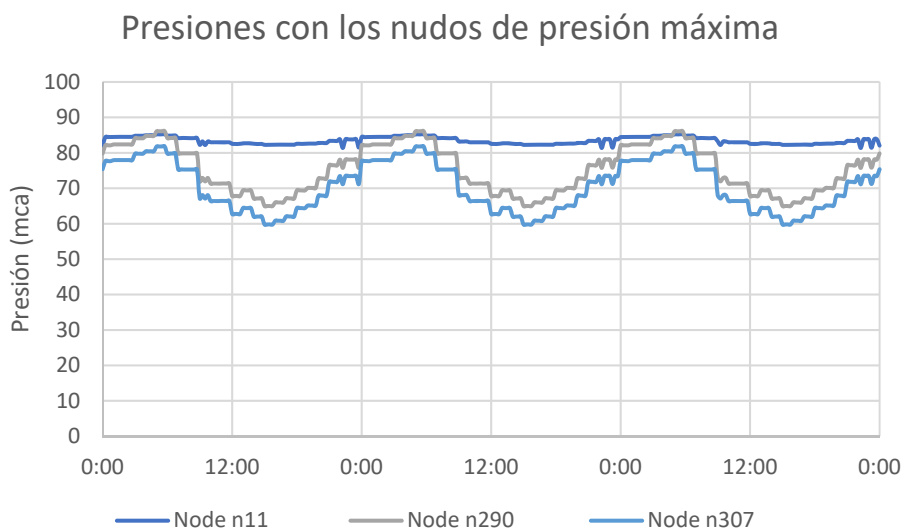


Ilustración 91. Evolución de las presiones de los nudos con mayor presión caso 3 con demanda alta

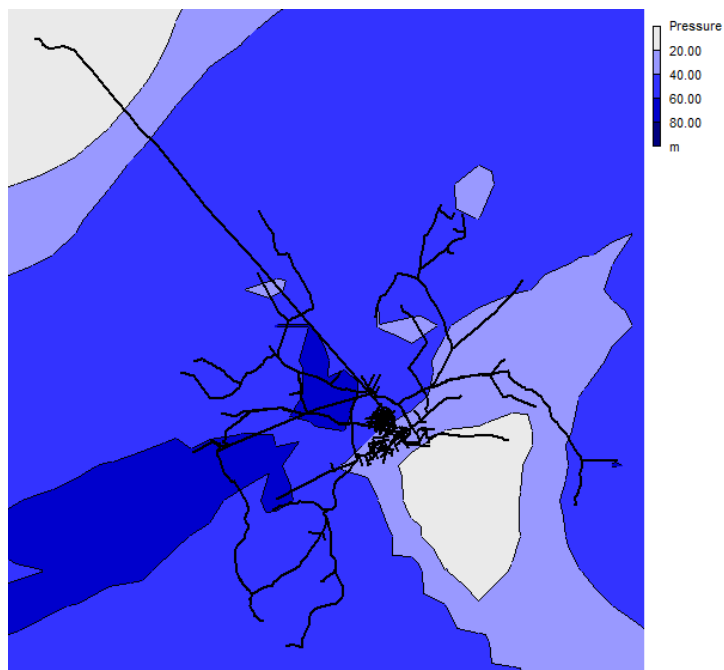


Ilustración 92. Presiones mínimas caso 3 demanda alta

En este caso se dispone de presiones elevadas. Es conveniente sectorizar la red y tratar de presurizar la red solo en las zonas gobernadas por el depósito de compensación para disminuir la energía consumida y el volumen fugado.

A continuación, se analiza el consumo energético para analizar el comportamiento de la bomba.

Tabla 25. Informe energético caso 3 demanda alta

Bomba	Porcentaje de utilización (%)	Rendimiento promedio (%)	Intensidad energética (kWh/m ³)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Coste diario (€)
B1	100	69,85	0,68	28,03	28,1	67,26
B2	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0
B4	0	0	0	0	0	0
B5	0	0	0	0	0	0
B6	0	0	0	0	0	0
B7	0	0	0	0	0	0
B16	0	0	0	0	0	0
Coste total						67,26

Se destaca una reducción energética de 78 kWh al día respecto del caso inicial Hay que tener en cuenta que la red se encuentra a mayor presión que en el caso inicial, lo que implica un mayor consumo energético. Sectorizando la red se debería disminuir las presiones y el consumo energético. El rendimiento de la bomba ha bajado del 70% pero no se puede seleccionar una bomba con menor altura para poder abastecer en periodos de sequía.

9.2.2.5 CASO 4: REBOMBEO A LA ZONA URBANA Y DEPÓSITO DE COMPENSACIÓN

En el caso 3 se ha reducido el consumo energético bombeando directamente a la red. Sin embargo, para estabilizar el depósito de compensación se ha aumentado la presión en la zona oeste de la población favoreciendo el incremento del volumen fugado. En este caso se va a sectorizar la red para tratar de abastecer con una presión más próxima a la mínima de servicio e introducir bombas en las tuberías que conectan el anillo exterior al municipio. Además, se instalan válvulas de retención en aquellas tuberías que conectan el municipio con el anillo exterior. De esta forma se impide que se forme un circuito cerrado en el que la bomba este trasegando agua de forma incontrolada. Y finalmente se instala una válvula de retención en el interior de la población. De esta forma se crean 2 sectores.

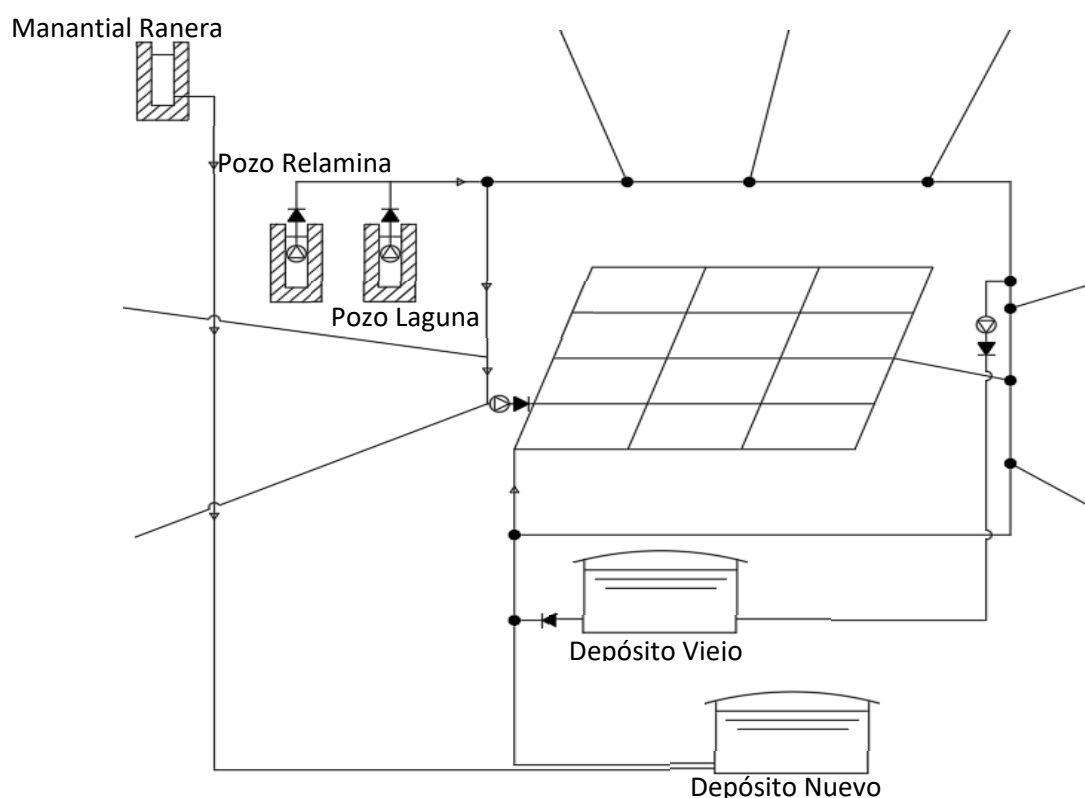


Ilustración 93. Esquema de la red del caso 4

Se instalan las bombas en EPNET y se ajustan para gobernar al depósito de compensación. Una vez ajustadas las velocidades de giro de las bombas se buscan en el catálogo de Grundfos bombas cuyos puntos de funcionamiento a velocidad nominal sean similares. Se seleccionan la bomba CR 15-1 A-A-A-E-HQQE – 96501710 para el rebombeo en la zona del Concejal y la bomba CR 5-5 A-A-A-E-HQQE – 96516978 para la conexión sur oeste de la localidad. Las curvas características de estas bombas se muestran a continuación.

Curvas de la bomba Grundfos CR 15-1 A-A-A-E-HQQE - 96501710

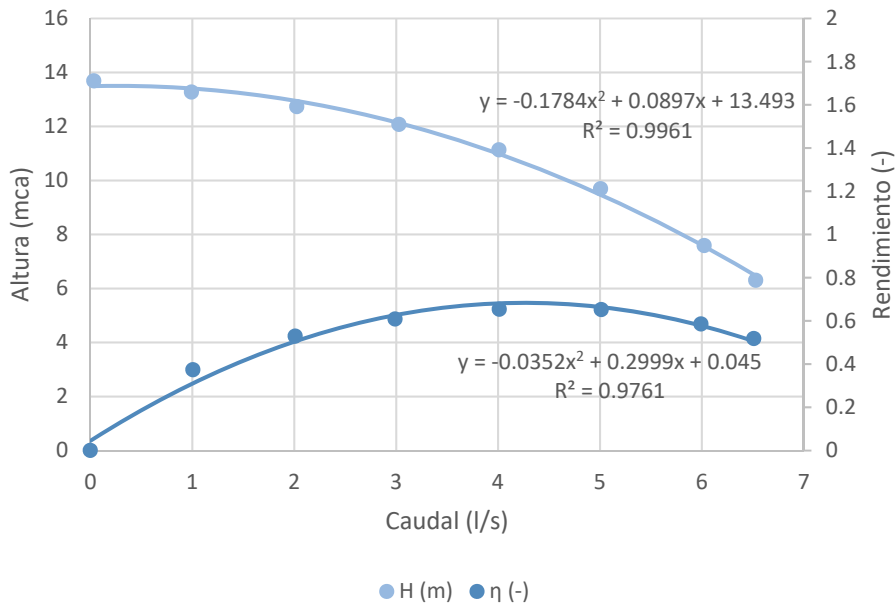


Ilustración 94. Curvas de la bomba caso 4 zona Concejil

Curvas de la bomba Grundfos CR 5-5 A-A-A-E-HQQE - 96516978

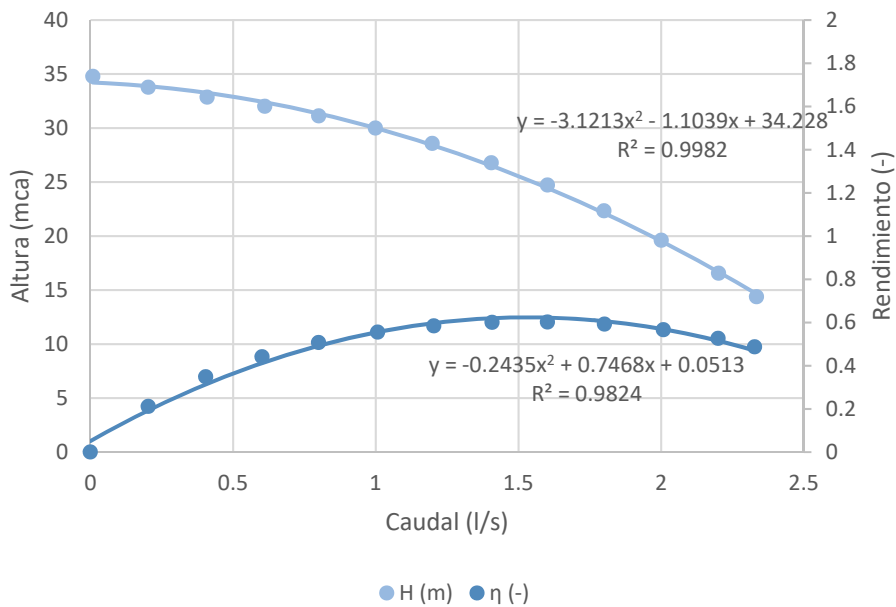


Ilustración 95. Curvas de la bomba caso 4 zona sur oeste

9.2.2.5.1 DEMANDA ALTA

De nuevo se vuelve a comprobar la evolución de la lámina de agua en los depósitos. El depósito viejo se encuentra estabilizado en unos niveles comprendidos entre 1 m y 2,6 m. por otro lado el depósito nuevo se mantiene en el nivel mínimo ya que el agua del manantial se introduce directamente a la red.

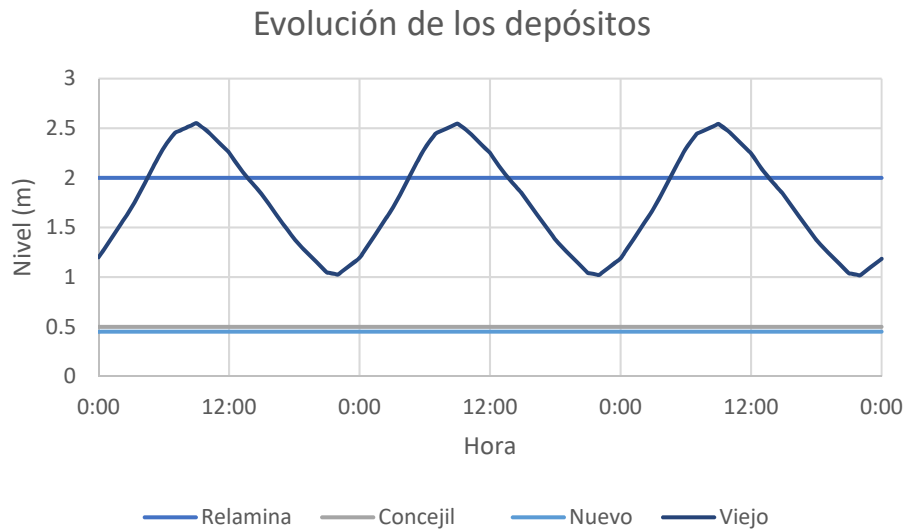


Ilustración 96. Evolución de los depósitos caso 5 (demanda alta)

Con esta configuración se consiguen las siguientes presiones máximas y mínimas. De nuevo las presiones máximas y mínimas vienen gobernadas por el nivel de agua en el depósito viejo. Sin embargo, se observa en las siguientes ilustraciones una ligera disminución de las presiones en la zona de cabecera, es decir en la zona de la Relamina.

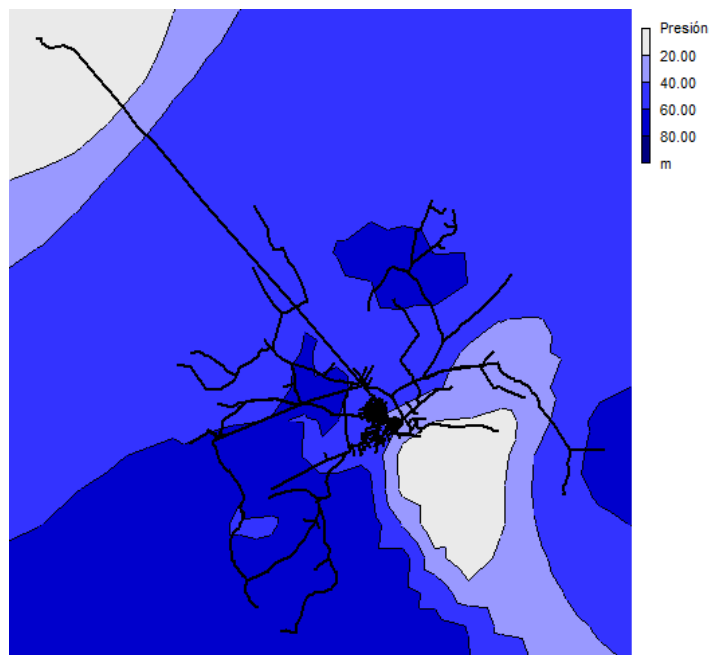


Ilustración 97. Presiones máximas caso 5 (demanda alta)

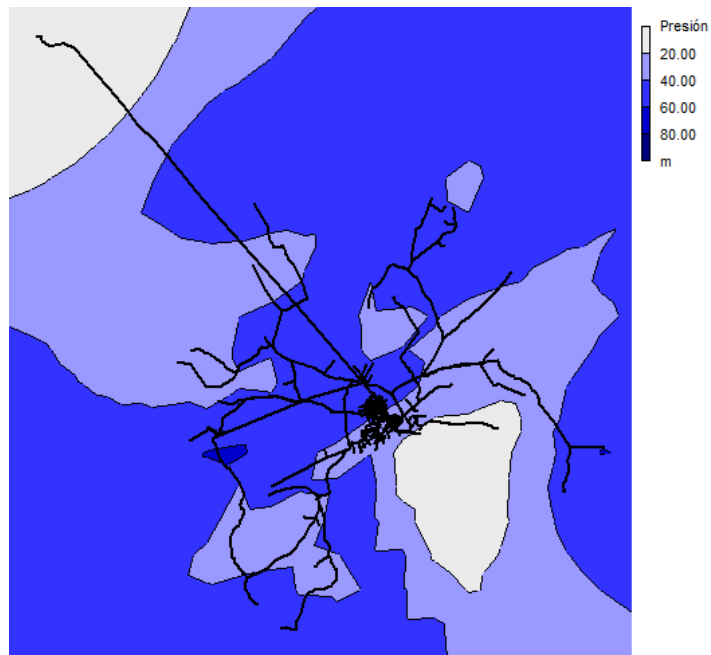


Ilustración 98. Presiones mínimas caso 5 (demanda alta)

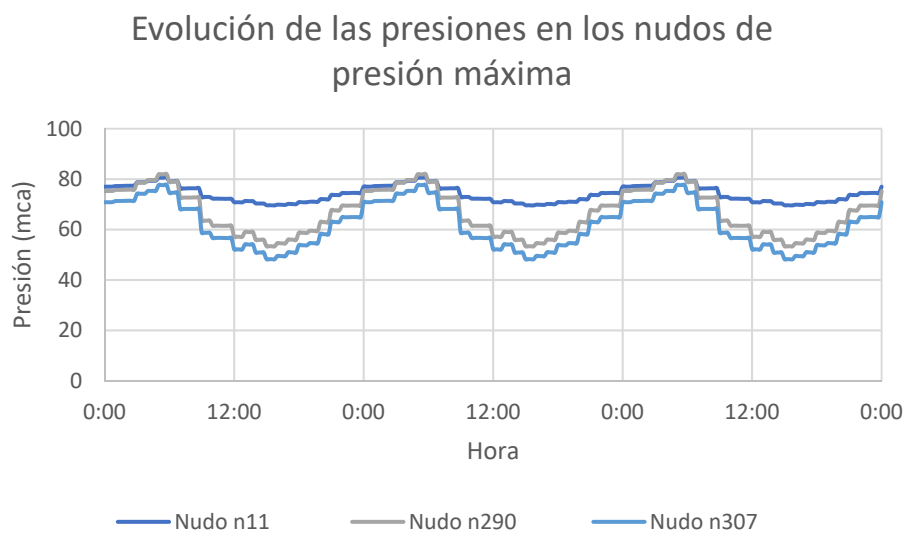


Ilustración 99. Evolución de las presiones de los nudos con mayor presión caso 5 (demanda alta)

Con esta configuración se ha conseguido reducir las presiones. Solo dos nudos superan los 80 mca y únicamente se produce durante una hora al día. Se recomienda esta configuración respecto a la simulación anterior ya que las tuberías reducen los esfuerzos de tracción debido a la presión del agua.

A continuación, se evalúa el informe energético para poder comparar el consumo energético de la red respecto a los casos propuestos anteriormente.

Tabla 26. Informe energético caso 5 (demanda alta)

Bomba	Porcentaje de utilización (%)	Rendimiento promedio (%)	Intensidad energética (kWh/m ³)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Coste diario (€)
B1	100	69,89	0,65	26,61	26,81	63,87
B2	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0
B4	0	0	0	0	0	0
B5	0	0	0	0	0	0
B6	0	0	0	0	0	0
B7	100	58,01	0,1	0,67	0,68	1,61
B16	0	0	0	0	0	0
B18	100	62,86	0,05	0,73	0,85	1,75
Coste Total						67,23

Respecto al caso 4, solo se mejoran 0,3 kWh al día este resultado se ve afectado por el rendimiento de la bomba del pozo Relamina ya que al trabajar con una α de 0,87 empieza a disminuir el rendimiento. Aun así, como ya se ha comentado este caso tiene la ventaja respecto al caso anterior con la disminución de la presión en la red. Se comprueba su funcionamiento en caso de sequía y el depósito de compensación se estabiliza con una α de 0,974. Se podría instalar una bomba que entregue menos altura y con el punto de funcionamiento óptimo más cercano a las condiciones de la simulación.

9.2.2.5.2 DEMANDA BAJA

De nuevo se estudia la evolución de los depósitos. En el caso de demanda baja se estabilizan con el pozo Relamina girando con una α de 0,816 y las dos bombas restantes a velocidad nominal. Con esta configuración se obtiene la siguiente evolución de los depósitos.

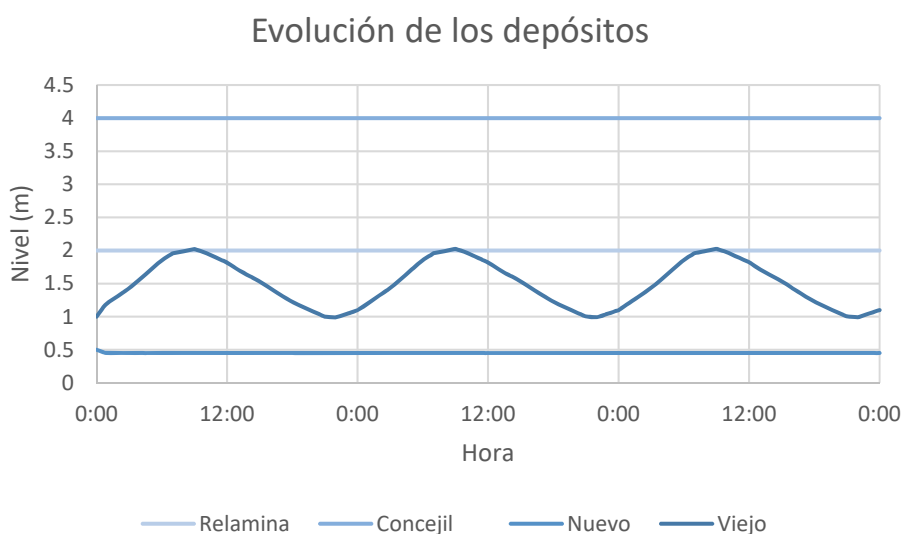


Ilustración 100. Evolución de los depósitos caso 5 (demanda baja)

Con esta configuración se obtienen las siguientes presiones máximas y mínimas.

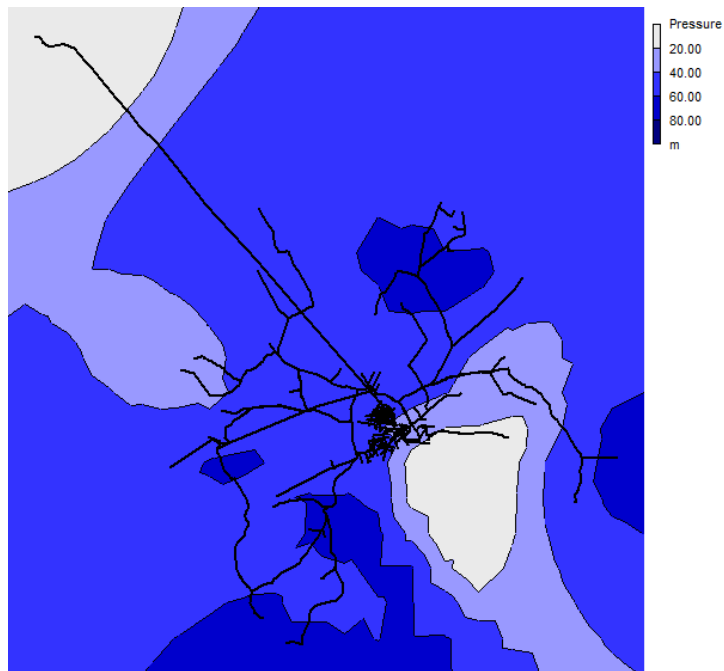


Ilustración 101. Presiones máximas caso 5 (demanda baja)

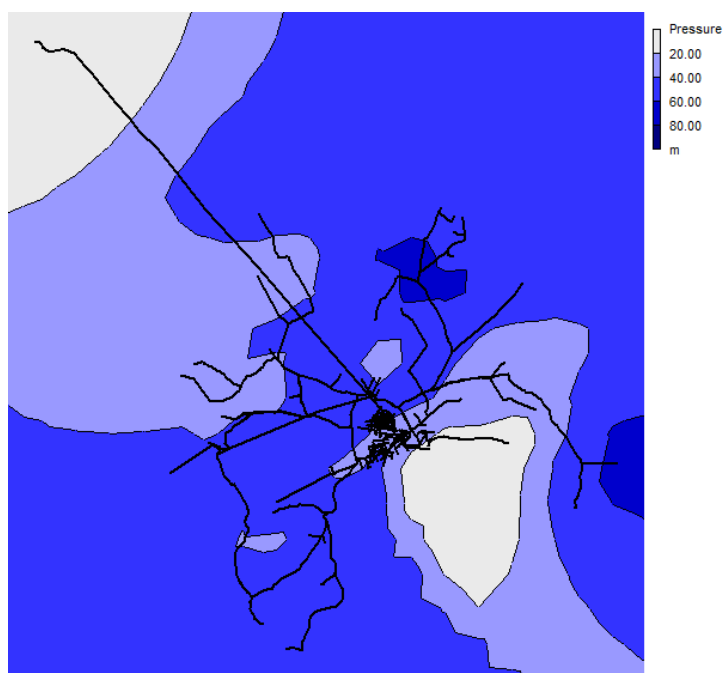


Ilustración 102. Presiones mínimas caso 5 (demanda baja)

Se observa como las presiones no superan los 80 mca y solo se encuentran por debajo de los 20 mca aquellas zonas que en la actualidad no alcanzan este umbral. Por último, se evalúa el informe energético realizado por EPANET.

Tabla 27. Informe energético caso 5 (demanda baja)

Bomba	Porcentaje de utilización (%)	Rendimiento promedio (%)	Intensidad energética (kWh/m ³)	Potencia promedio (kW)	Potencia máxima (kW)	Coste diario (€)
B1	100	55,8	0,78	21,61	21,77	51,87
B2	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0
B4	0	0	0	0	0	0
B5	0	0	0	0	0	0
B6	0	0	0	0	0	0
B7	100	60,11	0,12	0,63	0,65	1,52
B8	100	42,27	0,11	0,45	0,61	1,07
Coste Total						54,46

Se observa en la Tabla 27 como se ha incrementado el coste energético diario unos cuatro euros. Esto se debe a que la bomba del pozo Relamina no trabaja en el punto de máximo rendimiento. Sin embargo, se reduce la potencia consumida, lo que supone un ahorro económico en la facturación respecto al caso inicial. Se recomienda esta configuración debido al ahorro energético que supone en periodos de demanda alta, ya que compensa el incremento del consumo de los periodos de demanda baja.

En este caso no se evalúa el caso con sequía ya que la bomba del pozo de la Relamina es la misma que en caso 3 pero se encuentra girando a velocidades más bajas. En el caso de encontrarse en este caso de emergencia la red respondería de forma similar al caso 3 con sequía.

10 RECOMENDACIONES AL AYUNTAMIENTO DE SINARCAS

Tras haber realizado las auditorías hídrica y energética, y los diferentes estudios se pueden realizar una serie de recomendaciones.

En primer lugar, renovar el parque de contadores incluyendo en los puntos de consumo en los que no se factura el agua, a poder ser con telelectura. De esta forma se puede obtener un modelo matemático con los consumos reales de la población. En el caso que no se instalen contadores con telelectura crear una base de datos con las lecturas de los contadores y las fechas de lectura, de esta forma se puede calcular el caudal medio diario registrado en lugar de asumir que el periodo entre lecturas ha sido de dos meses. Además de los contadores de los usuarios finales se deben instalar contadores en las fuentes de suministro de agua, ya que en la actualidad no se puede obtener la cantidad de agua fugada entre las fuentes de suministro y el depósito viejo.

En segundo lugar, una vez se hayan instalado los contadores, o por lo menos una cantidad suficiente para disponer estimaciones a partir de lecturas en lugar de datos estadísticos, volver a realizar las auditorías hídrica y energética. De esta forma se verifica la necesidad de hacer una campaña de reducción de fugas, o instalar prelocalizadores de fugas para reducir el tiempo entre la aparición de las fugas y su reparación.

En tercer lugar, una vez se ubiquen en un índice de fugas estructural aceptable (ver apartado 5.6), a poder ser menor de cuatro, estudiar las solicitudes de la red y volver a seleccionar una bomba adecuada para abastecer a la población con la infraestructura del caso 5.

Por último, estudiar la viabilidad económica de otros sistemas de refrigeración en las granjas en los que no se gaste tanta agua como en el free cooling, o utilizar agua de otros pozos que no pertenezcan a la red de agua potable. Un sistema que se podría estudiar su viabilidad es la refrigeración mediante una máquina de absorción y captadores solares. Otra opción, si se requiere calefacción en invierno en los que se obtiene energía térmica a partir de combustibles fósiles, podría ser una trigeneración con un motor de combustión interna alternativo. De esta forma se produce calefacción y electricidad en invierno y refrigeración y electricidad en verano. En el caso que no resulte viable otra tecnología que no sea el free cooling buscar un segundo pozo fuera de la zona de la Relamina que ayude a abastecer agua a la población en los periodos de consumo máximo que se producen durante un par de semanas al año.

11 CONCLUSIONES

Tras la realización de este documento se pueden obtener las siguientes conclusiones.

En primer lugar, el bombeo directo puede suponer grandes ahorros energéticos y económicos comparado con un bombeo contra depósito. La complicación en un bombeo directo, y más en un bombeo de un pozo, en el que no se pueden instalar bombas en paralelo, radica en la obtención de puntos de funcionamiento con un rendimiento elevado, ya que encontrar el punto de funcionamiento óptimo en un periodo tendrá consecuencias no tan beneficiosas en el resto de periodos. Aun así, al reducir el consumo energético de la bomba se puede ahorrar energía incluso sin trabajar en el punto óptimo de funcionamiento. Además, permite reducir la potencia eléctrica contratada con el beneficio económico que esto implica. A la hora de seleccionar la bomba es muy importante disponer datos fiables y una previsión del crecimiento o reducción del consumo de agua ya que el rendimiento de la bomba es muy sensible al punto de funcionamiento, que varía constantemente en un bombeo directo.

En segundo lugar, una regulación de la presión adecuada favorece el ahorro energético, además del ahorro de agua, ya que disminuye el volumen fugado, esta regulación puede ser más efectiva si se sectoriza la red, aunque aumenta el coste de la infraestructura.

En tercer, se deben disminuir las fugas de agua ya que de esta forma se contribuye al ahorro de dos recursos naturales importantes como son el agua y la energía.

En cuarto y último lugar se debe destacar la robustez que supone instalar depósitos frente a las variaciones en el diseño como puede ser la anulación de un punto de captación o la demanda. Aunque esta robustez supone un sobre coste energético y económico.

12 ANEXOS

ANEXO 1. MANUAL “GENERACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN EPANET CON EL PROGRAMA QGIS”

GENERACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN EPANET CON EL PROGRAMA QGIS

Descripción breve

La generación de modelos matemáticos en EPANET suele ser una tarea tediosa ya que está poco automatizada y se suele hacer de forma manual. Esta herramienta permite obtener e introducir todas las cotas de los distintos nudos de la red y el diámetro de las tuberías de una forma bastante automatizada con un programa de software libre.

Edgar Sancho Mateu

Javier Soriano Olivares

ITA-UPV

28/02/2019



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

12.1.1 DATOS DE PARTIDA

Este tutorial parte de que se dispone una primera versión del modelo matemático (sin cotas ni diámetros) generado con EPACAD y este está geolocalizado. No se debe modificar ningún dato en EPANET (no añadir embalses, depósitos, bombas, válvulas, etc.). Aunque EPACAD genera un archivo INP es aconsejable generar un INP nuevo a partir de EPANET, ya que el archivo INP exportado de EPANET dispone más campos como el diámetro.

12.1.2 DOCUMENTOS NECESARIOS

El programa QGIS trabaja con elementos geolocalizados. Por lo tanto, las coordenadas de los planos de AutoCAD deben disponer las mismas coordenadas.

Se requieren los siguientes archivos.

- **Curvas de nivel en .DXF**
- **Plano con las tuberías agrupadas en capas según material y diámetro** y sin ningún otro elemento (solo tuberías en todas las capas). También en .DXF. Este plano se debe extraer de la primera versión del modelo matemático y después modificar las capas. Es importante que todos los nombres de las capas tengan el mismo número de caracteres. Ejemplos PE_040, PVC110
- **Hoja de cálculo de las coordenadas de los puntos en formato .scv.**
A partir del archivo .INP extraído de EPACAD se puede abrir un archivo de texto. Se seleccionan y se copian todos los datos del apartado COORDINATES.

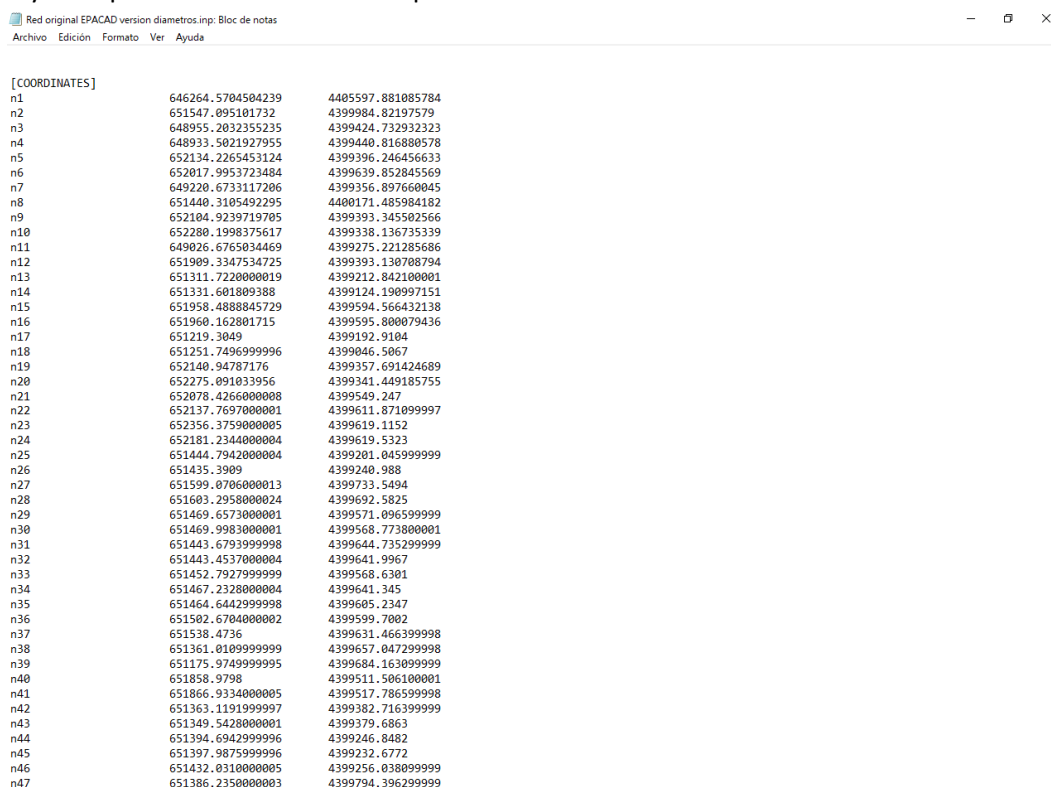


Ilustración 103. Coordenadas de los nudos en el archivo INP

Una vez copiados se pegan en Excel. Se recomienda poner etiquetas en la fila superior.

Nudo	Este	Norte
n1	646264.57	4405597.881
n2	651547.095	4399984.822
n3	648955.203	4399424.733
n4	648933.502	4399440.817
n5	652134.227	4399396.246
n6	652017.995	4399639.853
n7	649220.673	4399356.898
n8	651440.311	4400171.486
n9	652104.924	4399393.346
n10	652280.2	4399338.137
n11	649026.677	4399275.221
n12	651909.335	4399393.131
n13	651311.722	4399212.842
n14	651331.602	4399124.191
n15	651958.489	4399594.566
n16	651960.163	4399595.8
n17	651219.305	4399192.91
n18	651251.75	4399046.507
n19	652140.948	4399357.691
n20	652275.091	4399341.449
n21	652078.427	4399549.247
n22	652137.77	4399611.871
n23	652356.376	4399619.115
n24	652181.234	4399619.532
n25	651444.794	4399201.046
n26	651435.391	4399240.988
n27	651599.071	4399733.549
n28	651603.296	4399692.583
n29	651469.657	4399571.097
n30	651469.998	4399568.774
n31	651443.679	4399644.735
n32	651443.679	4399644.735
n33	651443.679	4399644.735

Ilustración 104. Coordenadas de los nudos en Excel

Este documento se debe guardar en la extensión .csv.

12.1.3 GENERACIÓN DEL MODELO

12.1.3.1 CONFIGURACIÓN GENERAL DE QGIS

En primer lugar, se va a referenciar el proyecto. Para ello se pulsa en **Proyecto\Propiedades**.

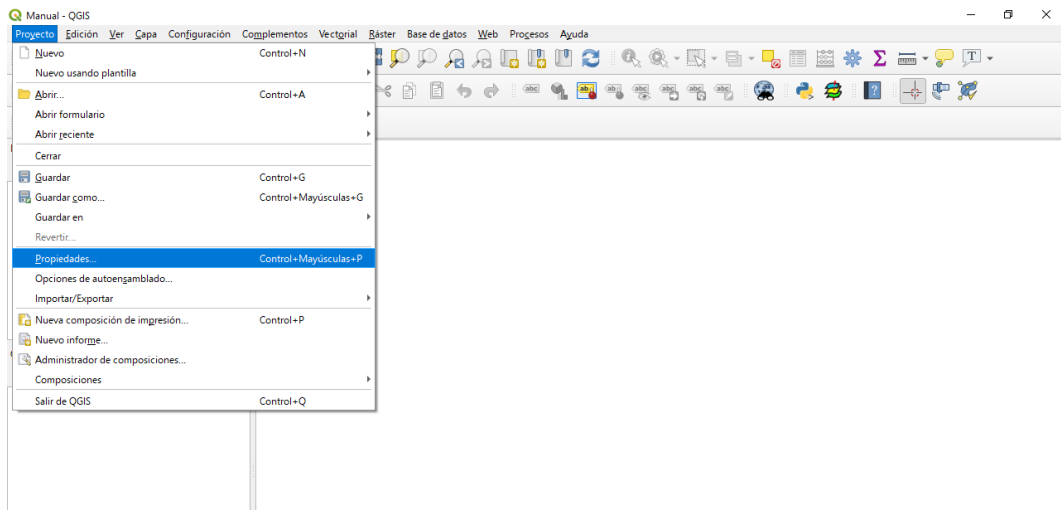


Ilustración 105. Acceso al menú de propiedades de QGIS

Tas este paso aparecerá una pantalla en la cual debemos pulsar en el menú **SRC** (Ilustración 107) y establecer su sistema de coordenadas. En el caso de Sinarcas es UTM 30 N. Se puede comprobar en Google Earth. La zona 30 va del meridiano de Greenwich al siguiente meridiano representado en sentido oeste.

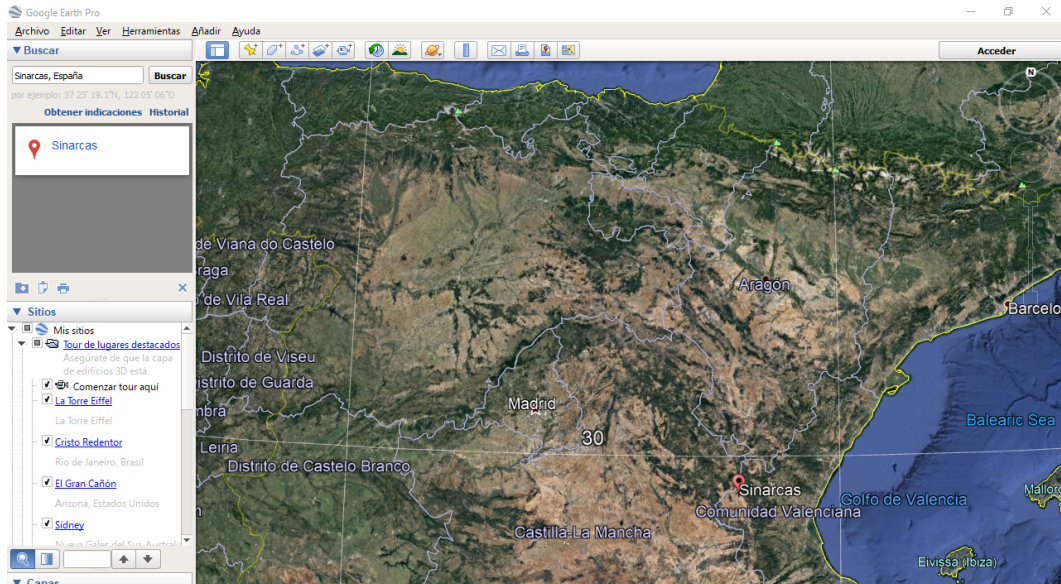


Ilustración 106. Obtención del sistema de referencia UTM en Google Earth Pro

En la pestaña nueva se filtra “UTM 30” y se selecciona UTM zone 30N (N y S hacen referencia a norte y sud). Finalmente se aplica y se acepta.

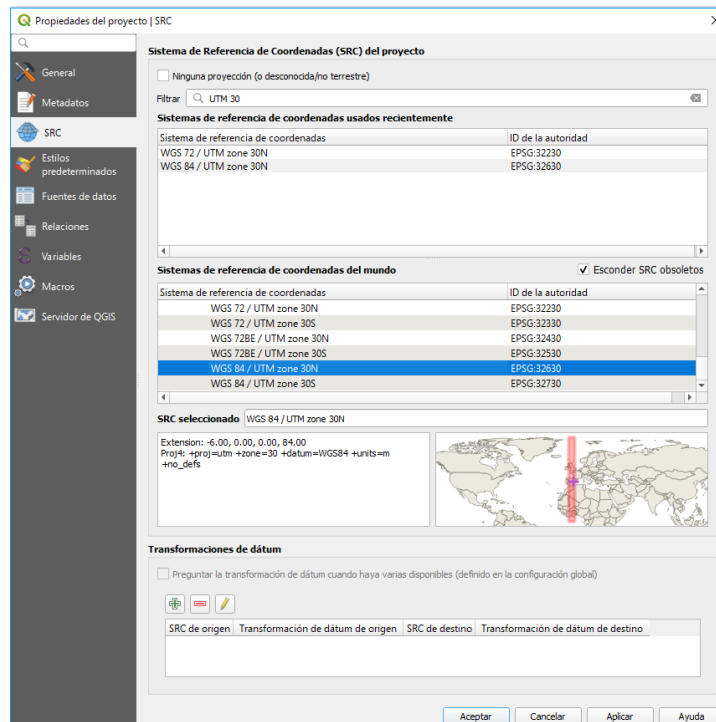


Ilustración 107. Selección del sistema de coordenadas del proyecto

En segundo lugar, se va a realizar un paso opcional que nos ayudará a verificar la correcta introducción de los datos. Este paso opcional es introducir el mapamundi de fondo. Se realiza haciendo doble clic en el botón que se indica a continuación.

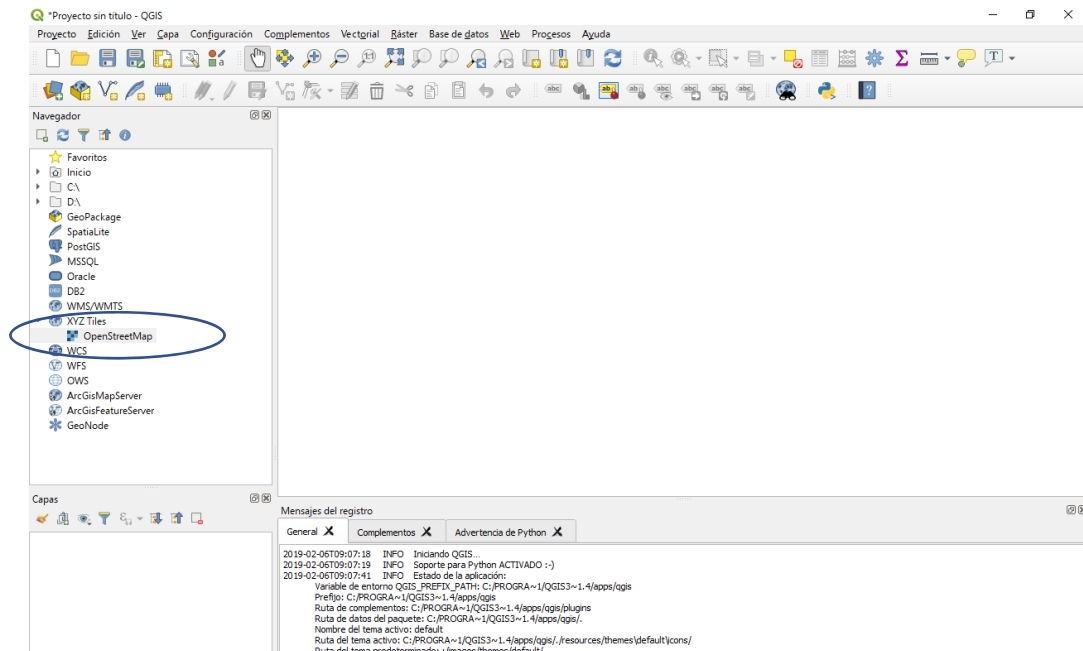


Ilustración 108. Inserción del mapamundi

12.1.3.2 INTRODUCCIÓN DE LOS NUDOS

Con el mapamundi introducido se va a importar la capa de los nudos generada con las coordenadas de los puntos en formato CSV. Para ello se va a **Capa\Añadir capa\Añadir capa de texto delimitado**.

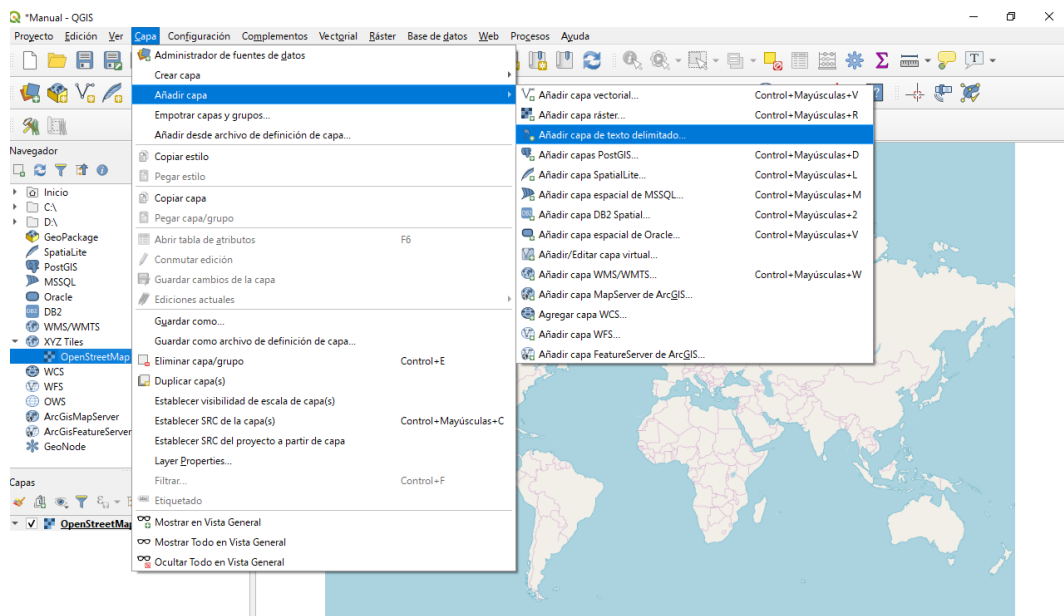


Ilustración 109. Acceso la ventana de introducción de coordenadas

A continuación, aparece una ventana en la cual se indicará **la ruta del archivo en la casilla “nombre de archivo”** presionando sobre los tres puntos y **codificación system**.

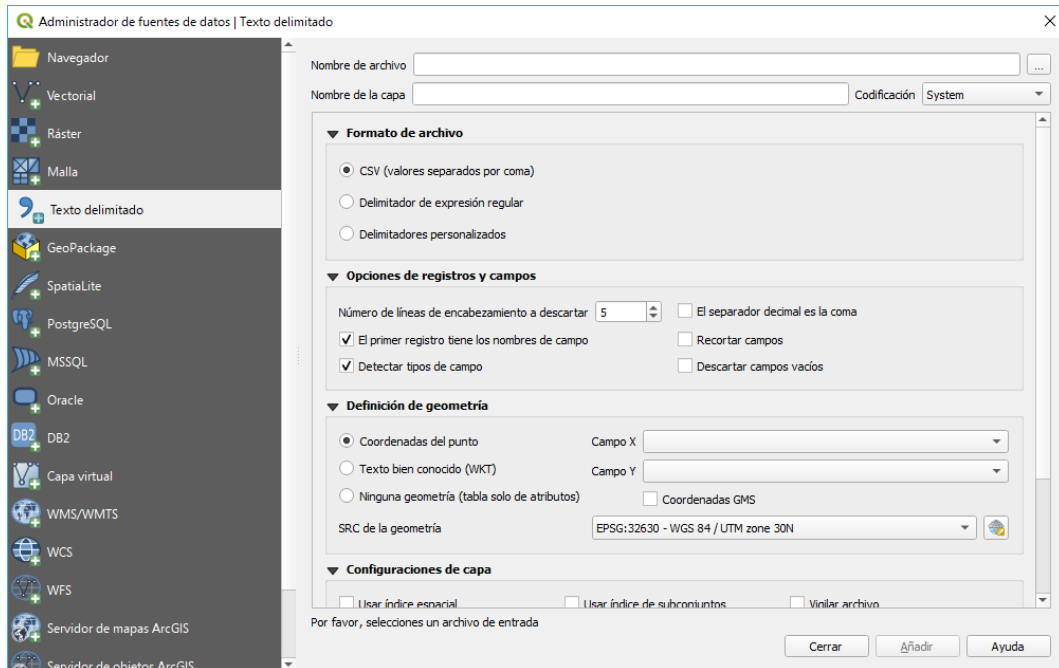


Ilustración 110. Ventana de introducción de nudos A

Tras introducir la ruta del archivo csv aparece en la parte inferior de la ventana aparece una tabla con los datos de ejemplo.

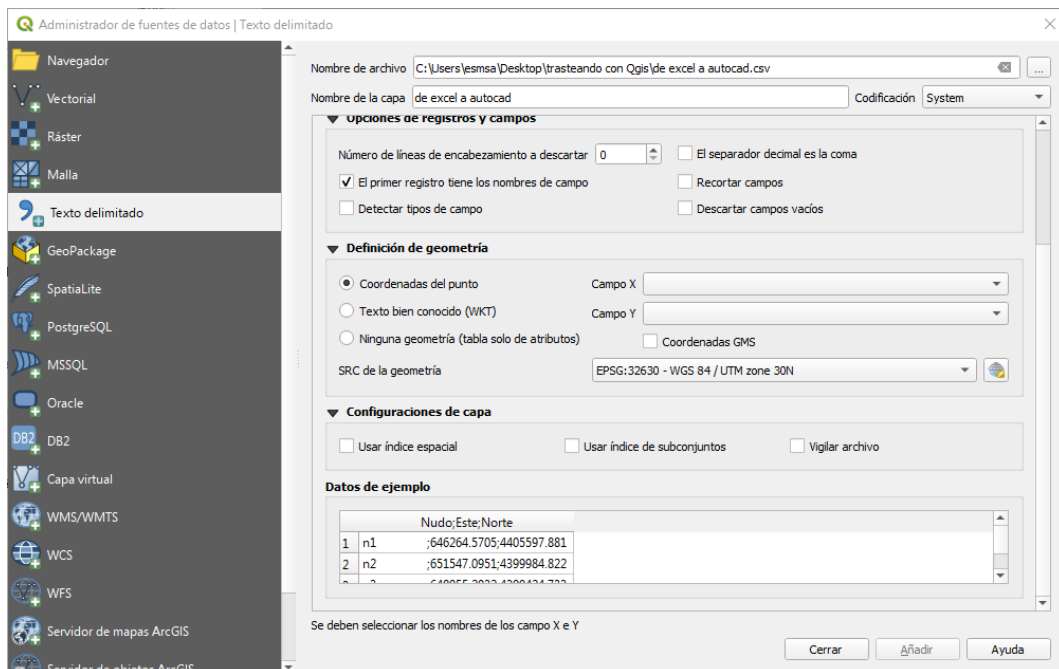


Ilustración 111. Ventana de introducción de nudos B

Se observa que los datos están todos en la misma celda y separado por ;. Para solucionar esto en el apartado formato de archivo se selecciona Delimitador de expresión regular y se indica la expresión “;”.

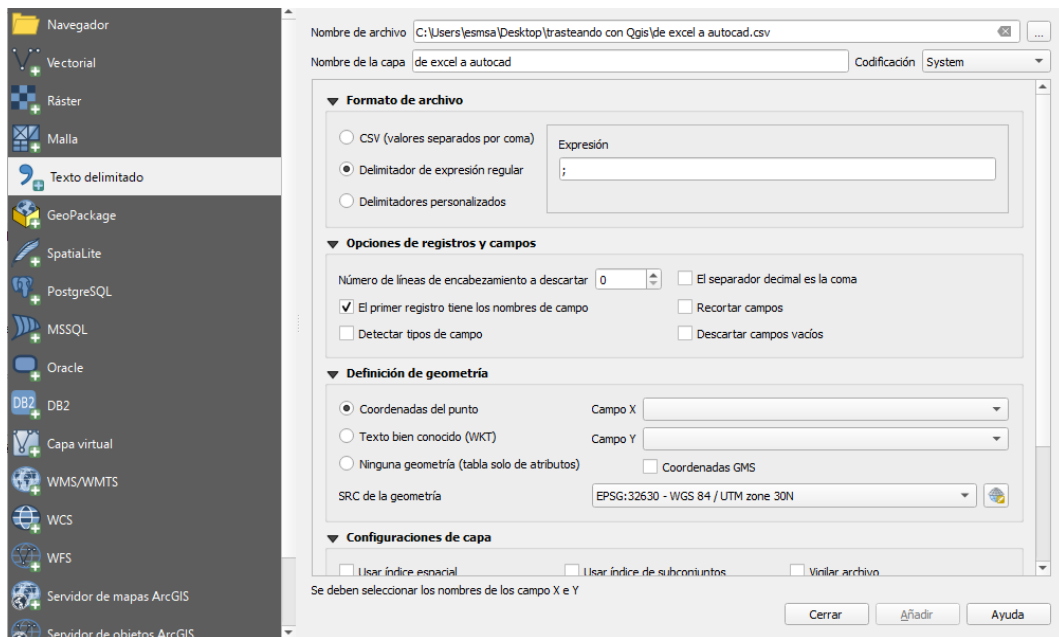


Ilustración 112. Modificación del formato del archivo CSV

El ordenador en el que se ha generado el manual tiene configurado la separación de decimales como “.” y el separador de miles como “,” en el caso que no coincida con la configuración de su equipo se puede indicar que el separador de decimal es la coma.

En el apartado Definición de geometría se define el **campo X como este y el campo Y como norte**. La zona geográfica está definida igual que la del proyecto.

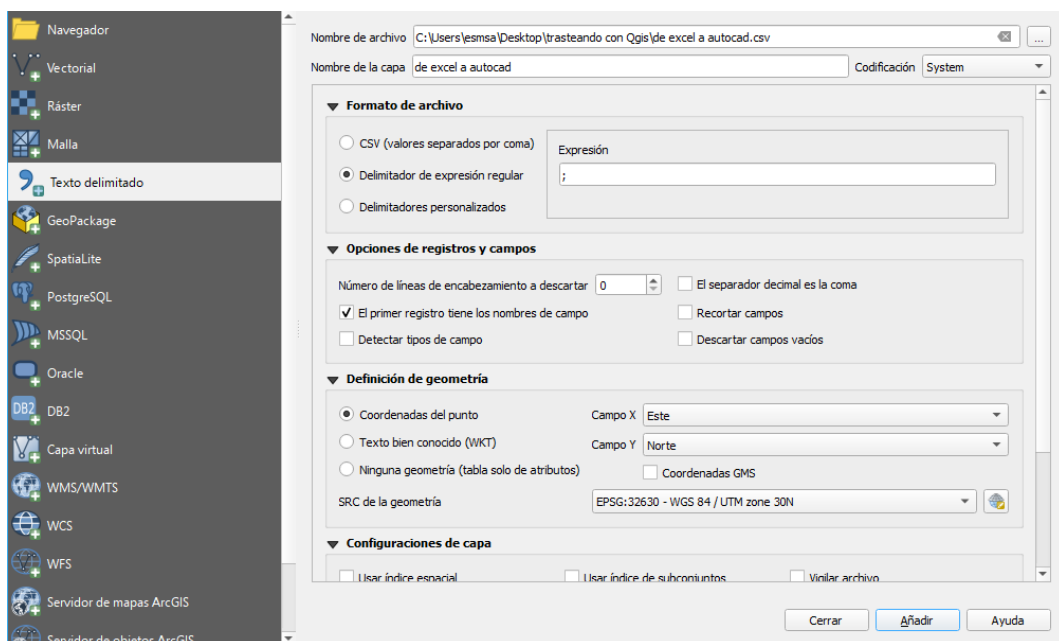


Ilustración 113. Definición geométrica de los nudos

Finalmente se pulsa Añadir y Cerrar. Es conveniente verificar los Datos de ejemplo que se encuentren todos los nudos y tienen el formato correcto.

Una vez introducida la capa aparecerá en la parte inferior izquierda de la pantalla. Para comprobar que se ha generado correctamente se hace clic derecho sobre el nombre que se le ha dado al archivo y se hace clic izquierdo en zoom a la capa.

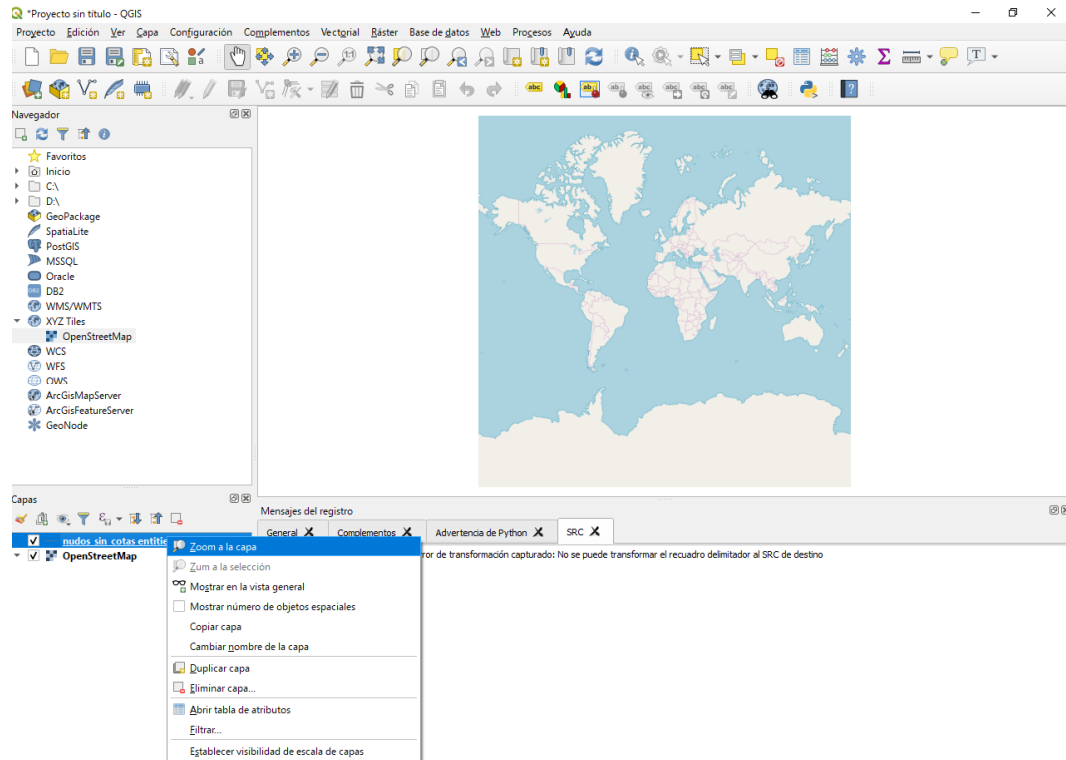


Ilustración 114. Zoom al área de trabajo

Se observa como coincide el mapamundi con los nudos de la red.

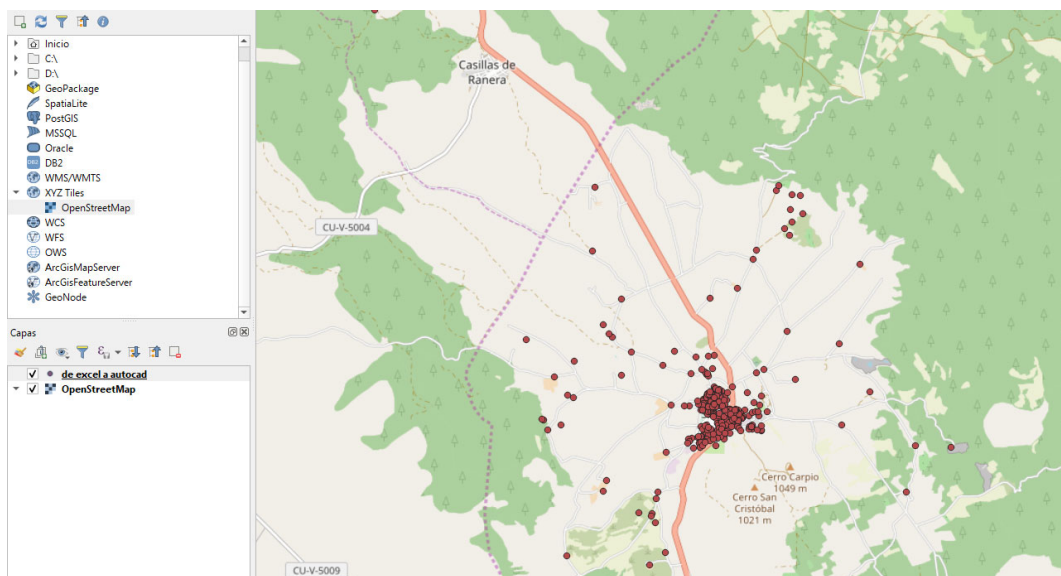


Ilustración 115. Verificación de la ubicación de los nudos

12.1.3.3 INTRODUCCIÓN DE LAS CURVAS DE NIVEL

Para la introducción de las curvas de nivel se debe introducir un **archivo .DXF** donde **únicamente debe haber polilíneas**. Se comprueba abriendo el archivo .DXF con un programa de dibujo.

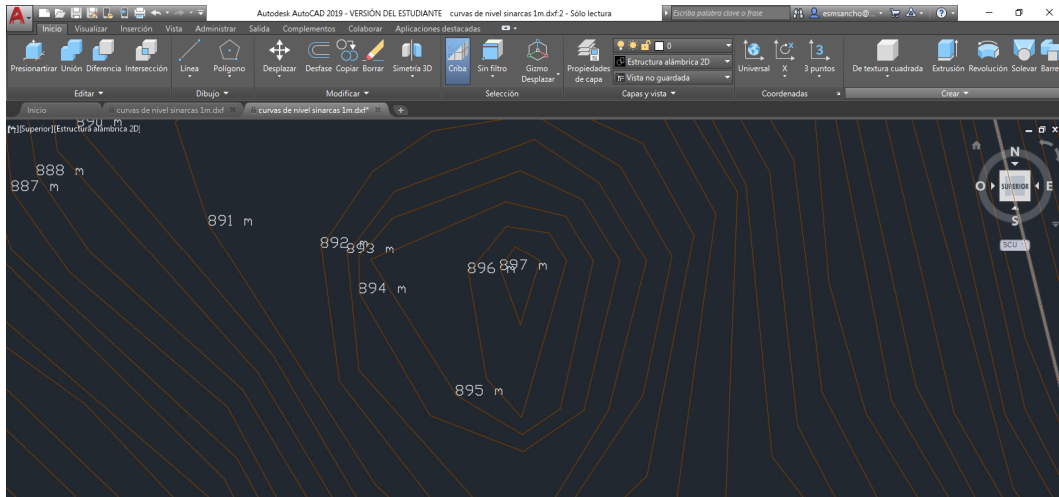


Ilustración 116. Archivo DXF original obtenido con Global Mapper

Se observa que en el archivo DXF hay otros elementos a parte de las curvas de nivel. Con el fin de asegurar que solo se introduce un archivo con las curvas de nivel se va a proceder de la siguiente forma.

Se selecciona una curva de nivel. Tras seleccionarla se pulsa el **boton derecho** del raton, aparece un menu y se pulsa sobre **Seleccionar similares**.

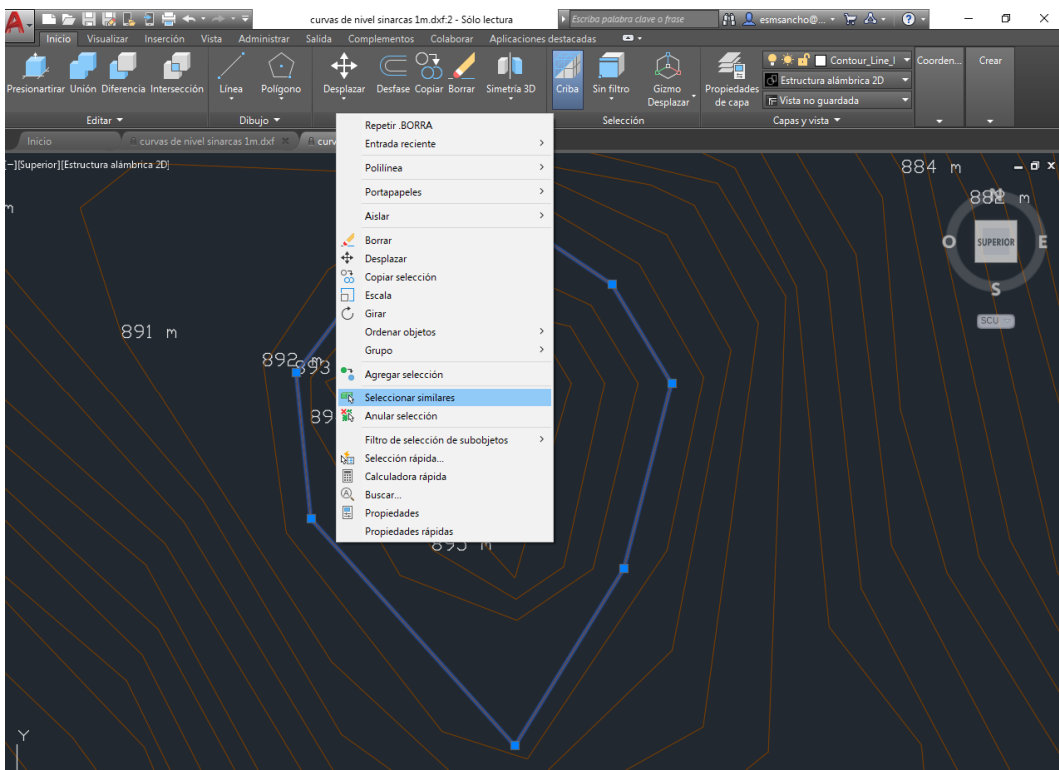


Ilustración 117. Selección de todas las curvas de nivel

Con todas las curvas de nivel seleccionadas se copian (Control + C).

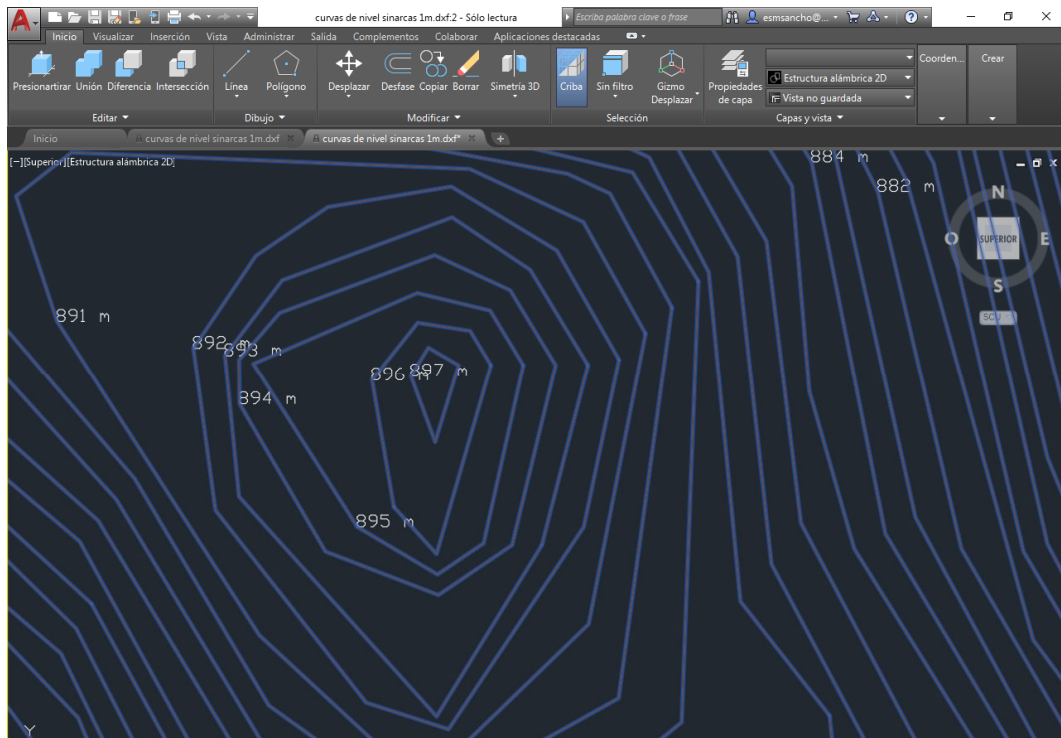


Ilustración 118. Copiado de las curvas de nivel

Finalmente se abre un dibujo nuevo se hace **clic derecho** en la zona de dibujo y se pulsa en **Portapapeles\Pegar en coordenadas originales**.

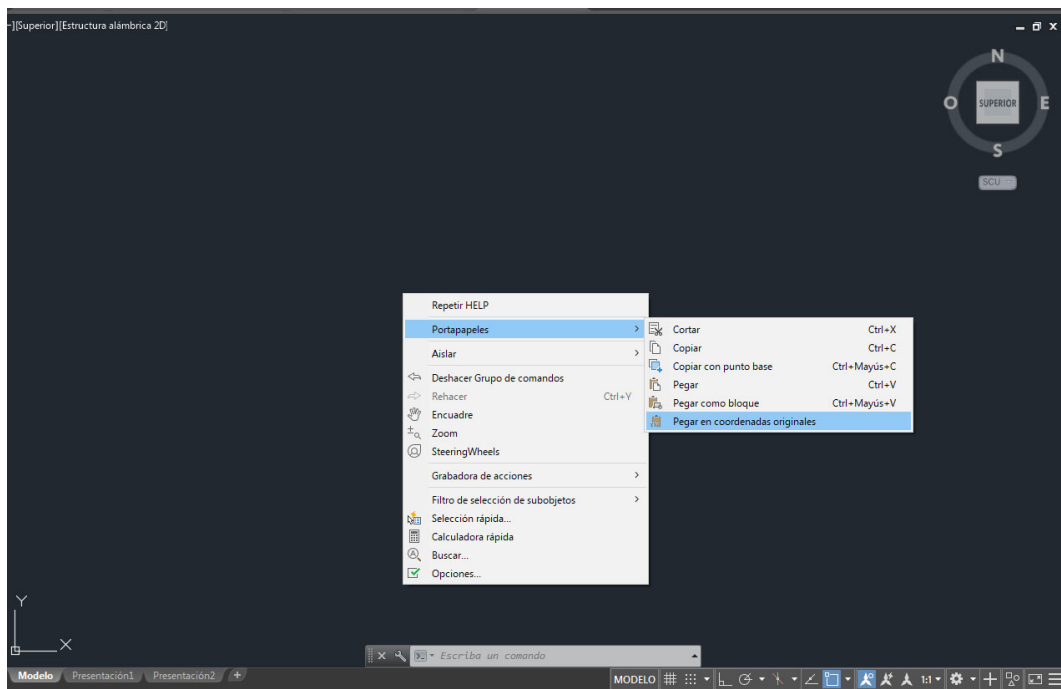


Ilustración 119. Pegado de las curvas de nivel en las coordenadas originales

En el caso que no aparezca nada en pantalla se debe a que no se está visualizando las coordenadas en las que se encuentra el archivo. Esto se soluciona haciendo un zoom a la extensión (en la versión de AutoCAD en castellano la combinación de teclas es: z, intro, e, intro o haciendo doble clic sobre la rueda del ratón). Se guarda este archivo en formato .DXF.

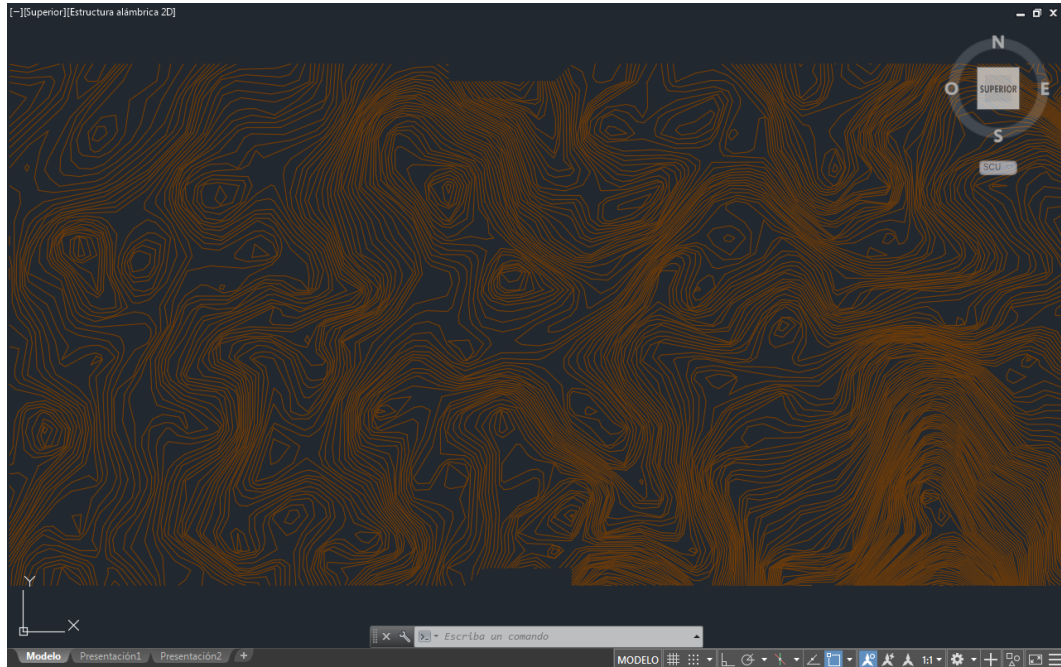


Ilustración 120. Planta de las curvas de nivel

Las curvas de nivel deben estar dibujadas en la coordenada Z que les corresponde. Esto se comprueba con la vista frontal del dibujo.



Ilustración 121. Alzado de las curvas de nivel

Tras verificar que el archivo es correcto se va a importar la capa de las curvas de nivel. Para ello se va a **Capa\Añadir capa\Añadir capa vectorial**.

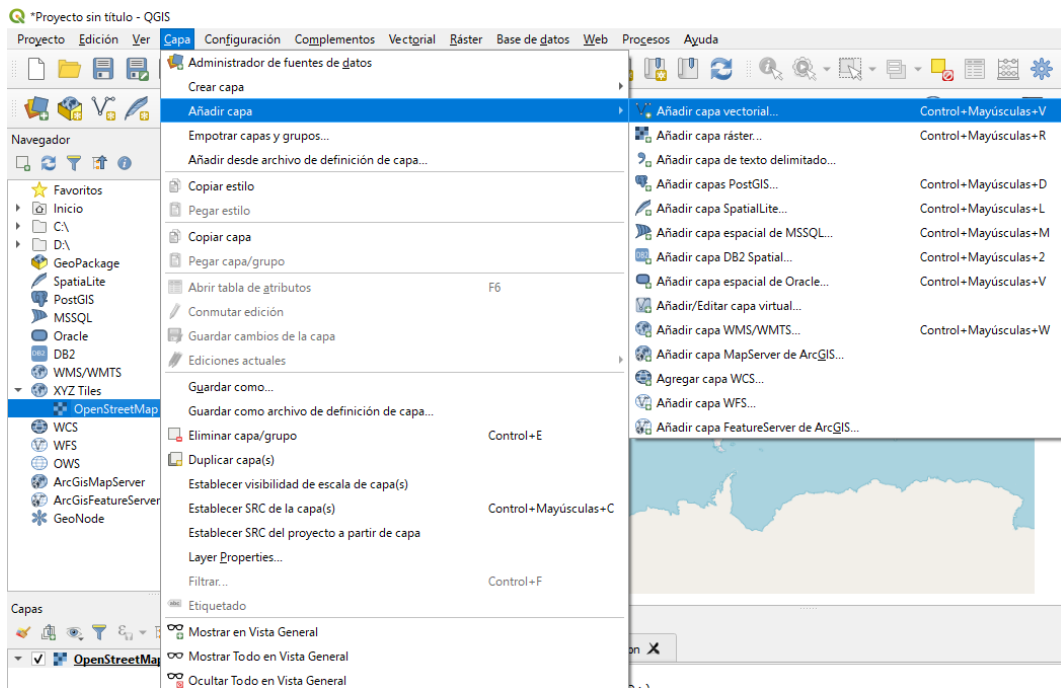


Ilustración 122. Acceso a la ventana de introducción de las curvas de nivel

A continuación, aparece una ventana en la cual se indicará que es un archivo, **codificación System** y la **ruta del archivo haciendo clic en los tres puntos** y finalmente se pulsa añadir.

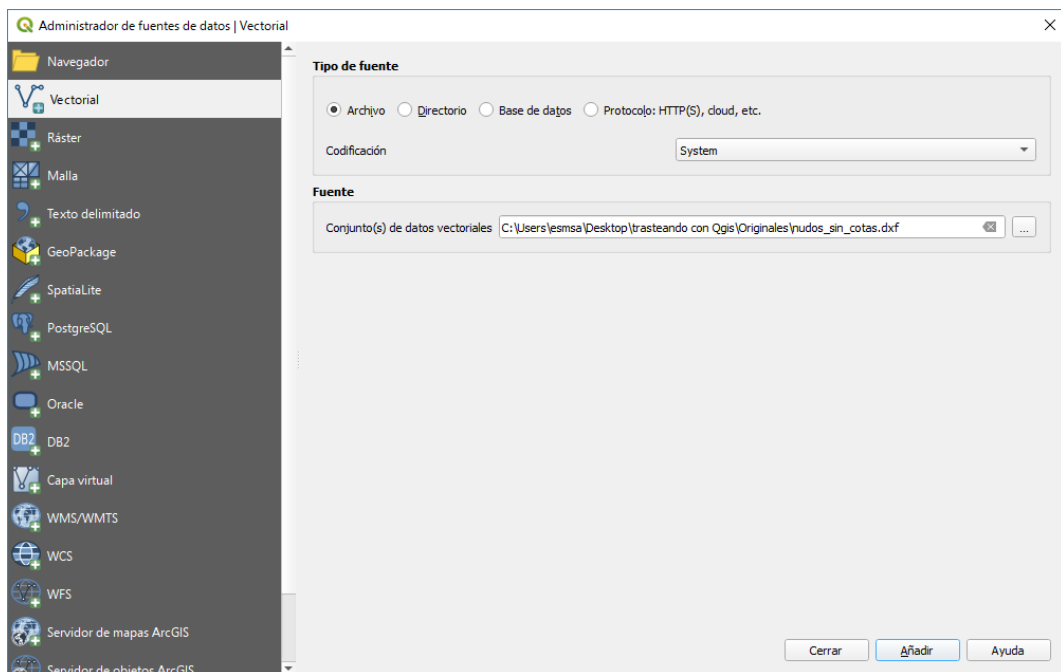


Ilustración 123. Ventana de introducción de las curvas de nivel

En el caso que no aparezca en pantalla es porque no está referido a la zona de trabajo, Para ello se pulsa con el botón derecho sobre la capa Establecer SRC\ Establecer SRC de la capa.

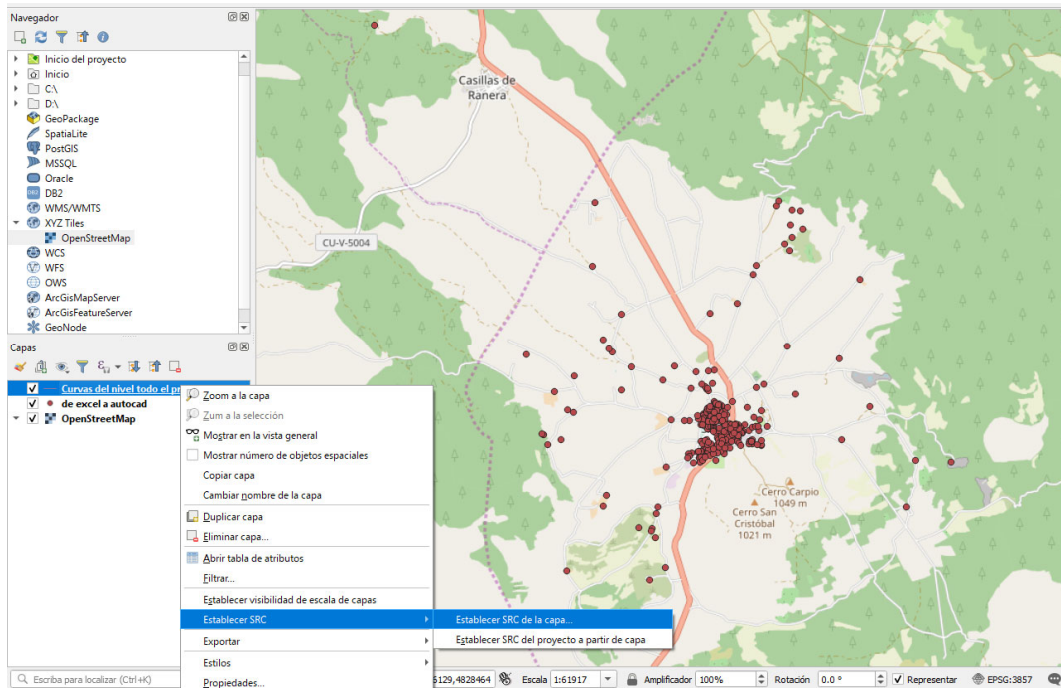


Ilustración 124. Asignación del sistema de referencia de la capa de las curvas de nivel

Obteniendo las 3 capas superpuestas.

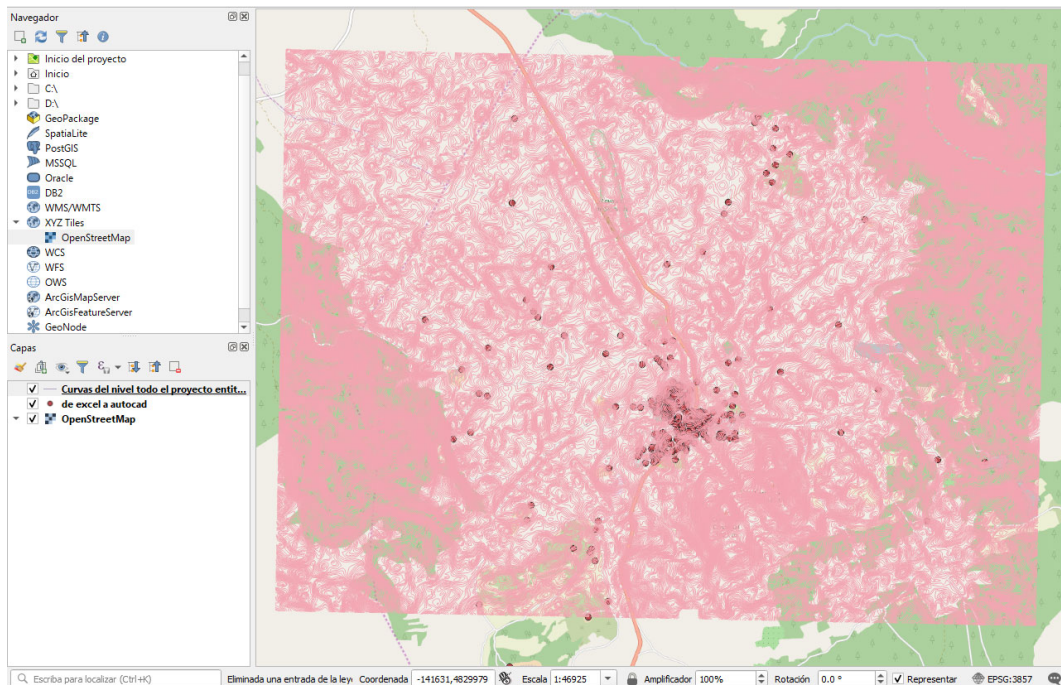


Ilustración 125. Verificación de las curvas de nivel en el área de trabajo

12.1.3.4 GENERACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO

El siguiente paso es generar una superficie a partir de las curvas de nivel, Para ello se utiliza la herramienta “Interpolación TIN” de la caja de herramientas. Para visualizar la Caja de herramientas se debe pulsar en la pestaña **Procesos** de la barra superior y pulsar en **Caja de herramientas**.

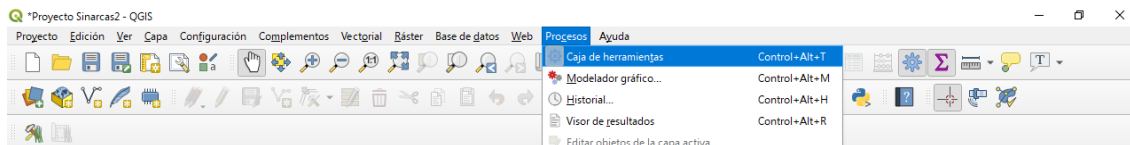


Ilustración 126. Acceso al menú Caja de herramientas

Tras pulsar sobre caja de herramientas aparecerá en menú a la derecha. En él o se busca en el buscador interpolación TIN o se pulsa en el desplegable **interpolación/interpolación TIN**.

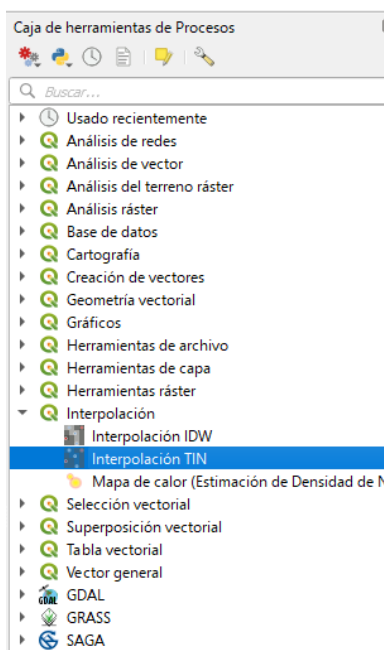


Ilustración 127. Acceso a la interpolación TIN de la caja de herramientas

Tras pulsar en Interpolación TIN aparece una ventana (Ilustración 129). Se debe seleccionar la capa con las curvas de nivel marcar la casilla “**Usar coordenada Z para interpolación**” y pulsar en +. Al pulsar en + se selecciona el **Tipo Líneas de estructura**, El método de **interpolación Lineal**. la **extensión** se pulsa en los tres puntos y se selecciona usar la **extensión de la capa**. Tras pulsar esta opción aparece otra ventana. Se selecciona la que contiene las curvas de nivel.

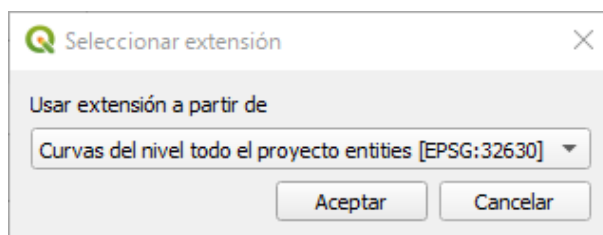


Ilustración 128. Selección de la extensión de la superficie

Tras aceptar esta ventana se define la resolución de la superficie. Hay que valorar entre precisión y coste computacional. El tamaño de píxel está en metros. Finalmente se pulsa en ejecutar. Por defecto se establece el valor 0,1. Para aligerar el coste computacional se establece a 0,5.

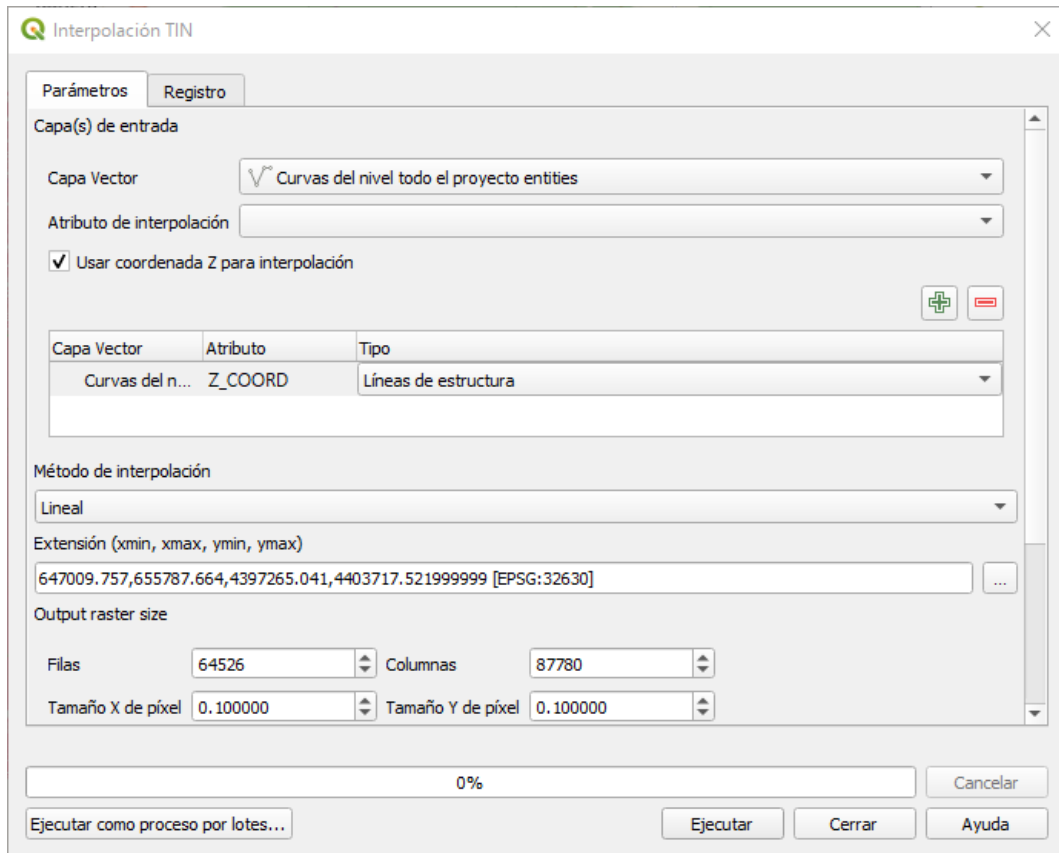


Ilustración 129. Ventana de configuración de la interpolación TIN

Una vez generada la superficie se pulsa cerrar en la ventana anterior.

12.1.3.5 ASIGNACIÓN DE LA COTA A LOS NUDOS

A continuación, se va a asignar la cota a los distintos números. Se va a realizar con El **plugin Point Sampling Tool**. Para disponer de este complemento se accede a **Complementos\Administrar e instalar complementos**.

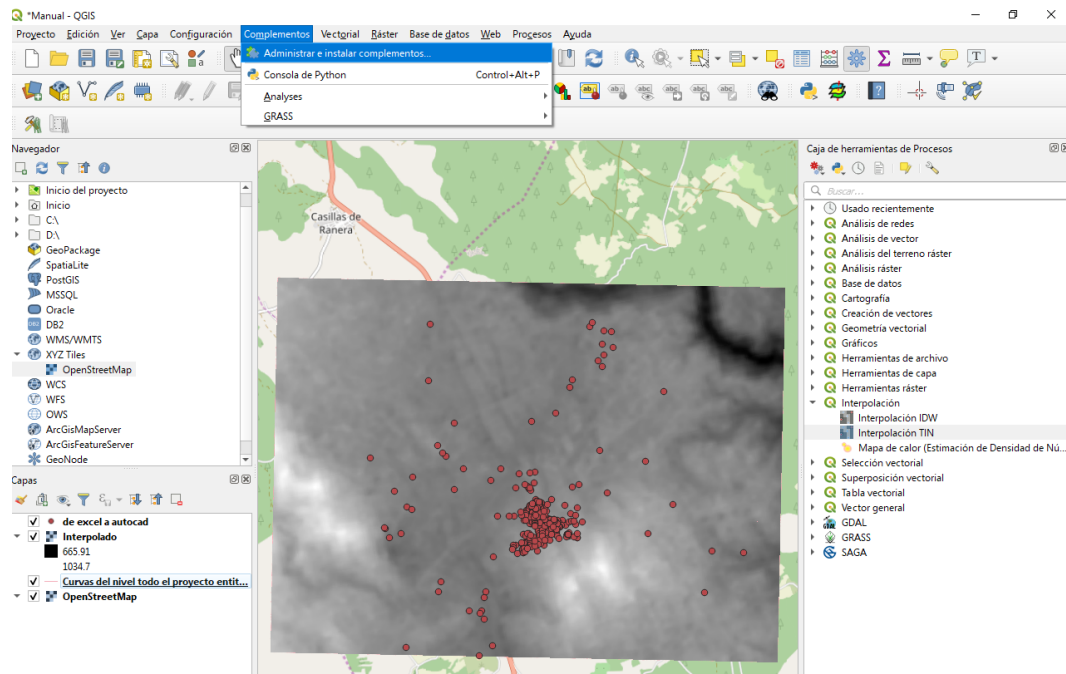


Ilustración 130. Acceso al menú Administrar e instalar complementos

Aparecerá una ventana y se busca el nombre del complemento. Se selecciona y se instala.

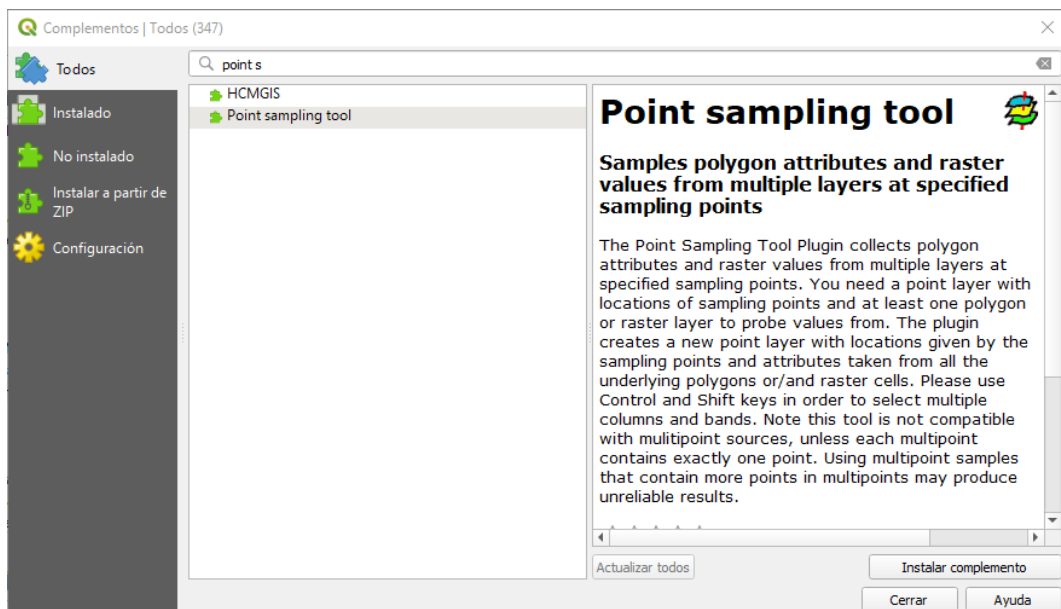


Ilustración 131. Búsqueda e instalación del complemento Point sampling tool

Con el complemento instalado se vuelve a la pestaña **Complementos** y se selecciona **Analyses\ Point Sampling Tool**.

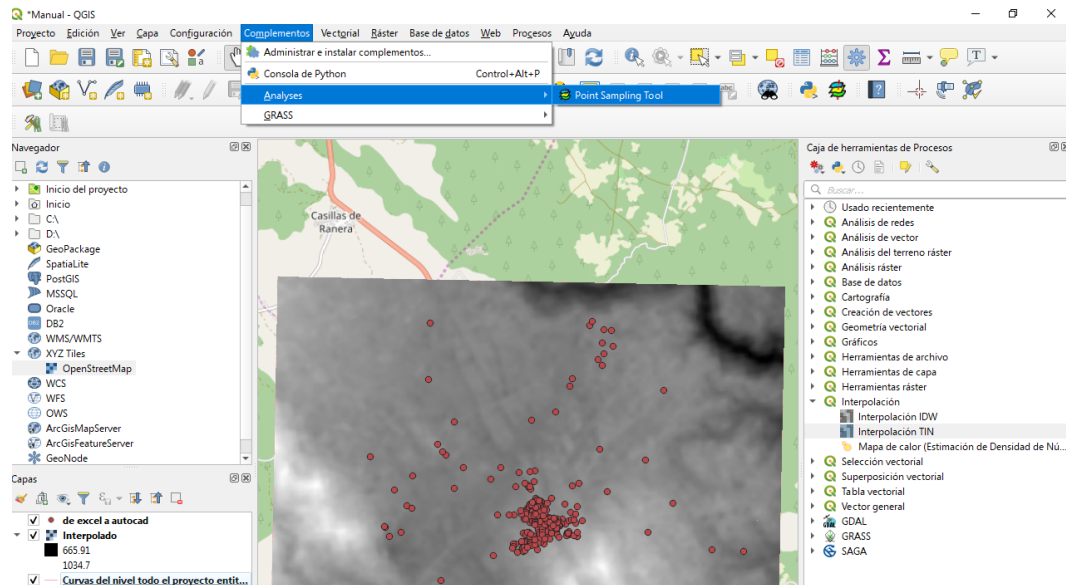


Ilustración 132. Acceso al menú Point Samplig Tool

Aparece una ventana nueva en la que se indicará la capa con los **nudos** importados de Excel en la pestaña **Layer containing sambling points**. En la **ventana Layers with fields/bands to get values from** se asignará **“Interpolado: Banda 1 (ráster)”**, es el nombre que le da por defecto a la superficie generada con la interpolación TIN.

En Output point vector layer se selecciona dónde se va a guardar el archivo generado y se marca la opción **“Add created layer to the map”**. Finalmente se pulsa Aceptar y se cierra cuando haya finalizado el proceso.

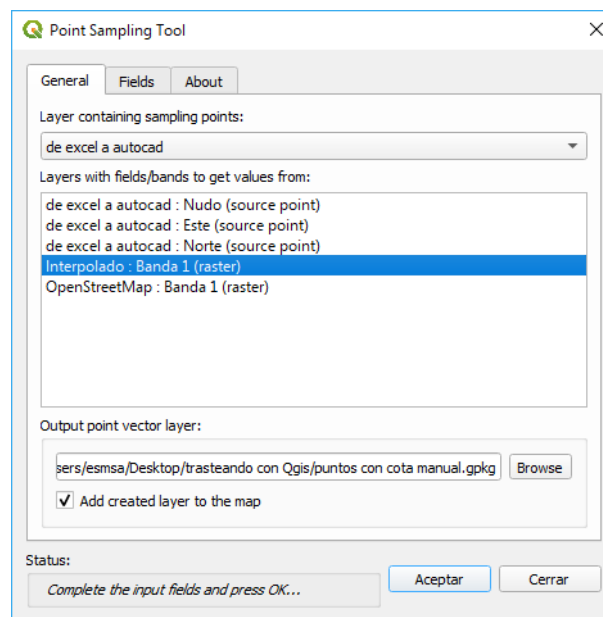


Ilustración 133. Configuración de Point Sampling Tool

Se puede visualizar las diferentes cotas asignadas a los nudos haciendo clic derecho sobre la capa y pulsando en abrir capa de atributos.

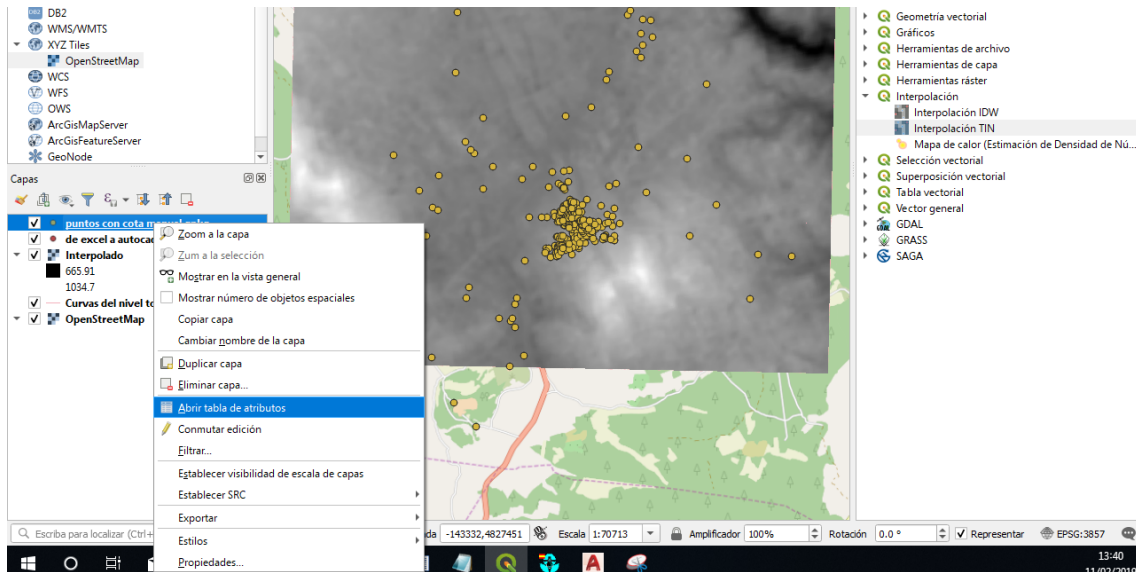


Ilustración 134. Acceso a la tabla de atributos de los nudos

puntos con cota manual.gpkg :: Objetos totales: 333, Filtrados: 333, Seleccionados: 0

fid	Interpolad
1	115
2	114
3	117
4	116
5	119
6	118
7	105
8	104
9	107
10	106
11	109
12	108

Ilustración 135. Tabla de atributos de los nudos

12.1.3.6 GENERACIÓN DEL ARCHIVO INP, PARTE NUDOS

Para exportar estos datos a Excel se vuelve a hacer **clic derecho sobre la capa Exportar\Guardar objeto como**.

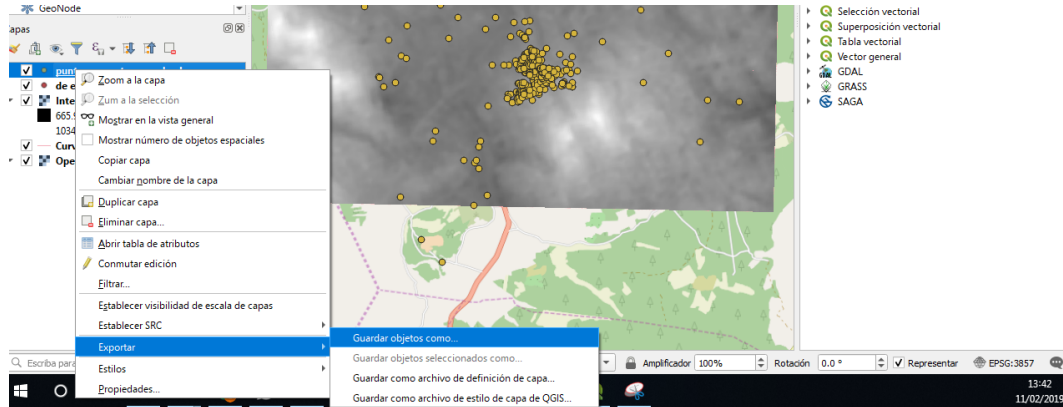


Ilustración 136. Acceso al menú de exportación de la hoja de cálculo

Aparecerá otra ventana. En la que se debe indicar el **formato como “Hoja de cálculo de MS Office Open XML”**. la **ruta del archivo pulsando sobre los tres puntos** y revisar que el SRC está en la zona UTM 30N y aceptar.

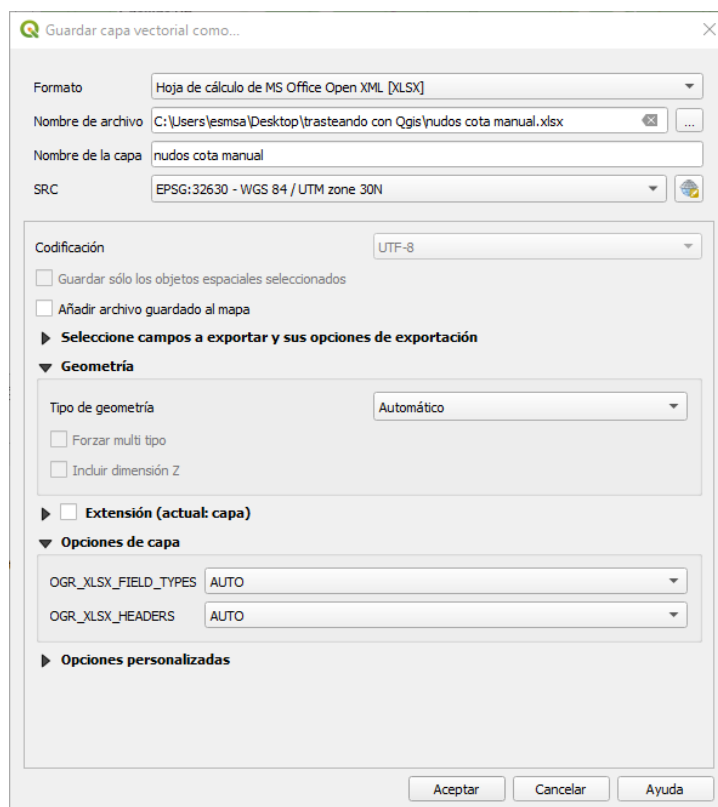


Ilustración 137. Configuración de los parámetros para exportar la hoja de cálculo

Tras este paso se ha generado una hoja de cálculo con todas las cotas del proyecto.

A modo de comprobación, se puede observar que algunos puntos quedan fuera de la superficie TIN. Se pueden usar estos nudos como referencia.

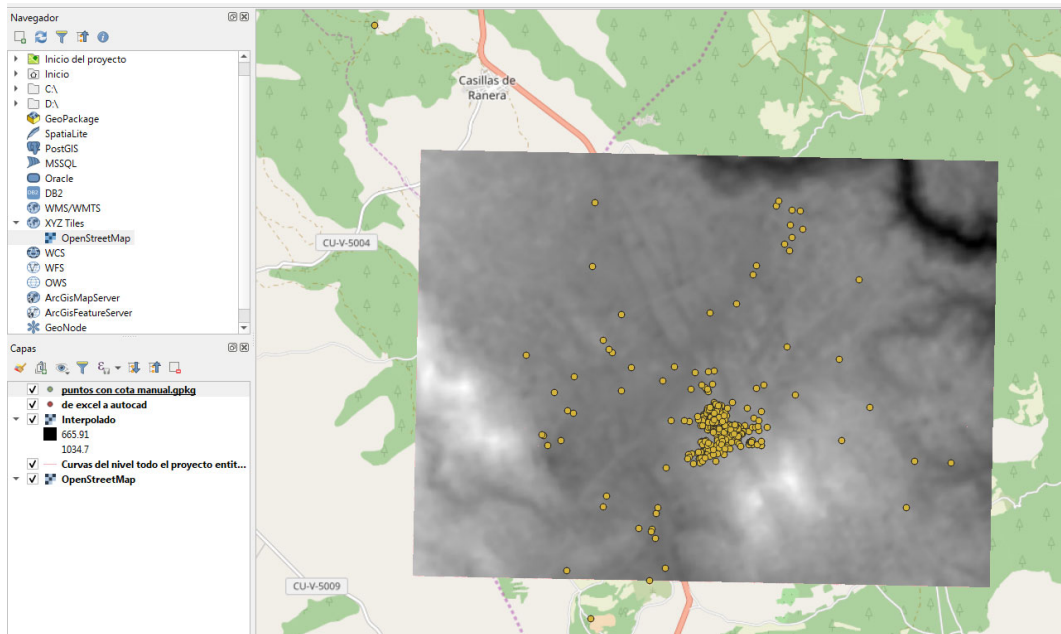


Ilustración 138. Comprobación de nudos fuera de la superficie

Al abrir el documento original en EPANET se puede observar el nombre que EPANET le asigna a cada nudo.

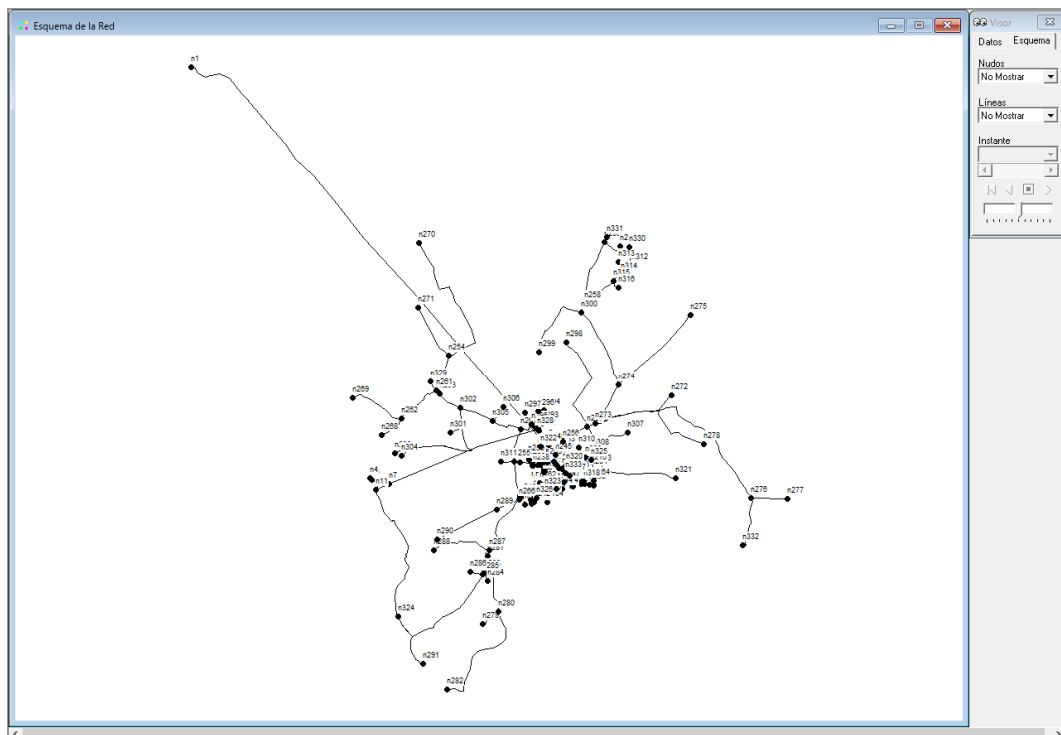


Ilustración 139. Identificación de los nudos asignada por EPANET

Los nudos que están fuera de la superficie corresponden a n1, n279, n282 y n291. Al buscar estos elementos en la hoja de cálculo se puede observar que no tienen un valor asignado.

fid	Interpolad		
1		267	844.54731
		268	866.49054
2	876.45416	269	862.30787
3	859.28583	270	851.15209
4	864.52519	271	855.288
5	909.71561	272	873
6	879.21154	273	865.79307
7	834.52874	274	865.9655
8	859.17079	275	864.49561
9	908.48562	276	855.63905
10	912.55075	277	835.80717
11	837	278	884.17561
12	890.43836	279	
13	878	280	823
14	873.11937	281	826.02474
15	879.74008	282	
16	879.7183	283	842.91384
17	878.78097	284	829.98181
18	868.35723	285	840.53138
19	910.27916	286	852.98643
20	912.36257	287	838.75006
21	897.78595	288	855.24286
22	894.602	289	851.0158
23	895.71017	290	844.80929
24	891.30232	291	
25	888.14891	292	861.00127
26	891.27068	293	859.56483
27	893.54438	294	852.11616
28	889.9638	295	851.24217
29	871.80984	296	861.46918
30	871.74853	297	850.21924
31	875.1634	298	851.70306
32	875.06324	299	838.53444
33	869.57587	300	837.91277
34	876.03597	301	850.22917
35	873.50813	302	850.33352
36	876.20611	303	858.55729
37	879.51236	304	852.32067
38	865.54721	305	841
39	855.96624	306	848.39952
40	885.47415	307	876.2561

Ilustración 140. Valores asignados a los puntos fuera de la superficie

Estos valores se asignarán manualmente en la red de EPANET. Si desea hacer esta comprobación de la correspondencia de la identificación del nudo en ambos programas puede borrar algún valor a nudos que resulte fácil identificar.

Por último, se asignan estos valores al archivo INP. Se copia todo el archivo INP y se pega en una hoja de cálculo.

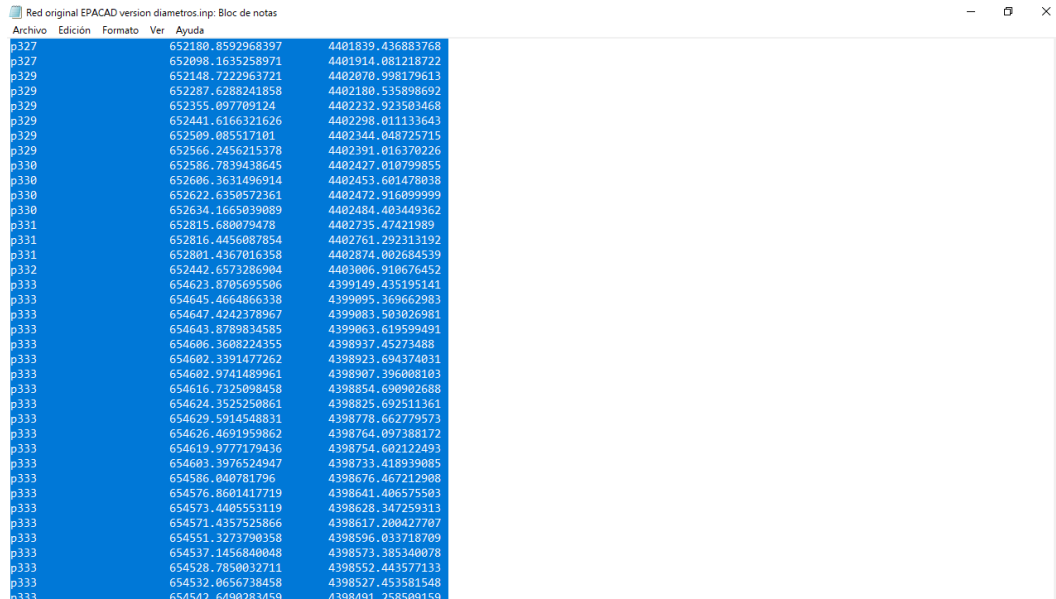


Ilustración 141. Selección del archivo INP en el bloc de notas

Se pegan en Excel.

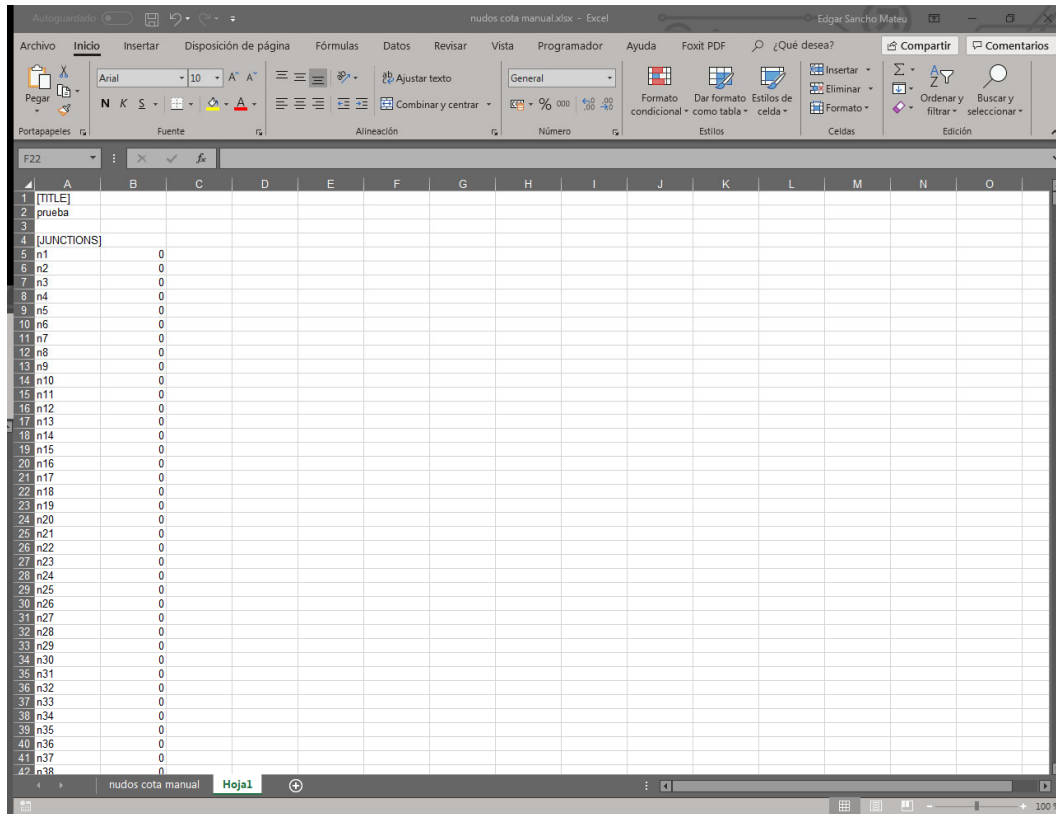


Ilustración 142. Archivo INP en Excel

Se copian los valores de las cotas donde se encuentra la cota 0 en todos los nudos.

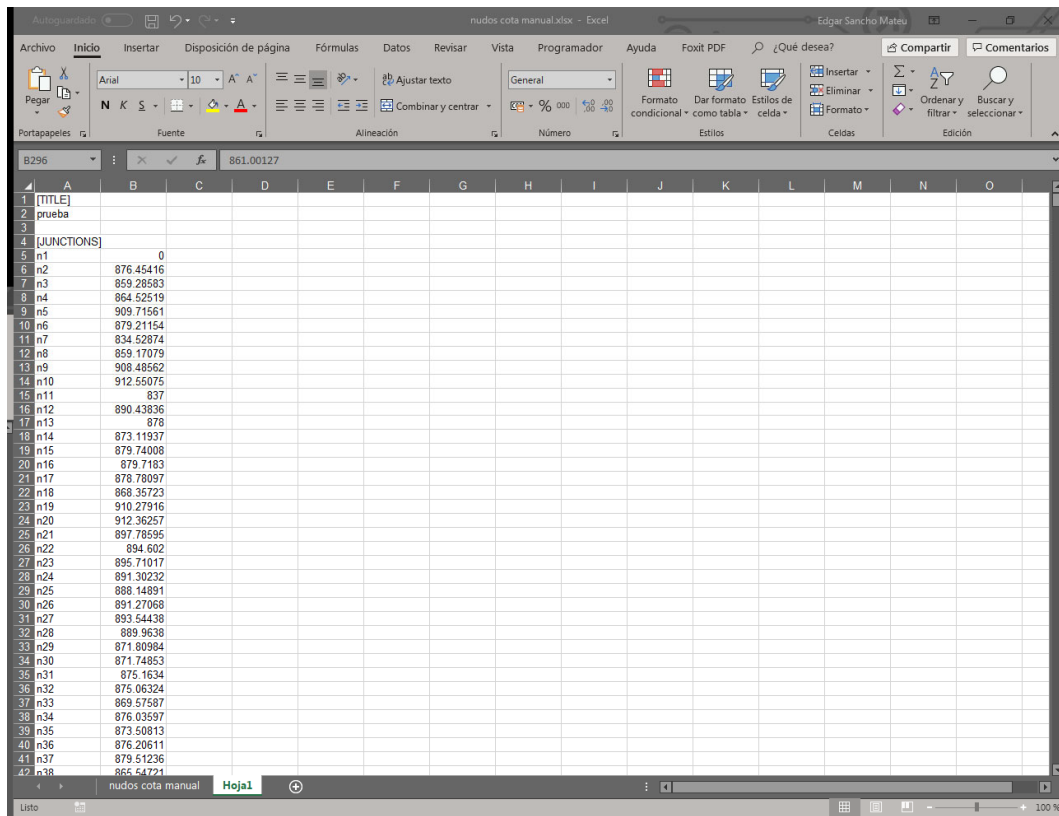


Ilustración 143. Inserción de las cotas obtenidas en QGIS

No se debe copiar la columna seleccionando toda la columna B ya que esto sobrescribirá otros valores del archivo INP.

Finalmente se selecciona toda la hoja de cálculo se copia y se pega en un bloc de notas con formato .inp (se escribe .inp al final).

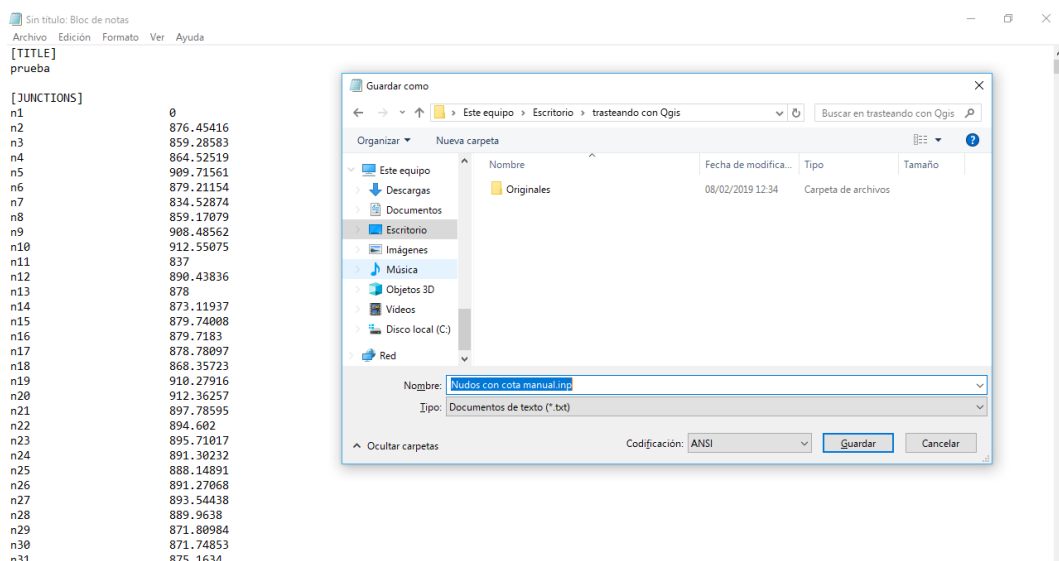


Ilustración 144. Generación del nuevo archivo INP

12.1.3.7 ASIGNACIÓN DE LOS DIÁMETROS

Se debe partir del archivo generado por EPACAD. Para ello se genera un archivo DXF de la siguiente forma. **Archivo\Exportar\Eschema.**

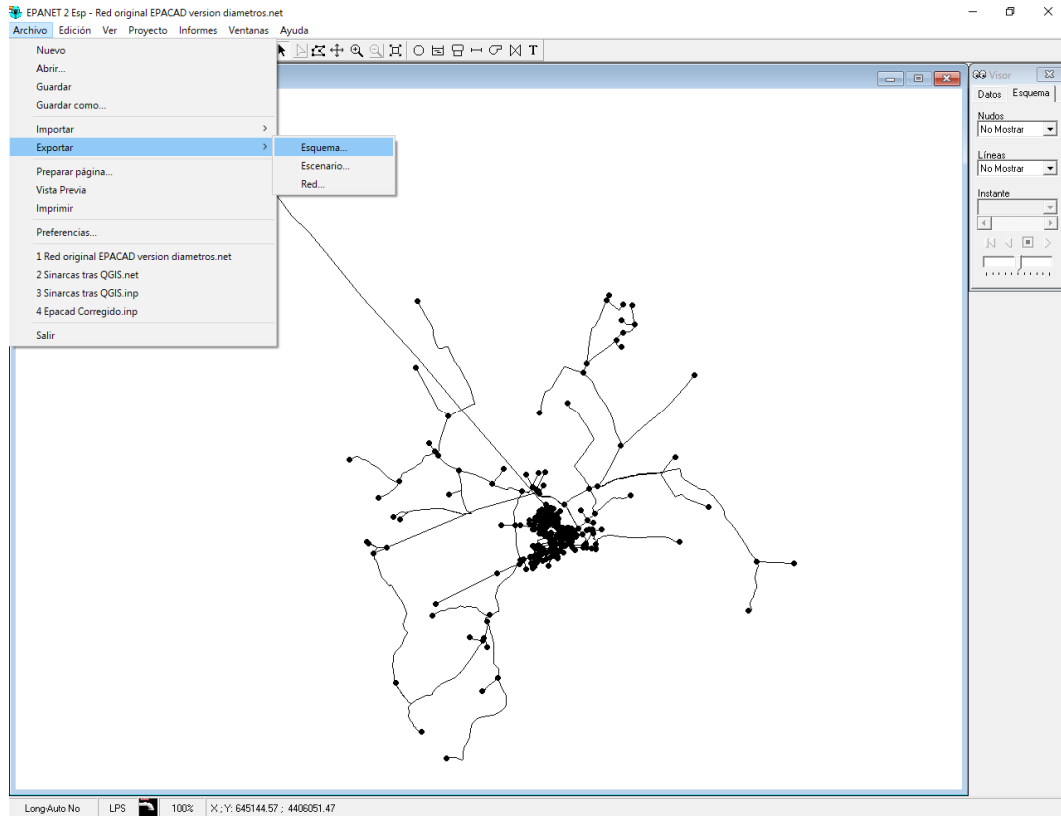


Ilustración 145. Acceso al menú de exportar planos en formato DXF

Aparecerá una ventana en la que se selecciona **Fichero Intercambio Dibujos (.DXF)** y cualquier forma de representar los nudos.

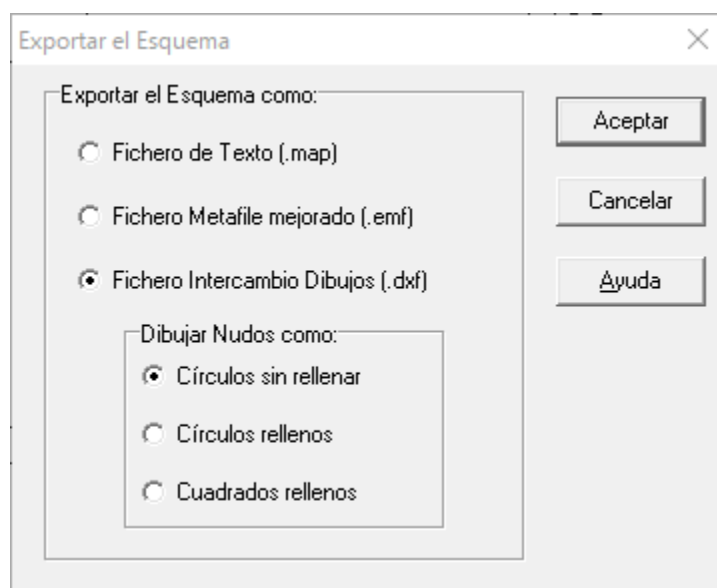


Ilustración 146. Menú de exportar planos en formato DXF

El archivo DXF tiene representados los nudos y las tuberías, Como en esta parte de la generación del modelo solo tienen interés las tuberías se **seleccionan los nudos tal y como se seleccionaron las curvas de nivel del apartado 12.1.3.3 y se suprimen**, Se recomienda establecer el grosor global como 0 ya que el grosor con el que EPANET exporta el archivo puede ocultar alguna tubería, Además de establecer el color por capa para facilitar la identificación de las tuberías que aún no se les ha asignado el diámetro.

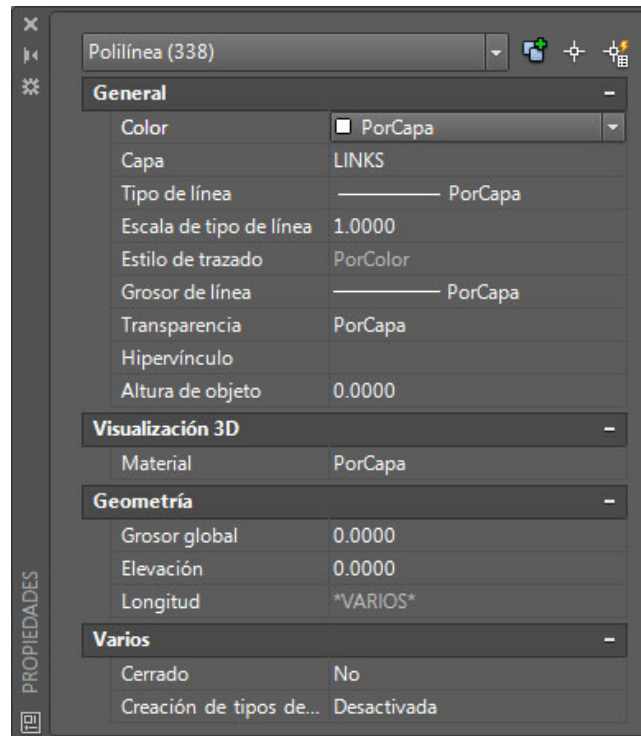


Ilustración 147. Propiedades de las polilíneas recomendado

A continuación, se **generan tantas capas como diámetros interiores tenga la red, Los nombres de las capas deben el mismo número de caracteres** y se asigna cada tubería a la capa que le corresponde.

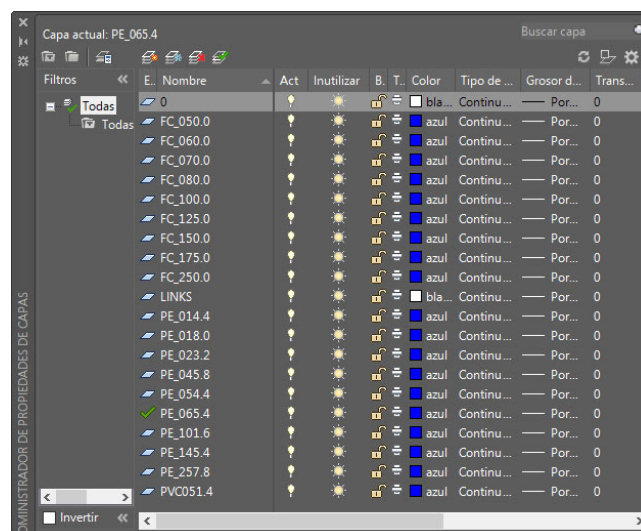


Ilustración 148. Generación de las diferentes capas en función del diámetro interior de las tuberías

Una vez se han establecido todos los diámetros de las tuberías se **carga el archivo DXF a QGIS de la misma forma que se han cargado las curvas de nivel en el apartado 12.1.3.3.**

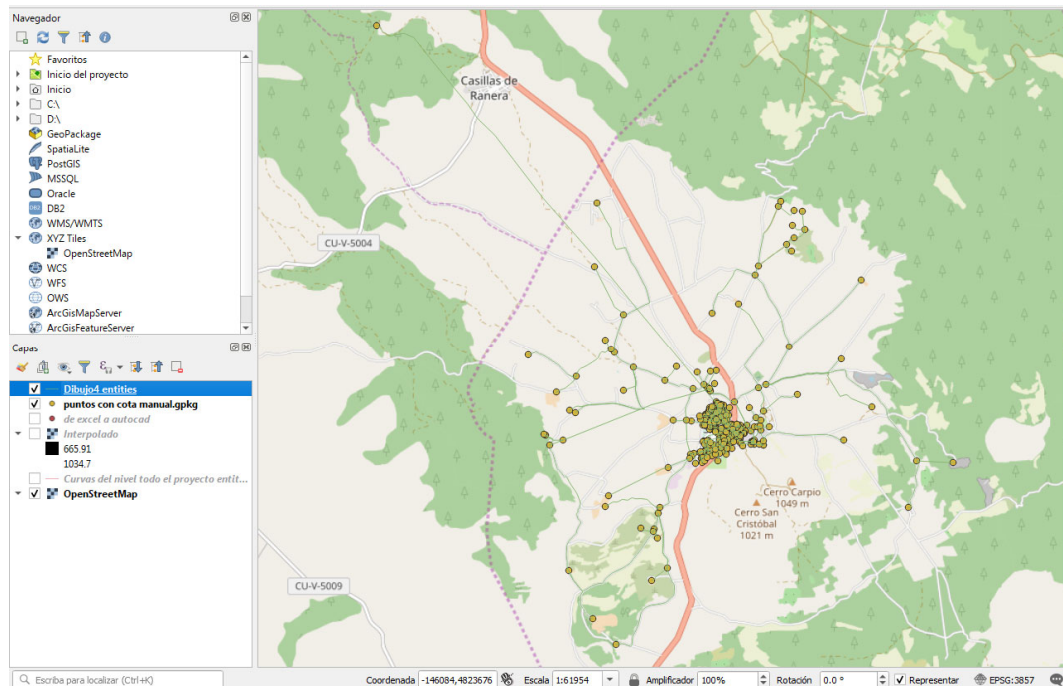


Ilustración 149. Tuberías insertadas en QGIS

Con las tuberías introducidas en QGIS se abre la tabla de atributos como en el apartado 12.1.3.5. En la tabla de atributos se pulsa sobre el icono de la **calculadora de campos representada por un ábaco.**

Layer	PaperSpace	SubClasses	Linetype	EntityHandle	Text
1	PE_054.4	AcDbEntity;Ac...		4FA	
2	PE_054.4	AcDbEntity;Ac...		4FB	
3	PE_054.4	AcDbEntity;Ac...		4F8	
4	PE_054.4	AcDbEntity;Ac...		4F9	
5	FC_100.0	AcDbEntity;Ac...		4F6	
6	PE_054.4	AcDbEntity;Ac...		4F7	
7	PVC051.4	AcDbEntity;Ac...		4F4	
8	FC_100.0	AcDbEntity;Ac...		4F5	
9	PE_045.8	AcDbEntity;Ac...		502	
10	PE_045.8	AcDbEntity;Ac...		503	
11	PE_023.2	AcDbEntity;Ac...		500	
12	PVC051.4	AcDbEntity;Ac...		501	
13	PE_023.2	AcDbEntity;Ac...		4FE	
14	PE_023.2	AcDbEntity;Ac...		4FF	
15	PE_054.4	AcDbEntity;Ac...		4FC	
16	PE_054.4	AcDbEntity;Ac...		4FD	

Ilustración 150. Tabla de atributos de las tuberías y ubicación de la calculadora de campos

Los campos que se desean introducir a la tabla son los **IDs**, que permite asignar a cada tubería su diámetro, y la longitud, que permite verificar que no se han traspasado los IDs. Al partir del archivo generado por EPACAD el orden de creación de cada elemento es el mismo.

Para generar la columna de los IDs se **le asigna un nombre**, se indica que es un **numero entero** y se escribe **\$id** en la ventana Expresión.

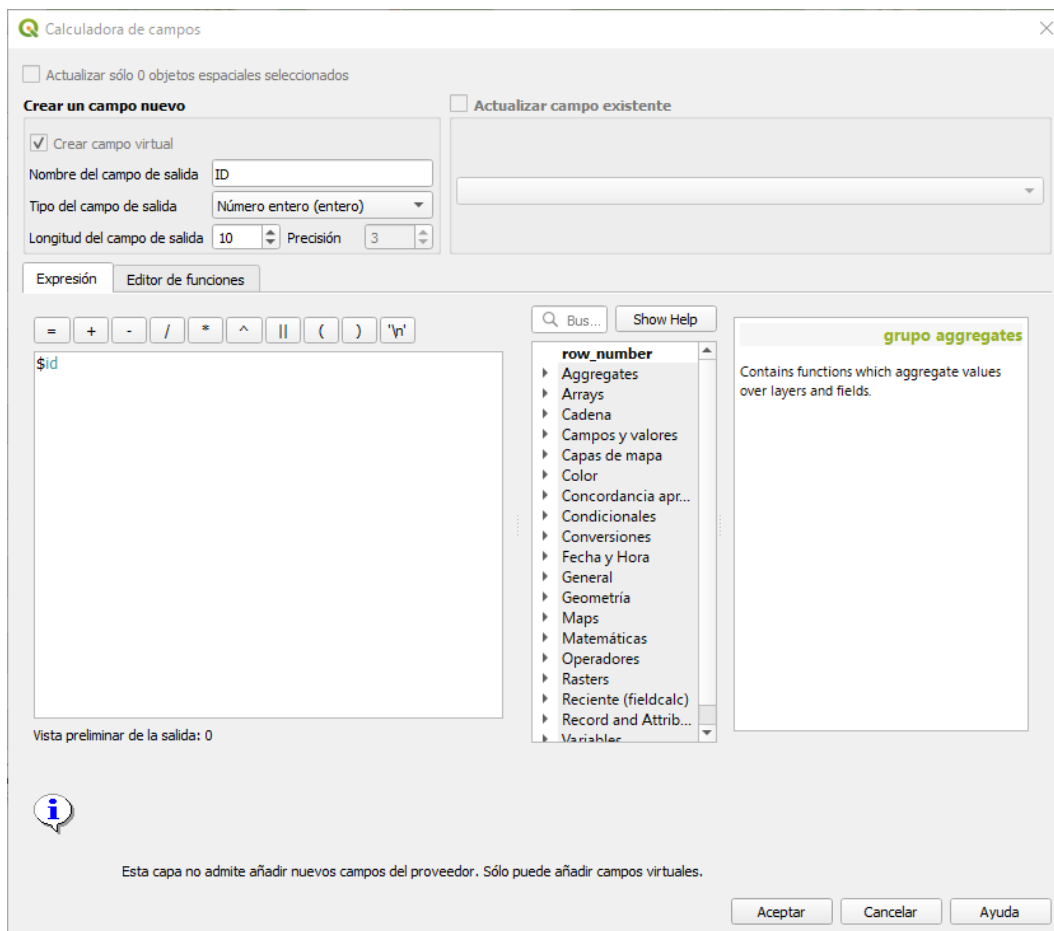


Ilustración 151. Configuración de la Calculadora de campos para obtener el ID de las tuberías

Al pulsar aceptar se cerrará la ventana mostrando la tabla de atributos con la nueva columna. Se procede de la misma manera para generar la columna de la **longitud**. Únicamente varía en que el tipo del campo de salida pasa a ser **un número real** y la expresión es **\$length**.

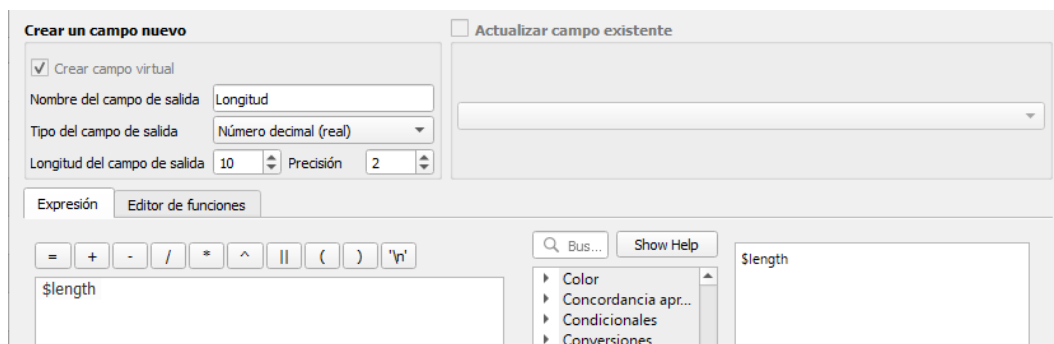


Ilustración 152. Configuración de la Calculadora de campos para obtener el ID de las tuberías

A continuación, se ordenan las tuberías por el identificador. Simplemente se pulsa sobre la celda ID hasta que queden ordenadas de forma creciente.

	Layer	PaperSpace	SubClasses	Linetype	EntityHandle	Text	ID	Longitud
1	FC_175.0		AcDbEntity.Ac...		637		0	7863
2	FC_250.0		AcDbEntity.Ac...		63A		1	27
3	FC_100.0		AcDbEntity.Ac...		63D		2	281
4	FC_100.0		AcDbEntity.Ac...		640		3	402
5	FC_100.0		AcDbEntity.Ac...		641		4	426
6	FC_100.0		AcDbEntity.Ac...		642		5	37
7	FC_100.0		AcDbEntity.Ac...		643		6	8
8	FC_250.0		AcDbEntity.Ac...		644		7	286
9	FC_250.0		AcDbEntity.Ac...		647		8	2369
10	FC_150.0		AcDbEntity.Ac...		64A		9	196
11	FC_250.0		AcDbEntity.Ac...		64D		10	211

Ilustración 153. Tabla de atributos de las tuberías ordenadas por IDs

12.1.3.8 GENERACIÓN DEL ARCHIVO INP, PARTE TUBERÍAS

Con la tabla de atributos ordenada se genera una **hoja de cálculo de la misma manera que en el apartado 12.1.3.6**. Esa hoja de cálculo se añade a la que se había generado anteriormente y se le añaden dos columnas. Una con el valor de la **longitud en el archivo INP** y otra que realice una primera **verificación**.

	Layer	PaperSpace	SubClasses	Linetype	EntityHandle	Text	id	longitud	Longitud INP
1	FC_175.0	PaperSpace	AcDbEntity.AcDbPolyline	3E4			0	7863	7862 KO
2	FC_250.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3E5			1	27	27.01 ok
3	FC_100.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3E6			2	281	280.9 ok
4	FC_100.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3E7			3	401	401.5 ok
5	FC_100.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3E8			4	426	425.7 ok
6	FC_100.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3E9			5	37	37.09 ok
7	FC_100.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3EA			6	8	7.958 ok
8	FC_250.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3EB			7	286	286.4 ok
9	FC_250.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3EC			8	2369	2368 KO
10	FC_150.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3ED			9	196	195.7 ok
11	FC_250.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3EE			10	211	210.5 ok
12	FC_100.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3EF			11	196	195.6 ok
13	FC_100.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3F0			12	17	17.35 ok
14	FC_150.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3F1			13	707	706.6 ok
15	FC_060.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3F2			14	91	90.87 ok
16	FC_080.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3F3			15	2	2.079 ok
17	FC_080.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3F4			16	73	72.72 ok
18	FC_080.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3F5			17	178	177.8 ok
19	FC_080.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3F6			18	106	106 ok
20	FC_080.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3F7			19	150	150 ok
21	FC_150.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3F8			20	135	135.4 ok
22	FC_150.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3F9			21	87	86.47 ok
23	FC_100.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3FA			22	178	177.7 ok
24	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3FB			23	41	41.03 ok
25	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3FC			24	44	43.7 ok
26	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3FD			25	2	2.348 ok
27	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3FE			26	3	2.748 ok
28	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	3FF			27	17	17.04 ok
29	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	400			28	24	23.8 ok
30	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	401			29	34	34.5 ok
31	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	402			30	37	36.21 ok
32	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	403			31	38	38.43 ok
33	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	404			32	72	71.92 ok
34	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	405			33	84	83.58 ok
35	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	406			34	187	187 ok
36	FC_060.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	407			35	10	10.13 ok
37	FC_060.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	408			36	14	13.91 ok
38	FC_060.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	409			37	15	14.55 ok
39	FC_060.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	40A			38	15	15.43 ok
40	FC_060.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	40B			39	19	19.06 ok
41	FC_050.0		AcDbEntity.AcDbPolyline	40C			40	75	74.97 ok

Ilustración 154. Comprobación de la correspondencia de las tuberías en ambos programas

Tras añadir estas dos columnas se comprueba que el orden de aparición es el mismo en la hoja de extraída de QGIS y en el archivo INP. No hace falta que los valores sean iguales, Simplemente tener el mismo orden de magnitud.

Si no coincide es que se ha modificado la geometría del archivo DXF mientras se asignaban las tuberías. De ahí la recomendación de trabajar directamente sobre el archivo generado de EPACAD. En ese caso se debe repetir el proceso salvo los apartados 12.1.3.1, 12.1.3.3 y 12.1.3.4.

Si coincide en la hoja donde se encuentra el archivo INP se introduce la formula **=EXTRAE(nombre de la capa del archivo DXF; número de caracteres que identifican el material+1;número de caracteres del nombre de la capa- número de caracteres que identifican el material).**

Si se ha usado la misma nomenclatura que en este manual (MATXXX.X) la fórmula es =EXTRAE(diametros!A2;4;5) donde diametros!A2 es la celda que indica la capa en la que se encuentra la tubería.

ID	Línea	Nudo1	Nudo2	Longitud	Diámetro	Rugosidad	PérdMen	Estado
347	p1	n1	n2	7862	175.0	0.1	0	Open
349	p2	n3	n4	27.01	250.0	0.1	0	Open
350	p3	n5	n6	280.9	100.0	0.1	0	Open
351	p4	n6	n7	401.5	100.0	0.1	0	Open
352	p5	n7	n8	425.7	100.0	0.1	0	Open
353	p6	n8	n9	37.09	100.0	0.1	0	Open
354	p7	n9	n10	7.958	100.0	0.1	0	Open
355	p8	n3	n11	286.4	250.0	0.1	0	Open
356	p9	n11	n12	2368	250.0	0.1	0	Open
357	p10	n13	n14	195.7	150.0	0.1	0	Open
358	p11	n15	n11	210.5	250.0	0.1	0	Open
359	p12	n16	n13	195.6	100.0	0.1	0	Open
360	p13	n13	n17	17.35	100.0	0.1	0	Open
361	p14	n2	n16	706.6	150.0	0.1	0	Open
362	p15	n18	n19	90.87	060.0	0.1	0	Open
363	p16	n20	n21	2.079	080.0	0.1	0	Open
364	p17	n21	n6	72.72	080.0	0.1	0	Open
365	p18	n6	n22	177.8	080.0	0.1	0	Open
366	p19	n22	n23	106	080.0	0.1	0	Open
367	p20	n24	n25	150	080.0	0.1	0	Open
368	p21	n26	n27	135.4	150.0	0.1	0	Open
369	p22	n28	n29	86.47	150.0	0.1	0	Open
370	p23	n30	n31	177.7	100.0	0.1	0	Open
371	p24	n32	n33	41.03	050.0	0.1	0	Open
372	p25	n34	n35	43.7	050.0	0.1	0	Open
373	p26	n36	n37	2.348	050.0	0.1	0	Open
374	p27	n38	n39	2.748	050.0	0.1	0	Open
375	p28	n36	n40	17.04	050.0	0.1	0	Open
376	p29	n41	n38	23.8	050.0	0.1	0	Open
377	p30	n42	n36	34.5	050.0	0.1	0	Open
378	p31	n41	n42	36.21	050.0	0.1	0	Open
379	p32	n43	n42	38.43	050.0	0.1	0	Open
380	p33	n41	n44	71.92	050.0	0.1	0	Open
381	p34	n45	n38	83.58	050.0	0.1	0	Open
382	p35	n45	n46	187	050.0	0.1	0	Open
383	p36	n47	n48	10.13	060.0	0.1	0	Open
384	p37	n49	n50	13.91	060.0	0.1	0	Open
385	p38	n51	n52	14.55	060.0	0.1	0	Open
386	p39	n33	n53	15.43	060.0	0.1	0	Open
387	p40	n54	n55	19.06	060.0	0.1	0	Open
388	n44	n55	n56	24.92	060.0	0.1	0	Open

Ilustración 155. Asignación de los diámetros al documento INP

Se crea un archivo INP con los diámetros actualizados de la misma forma que en apartado 12.1.3.6 y ya se puede importar el archivo INP a EPANET o trabajar con el Toolkit de EPANET.

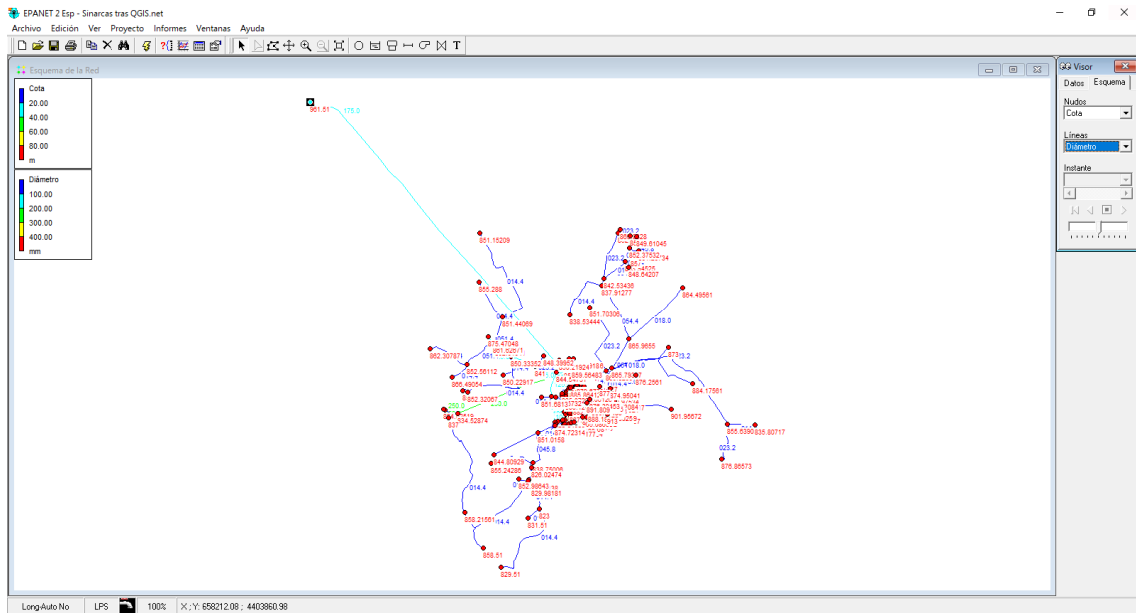


Ilustración 156. Modelo matemático en EPANET generado con QGIS

12.2 ANEXO 2. CÓDIGOS DE TOOLKIT DE EPANET

12.2.1 ASIGNACIÓN DE DEMANDAS BASE

Sub DemBDomest()

Dim num_nodos, num_tuberias, Factdem() As Variant

Dim nudo, tuberia, poblacion, nudi(), nudf(), TipoNudo(), TubDom(), i, tipoGC(), NFdem, horasdia, hora, curvamod As Integer

Dim dot, dotnud(), longitud(), demmet, LongDom, DemTot, consGC(), consGran(), k, consGCD, vectunit(), sincontador() As Single

'Este programa obtiene el tipo de consumidor de cada nudo y asigna la demada base de los consumidores domésticos

'los grandes consumidores los lee directamente de la hoja de cálculo "Grandes consumidores"

'formato de epanet: demanda base =1 consumo doméstico;=2 granja;=3 industria; >200 grandes consumidores

'Iniciación de variables

dot = 136 'https://www.ine.es/prensa/essa_2016.pdf

poblacion = 900 '900 en invierno 1600 en verano

DemTot = dot * poblacion / 24 / 3600

k = Worksheets("Grandes consumidores").Cells(1, 14) * -1 'negativo en invierno y positivo en verano

NFdem = Worksheets("FactDem").Cells(3, 2)

'apertura del toolkit'

F1 = "C:\Users\esmsa\Dropbox\ETSII UPV\Beca Sinarcas\redes\" 'ruta'

F2 = "Sinarcas grandes consumidores localizados y sin contador" 'nombre del archivo inp, pero sin el inp'

F3 = F1 & F2 & ".inp"

F4 = F1 & F2 & ".rpt"

Status = ENopen(F3, F4, "")

horasdia = 24

If Status <> 0 Then

Dim Mensaje, Estilo, Título, Respuesta

Mensaje = "No se puede leer el INP" 'Define el mensaje

Estilo = vbOKOnly + vbCritical + vbDefaultButton2 ' Define el estilo de la ventana

Título = "ADVERTENCIA" ' Define el título de la ventana

Respuesta = MsgBox(Mensaje, Estilo, Título)

GoTo final 'Esta sentencia te lleva al final del código para evitar problemas de cálculo y permitir solucionar el error antes de continuar

End If

'Iniciación de variables que dependen del archivo'

ENgetcount EN_LINKCOUNT, num_tuberias

ENgetcount EN_NODECOUNT, num_nudos

'dimensionado de los vectores

ReDim longitud(1 To num_tuberias)

ReDim nudi(1 To num_tuberias)

ReDim nudf(1 To num_tuberias)

ReDim TipoNudo(1 To num_nudos)

ReDim dotnud(1 To num_nudos)

ReDim TubDom(1 To num_tuberias)

ReDim consGC(1 To num_nudos)

ReDim tipoGC(1 To num_nudos)

ReDim consGran(1 To num_nudos)

ReDim Factdem(1 To NFdem, 1 To horasdia)

ReDim sincontador(1 To num_nudos)

'Obtención de datos

For nudo = 1 To num_nudos

 ENgetnodevalue nudo, EN_BASEDEMAND, TipoNudo(nudo)

```

If TipoNudo(nudo) >= 200 Then
    i = TipoNudo(nudo) - 200
    TipoNudo(nudo) = 5
    If i < 28 Then 'modificar este valor siempre que varíe la base de datos (el gran
consumidor 228 no es una granja)
        tipoGC(nudo) = 2
    Else
        tipoGC(nudo) = 1
    End If
    consGC(nudo) = Worksheets("Grandes consumidores").Cells(1 + i, 11).Value * (1 + k)
    ENsetnodevalue nudo, EN_BASEDEMAND, consGC(nudo)
End If
If TipoNudo(nudo) < 200 And TipoNudo(nudo) >= 100 Then
    i = TipoNudo(nudo) - 100
    TipoNudo(nudo) = 4
    If i < 27 Then 'modificar este valor siempre que varíe la base de datos (el gran
consumidor 228 no es una granja)
        tipoGC(nudo) = 2 'depósitos para agricultores y abrevaderos
    Else
        tipoGC(nudo) = 4 'jardines
    End If
    If i = 1 Then
        tipoGC(nudo) = 6 'deportivas
    End If

    sincontador(nudo) = Worksheets("Consumos sin contador").Cells(1 + i, 6).Value
    ENsetnodevalue nudo, EN_BASEDEMAND, sincontador(nudo)
End If

```

Next

For tubería = 1 To num_tuberías

ENgetlinkvalue tubería, EN_LENGTH, longitud(tubería)

ENgetlinknodes tubería, nudi(tubería), nudf(tubería)

Next

' Definición tuberías suministro doméstico

For tubería = 1 To num_tuberías

If TipoNudo(nudi(tubería)) = 1 And TipoNudo(nudf(tubería)) = 1 Then

TubDom(tubería) = 1

'en este if se incluyen los nudos industriales como domésticos, válido si los caudales son parecidos

Elseif TipoNudo(nudi(tubería)) = 3 And TipoNudo(nudf(tubería)) = 3 Then

TubDom(tubería) = 1

Else: TubDom(tubería) = 0

End If

Next

'cálculo de la longitud de las tuberías domésticas

LongDom = 0

For tubería = 1 To num_tuberías

LongDom = LongDom + longitud(tubería) * TubDom(tubería)

Next

If LongDom = 0 Then

LongDom = 1

End If

demmet = DemTot / LongDom

'asignación demandas base domésticas y puntuales campo

For tubería = 1 To num_tuberías

```

dotnud(nudi(tuberia)) = dotnud(nudi(tuberia)) + longitud(tuberia) / 2 * demmet *
TubDom(tuberia)

dotnud(nudf(tuberia)) = dotnud(nudf(tuberia)) + longitud(tuberia) / 2 * demmet *
TubDom(tuberia)

Next
consGCD = 0
For nudo = 1 To num_nudos
    If TipoNudo(nudo) = 1 Or TipoNudo(nudo) = 3 Then
        ENsetnodevalue nudo, EN_BASEDEMAND, dotnud(nudo)
    End If
    If TipoNudo(nudo) = 2 Then
        consGran(nudo) = dot * 2.5 / 24 / 3600 'consumo de una vivienda de 3 personas
        ENsetnodevalue nudo, EN_BASEDEMAND, consGran(nudo)
    End If
    If tipoGC(nudo) = 1 Then
        dotnud(nudo) = consGC(nudo)
        TipoNudo(nudo) = 1
        consGCD = consGCD + consGC(nudo)
    End If
    If tipoGC(nudo) = 2 Then
        consGran(nudo) = consGC(nudo)
        TipoNudo(nudo) = 2
    End If
    If tipoGC(nudo) = 4 Then
        TipoNudo(nudo) = 4
    End If
    If tipoGC(nudo) = 6 Then
        TipoNudo(nudo) = 6
    End If
Next

```


'-----

'PREPARACIÓN DE LA HOJA DE CÁLCULO

'-----

Sheets("Volcado").Cells.Clear

Worksheets("Volcado").Cells(2, 1).Value = "Dotación por usuario y día (l/persona/día)"

Worksheets("Volcado").Cells(3, 1).Value = "Población (habitantes)"

Worksheets("Volcado").Cells(4, 1).Value = "Demanda al segundo promedio uso doméstico (l/s)"

Worksheets("Volcado").Cells(5, 1).Value = "Comprobación demandas (l/s)"

Worksheets("Volcado").Cells(6, 1).Value = "Volumen registrado doméstico bimensual"

Worksheets("Volcado").Cells(2, 2).Value = dot

Worksheets("Volcado").Cells(3, 2).Value = población

Worksheets("Volcado").Cells(4, 2).Value = DemTot + consGCD

Worksheets("Volcado").Cells(5, 2) = "=sum(E:E)"

Worksheets("Volcado").Cells(6, 2) = "=B4*3600*24*30*2/1000"

Worksheets("Volcado").Cells(8, 1).Value = "Demanda al segundo promedio campo (l/s)"

Worksheets("Volcado").Cells(8, 2) = "=sum(H:H)"

Worksheets("Volcado").Cells(9, 1).Value = "Volumen registrado campo bimensual"

Worksheets("Volcado").Cells(9, 2) = "=B8*3600*24*30*2/1000"

Worksheets("Volcado").Cells(11, 1).Value = "Demanda al segundo promedio campo (l/s)"

Worksheets("Volcado").Cells(11, 2) = "=sum(K:K)"

Worksheets("Volcado").Cells(12, 1).Value = "Volumen registrado campo bimensual"

Worksheets("Volcado").Cells(12, 2) = "=B11*3600*24*30*2/1000"

Worksheets("Volcado").Cells(14, 1).Value = "Volumen total registrado bimensual"

Worksheets("Volcado").Cells(14, 2).Value = "=B6+B9"

Worksheets("Volcado").Cells(2, 4).Value = "consumos domesticos"

Worksheets("Volcado").Cells(3, 4).Value = "nudo"

Worksheets("Volcado").Cells(3, 5).Value = "demanda base (l/s)"

Worksheets("Volcado").Cells(2, 7).Value = "consumos campo"

Worksheets("Volcado").Cells(3, 7).Value = "nudo"

Worksheets("Volcado").Cells(3, 8).Value = "demanda base (l/s)"

Worksheets("Volcado").Cells(2, 10).Value = "consumos grandes consumidores"

Worksheets("Volcado").Cells(3, 10).Value = "nudo"

Worksheets("Volcado").Cells(3, 11).Value = "demanda base (l/s)"

Worksheets("Volcado").Cells(3, 3) = "TipoNudo"

For nudo = 1 To num_nudos

 Worksheets("Volcado").Cells(nudo + 3, 3) = TipoNudo(nudo)

 Worksheets("Volcado").Cells(nudo + 3, 4) = "N" & nudo

 Worksheets("Volcado").Cells(nudo + 3, 5) = dotnud(nudo)

 Worksheets("Volcado").Cells(nudo + 3, 7) = "N" & nudo

 Worksheets("Volcado").Cells(nudo + 3, 8) = consGran(nudo)

 Worksheets("Volcado").Cells(nudo + 3, 10) = "N" & nudo

 Worksheets("Volcado").Cells(nudo + 3, 11) = consGC(nudo)

Next

For nudo = 1 To num_nudos

 If TipoNudo(nudo) = 1 Or TipoNudo(nudo) = 3 Then

 ENsetnodevalue nudo, EN_PATTERN, 1

 Elseif TipoNudo(nudo) = 2 Then

 ENsetnodevalue nudo, EN_PATTERN, 1

 Elseif TipoNudo(nudo) = 4 Then

 ENsetnodevalue nudo, EN_PATTERN, 4

 Elseif TipoNudo(nudo) = 6 Then

```
        ENsetnodevalue nudo, EN_PATTERN, 5
    End If
Next
ENsaveinfile (F1 & "todos los consumos asignados y fact dem.inp")
For curvamod = 1 To NFdem
    For hora = 1 To horasdia
        Worksheets("Volcado").Cells(1 + curvamod, 12 + hora) = Factdem(curvamod, hora)
    Next
Next
'-----
'Sentencia declarada en el aviso de control
final:
ENclose
End Sub
```

12.2.2 INTRODUCCIÓN DEL COEFICIENTE EMISOR Y LECTURA DE DATOS

Sub fugyCM()

Dim num_nodos, num_embalses, num_tuberias As Variant

Dim nudo, num_horas, hora, nudi, nudf, tuberia As Integer

Dim num_sec As Long

Dim demanda(), k, demSF(), presion(), longitud(), longnud(), pmed(), longtot As Single

'-----

'Iniciación de variables

'-----

num_horas = 24

num_sec = num_horas * 3600

ENsettimeparam EN_DURATION, num_sec

k = 0.00298 'coeficiente emisor

'apertura del toolkit'

F1 = "C:\Users\esmsa\Dropbox\ETSII UPV\Beca Sinarcas\redes\" 'ruta'

F2 = "todos los consumos asignados y fact dem" 'nombre del archivo inp pero sin el inp'

F3 = F1 & F2 & ".inp"

F4 = F1 & F2 & ".rpt"

Status = ENopen(F3, F4, "")

If Status <> 0 Then

Dim Mensaje, Estilo, Título, Respuesta

Mensaje = "No se puede leer el INP" 'Define el mensaje

Estilo = vbOKOnly + vbCritical + vbDefaultButton2 ' Define el estilo de la ventana

Título = "ADVERTENCIA" ' Define el título de la ventana

Respuesta = MsgBox(Mensaje, Estilo, Título)

GoTo final 'Esta sentencia te lleva al final del código para evitar problemas de cálculo y permitir solucionar el error antes de continuar

End If

'Iniciacion de variables que dependen del archivo'

ENgetcount EN_NODECOUNT, num_nudos

ENgetcount EN_TANKCOUNT, num_embalses

num_nudos = num_nudos - num_embalses

ENgetcount EN_LINKCOUNT, num_tuberias

'dimensionado de los vectores

ReDim demanda(1 To num_nudos, 1 To num_horas)

ReDim demSF(1 To num_nudos, 1 To num_horas)

ReDim presion(1 To num_nudos + num_embalses, 1 To num_horas)

ReDim longitud(1 To num_tuberias)

'ReDim numtubnud(1 To num_nudos)

'ReDim nudi(1 To num_tuberias)

'ReDim nudf(1 To num_tuberias)

ReDim longnud(1 To num_nudos + num_embalses)

ReDim pmed(1 To num_horas)

For tuberia = 1 To num_tuberias

 ENgetlinkvalue tuberia, EN_LENGTH, longitud(tuberia)

 ENgetlinknodes tuberia, nudi, nudf

 longnud(nudi) = longnud(nudi) + longitud(tuberia) / 2

 longnud(nudf) = longnud(nudf) + longitud(tuberia) / 2

 longtot = longtot + longitud(tuberia)

Next

'caso sin fugas

ENopenH

ENinitH 0

```

For hora = 1 To num_horas
    ENrunH T
    For nudo = 1 To num_nudos
        ENgetnodevalue nudo, EN_DEMAND, demSF(nudo, hora)
    Next
    ENnextH 3600
Next
ENcloseH
'Obtención de datos
For nudo = 1 To num_nudos
    ENsetnodevalue nudo, EN_EMITTER, k
Next
ENOpenH
ENinith 0
For hora = 1 To num_horas
    ENrunH T
    For nudo = 1 To num_nudos
        ENgetnodevalue nudo, EN_DEMAND, demanda(nudo, hora)
        ENgetnodevalue nudo, EN_PRESSURE, presion(nudo, hora)
    Next
    For nudo = 1 + num_nudos To num_nudos + num_embalses
        ENgetnodevalue nudo, EN_PRESSURE, presion(nudo, hora)
    Next
    For nudo = 1 To num_nudos + num_embalses
        pmed(hora) = pmed(hora) + presion(nudo, hora) * longnud(nudo)
    Next
    pmed(hora) = pmed(hora) / longtot
    ENnextH 3600
Next
ENcloseH

```

```

'-----
'Preparación hoja resultados sin fufas
'-----

Sheets("simul dem SF").Cells.ClearContents
Worksheets("simul dem SF").Cells(2, 1) = "Caudales demandados SF (l/s)"
Worksheets("simul dem SF").Cells(3, 1) = "hora"
For nudo = 1 To num_nudos
    Worksheets("simul dem SF").Cells(nudo + 3, 1) = "N" & nudo
Next
For hora = 1 To num_horas
    Worksheets("simul dem SF").Cells(3, 1 + hora) = 1 / 24 * hora
    For nudo = 1 To num_nudos
        Worksheets("simul dem SF").Cells(nudo + 3, 1 + hora) = demSF(nudo, hora)
    Next
Next
'-----
'Preparación hoja resultados
'-----

Sheets("simul dem nud").Cells.ClearContents
Worksheets("simul dem nud").Cells(2, 1) = "Caudales demandados (l/s)"
Worksheets("simul dem nud").Cells(3, 1) = "hora"
For nudo = 1 To num_nudos
    Worksheets("simul dem nud").Cells(nudo + 3, 1) = "N" & nudo
Next
For hora = 1 To num_horas
    Worksheets("simul dem nud").Cells(3, 1 + hora) = 1 / 24 * hora
    For nudo = 1 To num_nudos
        Worksheets("simul dem nud").Cells(nudo + 3, 1 + hora) = demanda(nudo, hora)
    Next
Next

```

```
'-----  
'Preparación hoja resultados pmed  
'-----  
Sheets("Presion").Cells.ClearContents  
Worksheets("Presion").Cells(2, 1) = "Presión media de la red"  
Worksheets("Presion").Cells(3, 1) = "hora"  
For hora = 1 To num_horas  
    Worksheets("Presion").Cells(3, 1 + hora) = 1 / 24 * hora  
    Worksheets("Presion").Cells(4, 1 + hora) = pmed(hora)  
Next  
ENsaveinpfiler (F1 & "fugas.inp")  
'-----  
'Sentencia declarada en el aviso de control  
final:  
ENclose  
  
End Sub
```


12.2.3 DIAGNÓSTICO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA

Sub DiagAuditEner()

Dim nudo, gamma, num_horas, tipo_embalse(), P0, deltat, aux, cambiohora, num_bombas, nudi, nudf, embalse(), deposito(), bomba(), emb, dep, bom, tuberia As Integer

Dim cota(), cotamax, Dem(), DemCons(), DemF(), Ptop(), DB(), ZMaxdep, Euo, Eti, Eei, Esi, El, Efcf, Epdcf, Efsf, Edem, Encf, Epicf, Eprcf, Pee, H, Q, p, Hi, Hf, Eccf, Ecsf, pdep(), pi, Adep(), expem, cofem(), factdem, curvamod, auxs, Qs, Qc, Ecur, Ecut As Single

Dim num_nudos, num_tuberias, num_embalses, num_depositos, preT As Variant

Dim Ql, pgamma As Double

'iniciacion de variables

gamma = 9810

pi = 3.1415926535

num_horas = 24

cotamax = 0

ZMaxdep = 0

P0 = 20

Euo = 0

Eti = 0

Eei = 0

'apertura del toolkit'

F1 = "C:\Users\esmsa\Dropbox\ETSII UPV\Beca Sinarcas\redes\" 'ruta'

F2 = "enero con bombas a cota 0 dep sobredim" 'nombre del archivo inp pero sin el inp'

F3 = F1 & F2 & ".inp"

F4 = F1 & F2 & ".rpt"

Status = ENopen(F3, F4, "")

If Status <> 0 Then

Dim Mensaje, Estilo, Título, Respuesta

Mensaje = "No se puede leer el INP" 'Define el mensaje

Estilo = vbOKOnly + vbCritical + vbDefaultButton2 ' Define el estilo de la ventana

Título = "ADVERTENCIA" ' Define el título de la ventana

Respuesta = MsgBox(Mensaje, Estilo, Título)

GoTo final 'Esta sentencia te lleva al final del código para evitar problemas de cálculo y permitir solucionar el error antes de continuar

End If

'iniciacion de variables dependientes del INP

ENgetcount EN_NODECOUNT, num_nudos

ENgetcount EN_TANKCOUNT, num_embalses

ENgetcount EN_LINKCOUNT, num_tuberias

num_nudos = num_nudos - num_embalses

'dimesionado de matrices y vectores

ReDim cota(1 To num_nudos + num_embalses)

ReDim tipo_embalse(1 To num_embalses)

ReDim Ptop(1 To num_nudos)

ReDim DB(1 To num_nudos)

ReDim DemCons(1 To num_nudos, 1 To num_horas)

ReDim DemF(1 To num_nudos, 1 To num_horas)

ReDim Dem(1 To num_nudos, 1 To num_horas)

ReDim cofem(1 To num_nudos)

For nudo = 1 To num_nudos

ENgetnodevalue nudo, EN_ELEVATION, cota(nudo)

ENgetnodevalue nudo, EN_BASEDEMAND, DB(nudo)

If DB(nudo) = 0 Then

aux = 0

Else

aux = 1

End If

If cota(nudo) * aux > cotamax Then

```

        cotamax = cota(nudo)
    End If
Next
For nudo = 1 To num_embalses
    ENgetnodevalue nudo + num_nudos, EN_ELEVATION, cota(nudo + num_nudos)
    ENgetnodetype nudo + num_nudos, tipo_embalse(nudo)
    If tipo_embalse(nudo) = 2 Then 'Se está asumiendo que se alimenta del depósito con mayor
cota
        If cota(nudo + num_nudos) > ZMaxdep Then
            ZMaxdep = cota(nudo + num_nudos)
        End If
        num_depositos = num_depositos + 1
    End If
Next
ReDim deposito(1 To num_depositos)
ReDim pdep(1 To num_depositos)
ReDim Adep(1 To num_depositos)
ReDim embalse(1 To num_embalses - num_depositos)

For nudo = 1 To num_embalses
    If tipo_embalse(nudo) = 1 Then
        emb = emb + 1
        embalse(emb) = nudo + num_nudos
    End If
    If tipo_embalse(nudo) = 2 Then
        dep = dep + 1
        deposito(dep) = nudo + num_nudos
        ENgetnodevalue deposito(dep), EN_TANKLEVEL, pdep(dep)
        ENgetnodevalue deposito(dep), EN_INITVOLUME, Adep(dep)
        Adep(dep) = Adep(dep) / pdep(dep)
        Worksheets("depositos").Cells(3 + dep, 4) = Adep(dep)
    End If
Next

```

```

        Worksheets("depositos").Cells(3 + dep, 5) = pdep(dep)
        Adep(dep) = pi * Adep(dep) * Adep(dep) / 4
    End If
Next
num_embalses = num_embalses - num_depositos

For tuberia = 1 To num_tuberias
    ENgetlinktype tuberia, aux
    If aux = 2 Then
        num_bombas = num_bombas + 1
    End If
Next
ReDim bomba(1 To num_bombas)
For tuberia = 1 To num_tuberias
    ENgetlinktype tuberia, aux
    If aux = 2 Then
        bom = bom + 1
        bomba(bom) = tuberia
    End If
Next

For nudo = 1 To num_nudos
    Ptop(nudo) = cotamax - cota(nudo) ' topografica
Next
Pee = ZMaxdep - cotamax - P0 'exceso de energia

'simulación con fugas
hora = 1
ENopenH
ENinitH 0
Do While T < num_horas * 3600

```

ENrunH T

'aportes de energía

'energía natural

For emb = 1 To num_embalses

ENgetnodevalue embalse(emb), EN_HEAD, H

ENgetnodevalue embalse(emb), EN_DEMAND, Q

Encf = Encf + gamma * Q * H / 1000000 / 3600 * (T - preT) * -1

Qs = Qs + Q * (T - preT) / 1000 * -1

Next

'energía bombeo

For bom = 1 To num_bombas

ENgetlinknodes bomba(bom), nudi, nudf

ENgetnodevalue nudi, EN_HEAD, Hi

ENgetnodevalue nudf, EN_HEAD, Hf

ENgetlinkvalue bomba(bom), EN_FLOW, Q

Epicf = Epicf + gamma * Q * (Hf - Hi) / 1000000 / 3600 * (T - preT)

ENgetlinkvalue bomba(bom), EN_ENERGY, auxs

Eprcf = Eprcf + auxs * (T - preT) / 3600

Next

'energía consumida (Q cons+Q fug)

For nudo = 1 To num_nudos

ENgetnodevalue nudo, EN_DEMAND, Q

ENgetnodevalue nudo, EN_HEAD, H

ENgetnodevalue nudo, EN_PATTERN, curvamod

ENgetpatternvalue curvamod, hora, factdem

Qc = Qc + Q * (T - preT) / 1000

Ql = Q - DB(nudo) * factdem

Q = DB(nudo) * factdem

El = El + gamma * Ql * H / 1000000 / 3600 * (T - preT)

Eccf = Eccf + gamma * Q * H / 1000000 / 3600 * (T - preT)

Ecur = Ecur + gamma * Q * (cota(nudo) + P0) / 1000000 / 3600 * (T - preT)

```

        Ecut = Ecut + gamma * Q * (H - (cota(nudo) + P0)) / 1000000 / 3600 * (T - preT)
    Next
    'energía fricción'
    For tubería = 1 To num_tuberías
        ENgetlinktype tubería, aux
        If aux <> 2 Then
            ENgetlinknodes tubería, nudi, nudf
            ENgetnodevalue nudi, EN_HEAD, Hi
            ENgetnodevalue nudf, EN_HEAD, Hf
            ENgetlinkvalue tubería, EN_FLOW, Q
            H = Hi - Hf
            If H < 0 Then
                H = -H
            End If
            If Q < 0 Then
                Q = -Q
            End If
            Efcf = Efcf + gamma * Q * H / 1000000 / 3600 * (T - preT)
        End If
    Next
    'Energía depósitos'
    For dep = 1 To num_depósitos
        ENgetnodevalue deposito(dep), EN_PRESSURE, aux
        Epdcf = Epdcf + gamma / 2 * Adep(dep) * (auxs * auxs - pdep(dep) * pdep(dep)) / 1000
        / 3600
        pdep(dep) = auxs
    Next
    If cambiohora = 1 Then
        For nudo = 1 To num_nudos
            ENgetnodevalue nudo, EN_DEMAND, Dem(nudo, hora)
        Next
    End If

```

```

        cambiohora = 0
    End If
    deltat = hora * 3600 - T
    preT = T
    ENnextH deltat
    If T >= hora * 3600 Then
        hora = hora + 1
        cambiohora = 1
    End If
Loop

ENcloseH
For nudo = 1 To num_nudos
    ENsetnodevalue nudo, EN_EMITTER, 0
Next
hora = 1
T = 0
cambiohora = 1
ENopenH
ENinitH 0
preT = 0

Do While T < num_horas * 3600
    ENrunH T
    For tuberia = 1 To num_tuberias
        ENgetlinktype tuberia, aux
        If aux <> 2 Then
            ENgetlinknodes tuberia, nudi, nudf
            ENgetnodevalue nudi, EN_HEAD, Hi
            ENgetnodevalue nudf, EN_HEAD, Hf
            ENgetlinkvalue tuberia, EN_FLOW, Q
        End If
    End For

```

```

        H = Hi - Hf
        If H < 0 Then
            H = -H
        End If
        If Q < 0 Then
            Q = -Q
        End If
        Efsf = Efsf + gamma * Q * H / 1000000 / 3600 * (T - preT)
    End If
Next
If cambiohora = 1 Then
    For nudo = 1 To num_nudos
        ENgetnodevalue nudo, EN_DEMAND, DemCons(nudo, hora)
        DemF(nudo, hora) = Dem(nudo, hora) - DemCons(nudo, hora)
        Euo = Euo + (gamma * DemCons(nudo, hora) * (P0 + cota(nudo))) / 1000000
        Eti = Eti + gamma * DemCons(nudo, hora) * Ptop(nudo) / 1000000
        Eei = Eei + gamma * DemCons(nudo, hora) * Pee / 1000000
    Next
    cambiohora = 0
End If
deltat = hora * 3600 - T
preT = T
ENnextH deltat
If T >= hora * 3600 Then
    hora = hora + 1
    cambiohora = 1
End If
Loop
ENcloseH

Esi = Euo + Eti + Eei

```


'Volcado de resultados

Worksheets("General").Cells(2, 2) = "Diagnóstico energético"

Worksheets("General").Cells(4, 2) = "Euo"

Worksheets("General").Cells(5, 2) = "Eti"

Worksheets("General").Cells(6, 2) = "Eei"

Worksheets("General").Cells(7, 2) = "Esi"

Worksheets("General").Cells(4, 3) = Euo

Worksheets("General").Cells(5, 3) = Eti

Worksheets("General").Cells(6, 3) = Eei

Worksheets("General").Cells(7, 3) = Esi

Worksheets("General").Cells(13, 2) = "Auditoría energética"

Worksheets("General").Cells(14, 2) = "Caso con fugas"

Worksheets("General").Cells(15, 2) = "Energía natural"

Worksheets("General").Cells(15, 3) = Encf

Worksheets("General").Cells(16, 2) = "Energía bombeo ideal"

Worksheets("General").Cells(16, 3) = Epicf

Worksheets("General").Cells(17, 2) = "Energía bombeo real"

Worksheets("General").Cells(17, 3) = Eprcf

Worksheets("General").Cells(18, 2) = "Energía consumida"

Worksheets("General").Cells(18, 3) = Eccf

Worksheets("General").Cells(19, 2) = "Energía consumida requerida"

Worksheets("General").Cells(19, 3) = Ecur

Worksheets("General").Cells(20, 2) = "Energía consumida topográfica"

Worksheets("General").Cells(20, 3) = Ecut

Worksheets("General").Cells(21, 2) = "Energía fugas"

Worksheets("General").Cells(21, 3) = El

Worksheets("General").Cells(22, 2) = "Energía fricción"

Worksheets("General").Cells(22, 3) = Efcf

Worksheets("General").Cells(23, 2) = "Energía potencial depósitos"

Worksheets("General").Cells(23, 3) = Epdcf

Worksheets("General").Cells(25, 2) = "Caso sin fugas"

Worksheets("General").Cells(26, 2) = "Energía fricción"

Worksheets("General").Cells(26, 3) = Efsf

Worksheets("General").Cells(35, 2) = "Volumen suministrado (m3)"

Worksheets("General").Cells(35, 3) = Qs

Worksheets("General").Cells(36, 2) = "Volumen consumido (m3)"

Worksheets("General").Cells(36, 3) = Qc

'-----

'Sentencia declarada en el aviso de control

final:

ENclose

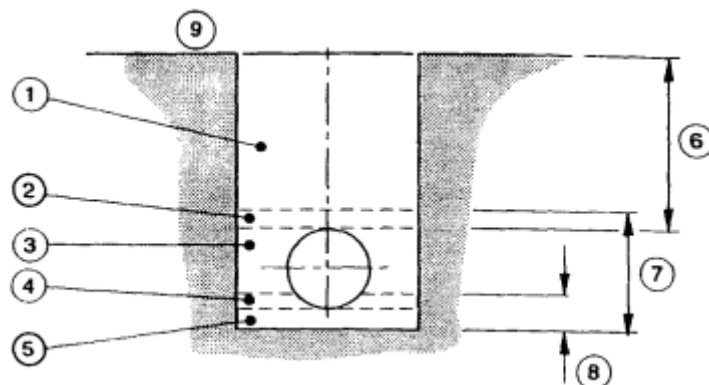
End Sub

12.3 PRESUPUESTOS

12.3.1 CONEXIÓN DIRECTA DEL POZO DE LA RELAMINA CON EL ANILLO PERIMETRAL

Como se ha comentado en el apartado 9.2.2, en la actualidad se está reemplazando la tubería que conecta el depósito de la Relamina con el depósito del Concejil. Una de las medidas de mejora que se proponen es conectar directamente la bomba del pozo de la Relamina con el anillo perimetral. Al ser la obra con más entidad del proyecto se va a presupuestar la instalación de este tramo.

La sección de la zanja corresponde con la sección de la figura 4 A de la Norma UNE-EN 805:2000.



Leyenda

1. Relleno principal que incluye la posible calzada.
2. Relleno inicial.
3. Relleno lateral.
4. Asiento.
5. Cama de apoyo.
6. Altura de relleno.
7. Recubrimiento
8. Apoyo (incluye cama de apoyo y asiento).
9. Superficie del suelo.

Ilustración 157. Sección de zanja (UNE-EN 805:2000)

El dimensionado de la zanja se realiza según las condiciones más restrictivas entre las instrucciones de montaje del fabricante Tuyper y la norma UNE-EN 1610:2016. Los criterios de diseño quedan establecidos con las siguientes características:

- Altura de relleno mínimo: 75 cm.
- Ancho mínimo de la zanja: diámetro exterior + 50 cm.
- Apoyo para tuberías mayores de 110 mm: 15 cm.

Con estas consideraciones del fabricante y las características de la tubería a instalar (diámetro nominal 250 mm) las dimensiones de la zanja son:

- Profundidad: 115 cm.
- Ancho: 75 cm.

Las zanjas se realizan paralelas a los caminos de la actualidad, por las cunetas. La longitud total de la zanja es de 2,47 km.

12.3.1.1 RESUMEN DE PRESUPUESTOS

Código	Descripción de los capítulos	Importe
1	EXCABACIÓN Y RELLENO DE ZANJAS	59.775,17
2	INSTALACIONES DE FONTANERÍA	164.749,00
3	TRANSPORTE DE TIERRAS	4.004,18
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		228.528,34
	13% Gastos Generales	29.708,68
	6% Beneficio industrial	13.711,70
TOTAL EJECUCIÓN POR CONTRATA		271.848,73
	21% IVA	57.109,23
TOTAL PRESUPUESTO C/IVA		329.057,96

Suma el presente presupuesto la cantidad de:

TRESCIENTOS VEINTINUEVE MIL CINCUENTA Y SIETE CON NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS

12.3.1.2 MEDICIÓN Y PRESUPUESTO

N.º orden	UD	DESIGNACION DE LA CLASE DE OBRA DE LAS PARTES EN QUE DEBE EJECUTARSE	uds	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
1 EXCABACIÓN Y RELLENO DE ZANJAS										
1.01 EXC. ZANJA, EXTRACCIÓN A BORDES										
Excavación de zanjas para instalaciones hasta una profundidad de 2 m, en cualquier tipo de terreno, con medios mecánicos, y acopio en los bordes de la excavación. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.										
ADE010_A	m3		1	2.470	0,75	0,6	1.111,5			
Total partida 1.....								1.111,5	16,1	17.895,15
1.02 EXC. ZANJA, EXTRACCIÓN A VERTEDERO										
Excavación de zanjas para instalaciones hasta una profundidad de 2 m, en cualquier tipo de terreno, con medios mecánicos, y carga a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.										
ADE010_B	m3		1	2.470	0,75	0,55	1.018,9			
Total partida 2.....								1018,9	20,49	20.876,75
1.03 RELLENO CAMA DE APOYO										
Relleno envolvente de las instalaciones en zanjas, con arena de 0 a 5 mm de diámetro y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor máximo con pisón vibrante de guiado manual, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.										
ADR010_A	m3		1	2.470	0,75	0,15	277,9			
Total partida 3.....								277,9	25,44	7.069,14
1.04 RELLENO RECUBRIMIENTO										
Relleno envolvente y principal de zanjas para instalaciones, con tierra de préstamo y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor máximo con bandeja vibrante de guiado manual, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. Incluso cinta o distintivo indicador de la instalación. El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.										
ADR010_B	m3	Relleno sección rectangular	1	2.470	0,75	0,4	741			
		A reducir sección tubería	-1	2.470	0,049		-121,2			
Total partida 4.....								619,8	10,79	6.687,15
1.05 RELLENO PRINCIPAL										
Relleno envolvente y principal de zanjas para instalaciones, con tierra seleccionada procedente de la propia excavación y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor máximo con bandeja vibrante de guiado manual, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. Incluso cinta o distintivo indicador de la instalación. El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.										
ADR010_C	m3		1	2.470	0,75	0,6	1111,5			
Total partida 5.....								1111,5	6,52	7.246,98
Total capítulo 1										59.775,17

N.º orden	UD	DESIGNACION DE LA CLASE DE OBRA DE LAS PARTES EN QUE DEBE EJECUTARSE	uds	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
2 INSTALACIONES DE FONTANERÍA										
2.01 INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA										
Suministro e instalación en zanja de tubo de polietileno de alta densidad PE100 negro con banda azul, para abastecimiento de agua potable de 250mm de diámetro nominal y 10 atmósferas de presión de trabajo, con marcado AENOR y conforme la UNE 1452, incluido un incremento del precio del tubo del 30% en concepto de uniones accesorios y piezas especiales y sin incluir la excavación ni rellenos de la zanja										
IFB005	m			1	2.470		2.470			
Total partida 6.....								2470,0	66,7	164.749,00
Total capítulo 2								164.749,00		
3 TRANSPORTE DE TIERRAS										
3.01 TRANSPORTE DE TIERRA A VERTEDERO										
Transporte de tierras con camión de los productos procedentes de la excavación de cualquier tipo de terreno a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos, situado a una distancia máxima de 10 km. El precio incluye el tiempo de espera en obra durante las operaciones de carga, el viaje de ida, la descarga y el viaje de vuelta, pero no incluye la carga en obra.										
GTA020	m3			1	1018.9		1.018,9			
Total partida 7.....								1.018,9	3,93	4.004,18
Total capítulo 3								4.004,18		
Total presupuesto 228.528,35										

12.3.1.3 PRECIOS DESCOMPUESTOS

Código	UD	Descripción de las unidades de obra	Rendi- miento	Precio	Importe
Excavación de zanjas para instalaciones hasta una profundidad de 2 m, en cualquier tipo de terreno, con medios mecánicos, y acopio en los bordes de la excavación. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.					
ADE010_A	m3				
mq01exn020b	h	Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 115 kW.	0,243	48,42	11,77
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,232	17,28	4,01
%		Costes directos complementarios	0,02	15,78	0,32
				Coste Total	16,10
Excavación de zanjas para instalaciones hasta una profundidad de 2 m, en cualquier tipo de terreno, con medios mecánicos, y carga a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.					
ADE010_B	m3				
mq01exn020b	h	Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 115 kW.	0,332	48,42	16,08
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,232	17,28	4,01
%		Costes directos complementarios	0,02	20,09	0,40
				Coste Total	20,49
Transporte de tierras con camión de los productos procedentes de la excavación de cualquier tipo de terreno a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos, situado a una distancia máxima de 10 km. El precio incluye el tiempo de espera en obra durante las operaciones de carga, el viaje de ida, la descarga y el viaje de vuelta, pero no incluye la carga en obra.					
GTA020	m3				
mq04cab010c	h	Camión basculante de 12 t de carga, de 162 kW.	0,096	40,09	3,85
%		Costes directos complementarios	0,02	3,85	0,08
				Coste Total	3,93
Relleno envolvente de las instalaciones en zanjas, con arena de 0 a 5 mm de diámetro y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor máximo con pisón vibrante de guiado manual, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.					
ADR010_A	m3				
mt01var010	m	Cinta plastificada.	1,1	0,14	0,15
mt01ara030	t	Arena de 0 a 5 mm de diámetro, para relleno de zanjas.	1,8	8,95	16,11
mq04dua020b	h	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.	0,101	9,25	0,93
mq02rop020	h	Pisón vibrante de guiado manual, de 80 kg, con placa de 30x30 cm, tipo rana.	0,755	3,49	2,63
mq02cia020j	h	Camión cisterna de 8 m ³ de capacidad	0,01	40,02	0,40

Código	UD	Descripción de las unidades de obra	Rendi- miento	Precio	Importe
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,273	17,28	4,72
%		Costes directos complementarios	0,02	24,94	0,50
				Coste Total	25,44
<p>Relleno envolvente y principal de zanjas para instalaciones, con tierra de préstamo y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor máximo con bandeja vibrante de guiado manual, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. Incluso cinta o distintivo indicador de la instalación. El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.</p>					
ADR010_B	m3				
mt01var010	m	Cinta plastificada.	1,1	0,14	0,15
mt01arz030a	m3	Tierra de préstamo, para relleno de zanjas, compactable y exenta de áridos mayores de 8 cm, raíces, escombros, materia orgánica, detritus o cualquier otro material desaconsejable	1	4,79	4,79
mq04dua020b	h	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.	0,101	9,25	0,93
mq02rod010d	h	Bandeja vibrante de guiado manual, de 300 kg, anchura de trabajo 70 cm, reversible	0,151	6,38	0,96
mq02cia020j	h	Camión cisterna de 8 m ³ de capacidad	0,01	40,02	0,40
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,194	17,28	3,35
%		Costes directos complementarios	0,02	10,58	0,21
				Coste Total	10,79
<p>Relleno envolvente y principal de zanjas para instalaciones, con tierra seleccionada procedente de la propia excavación y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor máximo con bandeja vibrante de guiado manual, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. Incluso cinta o distintivo indicador de la instalación. El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.</p>					
ADR010_C	m3				
mt01var010	m	Cinta plastificada.	1,1	0,14	0,15
mq04dua020b	h	Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.	0,101	9,25	0,93
mq02rod010d	h	Bandeja vibrante de guiado manual, de 300 kg, anchura de trabajo 70 cm, reversible	0,151	6,38	0,96
mq02cia020j	h	Camión cisterna de 8 m ³ de capacidad	0,01	40,02	0,40
mq04cab010c	h	Camión basculante de 12 t de carga, de 162 kW.	0,015	40,09	0,60
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,194	17,28	3,35
%		Costes directos complementarios	0,02	6,39	0,13
				Coste Total	6,52

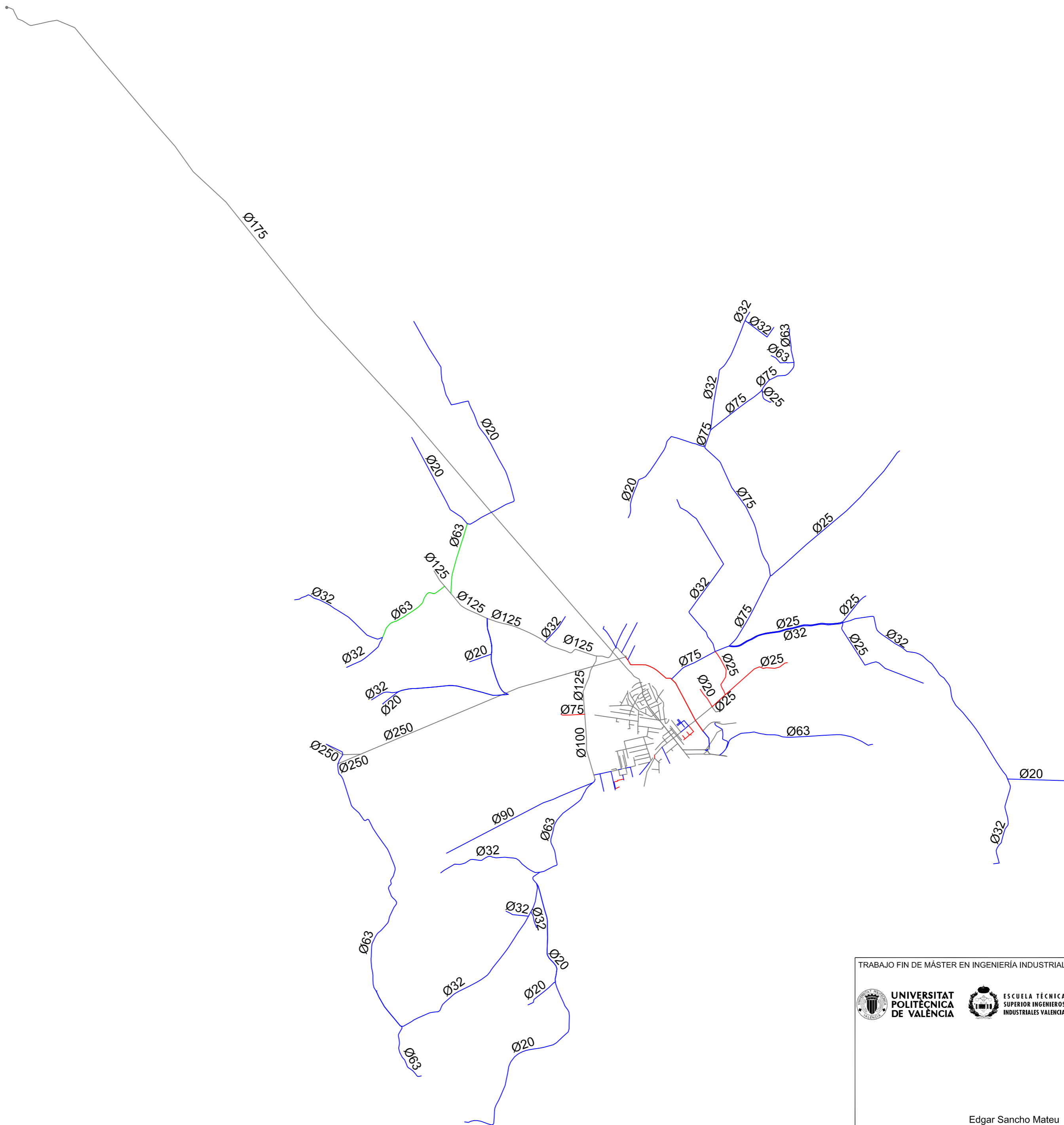
Código	UD	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
IFB005	m	Suministro e instalación en zanja de tubo de polietileno de alta densidad PE100 negro con banda azul, para abastecimiento de agua potable de 250mm de diámetro nominal y 10 atmósferas de presión de trabajo, con marcado AENOR y conforme la UNE 1452, incluido un incremento del precio del tubo del 30% en concepto de uniones accesorios y piezas especiales y sin incluir la excavación ni rellenos de la zanja			
mt37tpa020bng	m	Tubo de polietileno PE 100, de color negro con bandas de color azul, de 250 mm de diámetro exterior y 14,8 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm, según UNE-EN 12201-2, con el precio incrementado el 30% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1	57,33	57,33
mo020	h	Oficial 1ª construcción	0,051	18,56	0,95
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0,051	17,28	0,88
mo008	h	Oficial 1ª fontanero.	0,17	19,11	3,25
mo107	h	Ayudante fontanero.	0,17	17,50	2,98
%		Costes directos complementarios	0,02	65,39	1,31
				Coste Total	66,70

13 REFERENCIAS

- AENOR. (2000). *UNE-EN 805:2000*. Recuperado el 20 de enero de 2020, de AENORMÁS: <https://portal.aenormas.aenor.com/>
- AENOR. (2016). *UNE-EN 1610:2016*. Recuperado el 21 de enero de 2020, de AENORMÁS: <https://portal.aenormas.aenor.com/>
- Aguerri, F. J., Cabrera Jr., E., Cobacho, R., Gómez, E., & Soriano, J. (2017). *Apuntes de mecánica de fluidos*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/78258>
- Ayto. Sinarcas. (s.f.). *Sinarcas*. Obtenido de <http://www.sinarcas.es/>
- Ayto. Sinarcas. (s.f.). *Visor Cartográfico Sinarcas*. Obtenido de <http://visorsinarcas.com/>
- Cabrera, E., Pardo, M. A., Cobacho, R., & Cabrera Jr., E. (2010, febrero 8). Energy Audit of Water Networks. *Asce Library*, 9. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000077
- Colado, M. (26 de septiembre de 2012). Evaluación del error global de medición de contadores domésticos nuevos. Valencia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/27863>
- Confederación Hidrográfica del Júcar. (s.f.). *Hidrología de la CHJ*. Obtenido de <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/cuencahidrografica/Paginas/Hidrolog%C3%ADa.aspx#tres>
- CTE. (20 de diciembre de 2019). *HS 4 Suministro de agua*. Recuperado el 2019, de Documento Básico HS Salubridad: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf>
- Cursos Agua ITA UPV. (s.f.). *Curso de Modelización avanzada de redes con EPANET*. Obtenido de <https://cursosagua.net/modelacion/epanet/curso-online-modelacion-avanzada-redes-es.php>
- CYPE Ingenieros, S.A. (s.f.). *Generador de precios de la construcción en Valencia*. Recuperado el 29 de enero de 2020, de [http://www.generadordeprecios.info/remote.asp?Command=0,config,idioma:0\[accion_configuracion:acceder\[accion_indice:0\[n:1253\[](http://www.generadordeprecios.info/remote.asp?Command=0,config,idioma:0[accion_configuracion:acceder[accion_indice:0[n:1253[)
- Gómez Selles, E. (24 de octubre de 2016). Caracterización y mejora de la eficiencia energética del transporte de agua a presión. doi:10.4995/Thesis/10251/72637
- Grundfos. (s.f.). *Product Center*. Obtenido de [https://product-selection.grundfos.com/catalogue.product%20families.q%26h%20sp.html?custid=BGE&familycode=SPFAM&flow=0&head=0&lang=ESP&time=1564384872538&qcid=583710162](https://product-selection.grundfos.com/catalogue/product%20families.q%26h%20sp.html?custid=BGE&familycode=SPFAM&flow=0&head=0&lang=ESP&time=1564384872538&qcid=583710162)
- Grupo Mejoras. (s.f.). Obtenido de <https://mejoras-energeticas.com/>
- INE. (27 de noviembre de 2018). *Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua*. Obtenido de https://www.ine.es/prensa/essa_2016.pdf
- INE. (s.f.). *Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero*. Obtenido de Valencia/València: Población por municipios y sexo: <http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2903>
- ITA UPV. (s.f.). *Manual EpaCad v1.0*. Obtenido de <https://www.epacad.com/img/descPDF.png>

- IVE. (Junio de 2019). *Base de Precios del IVE 2019*. Recuperado el 14 de enero de 2020, de <https://www.five.es/productos/herramientas-on-line/visualizador-2019/>
- Liemberger, R., & McKenzie, R. S. (2005). Paper to Leakage. *International Benchmarking of Leakage from Water Reticulation Systems*. Halifax. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/264840053_Accuracy_Limitations_of_the_ILI_-_Is_it_an_Appropriate_Indicator_for_Developing_Countries
- Tuyper Grupo. (s.f.). Recuperado el 20 de enero de 2020, de Tuberías de polietileno para presión: http://www.tuyper.es/opencms/export/sites/tuyper/galeria_descarga/productos/02_tuberi_aPE/02presion/01Catalogo_PRESSION_PE.pdf
- Weather Spark. (s.f.). *El clima promedio en Sinarcas*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/40278/Clima-promedio-en-Sinarcas-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Wikipedia. (s.f.). *Sinarcas*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Sinarcas>
- Yepes Piqueras, V. (s.f.). *Relleno de la zanja en la instalación de tuberías*. Recuperado el 20 de enero de 2020, de PoliBlogs: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/12/07/relleno-de-la-zanja-en-la-instalacion-de-tuberias/>

LEYENDA
 FIBROCEMENTO
 POLIETILENO
 POLICLORURO DE VINILO
 NO CONSTA



TRABAJO FIN DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



Proyecto: **MODELADO, ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA RED DE AGUA POTABLE DE SINARCAS (VALENCIA)**

Fecha: **Julio 2020**

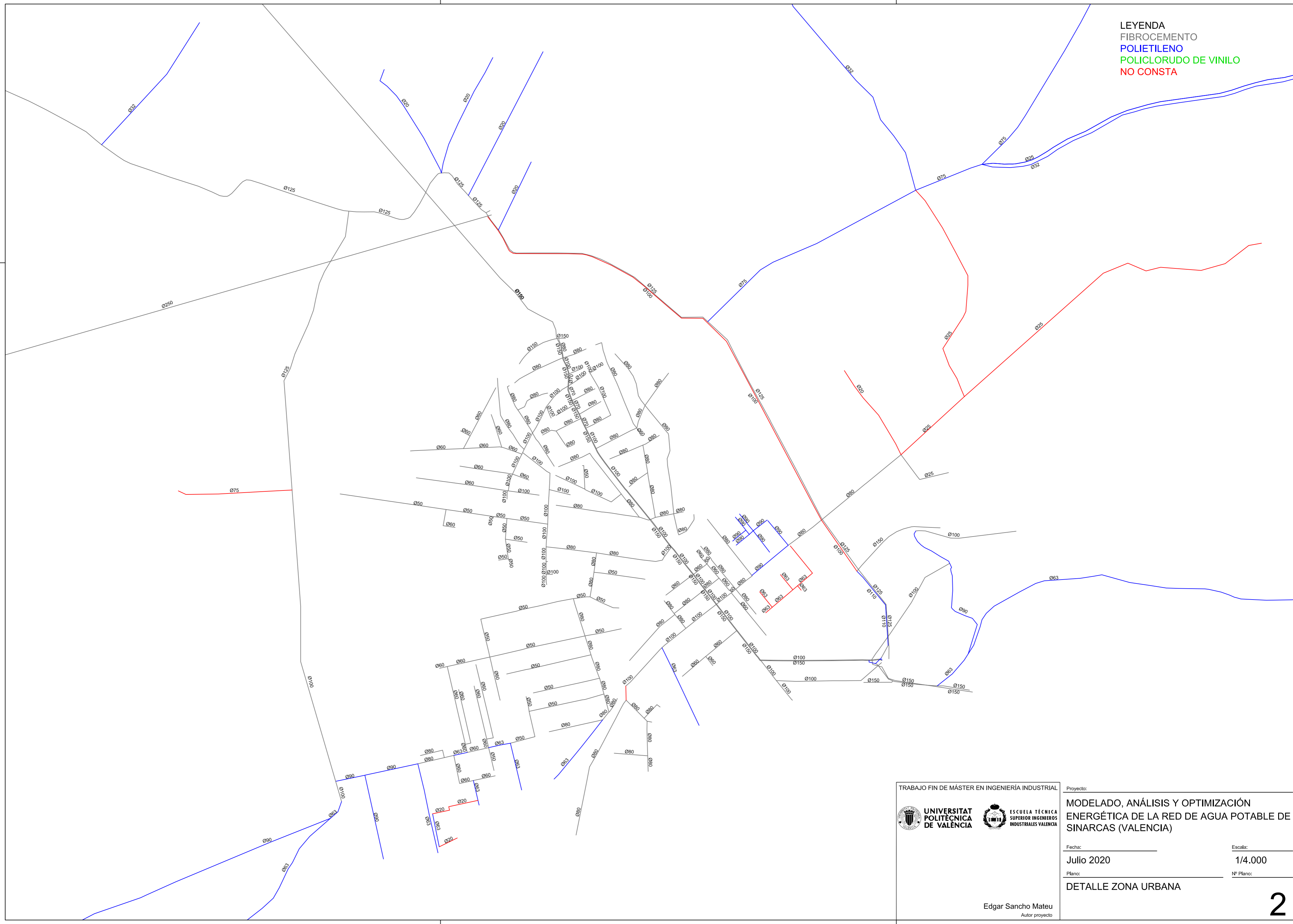
Escala: **1/25.000**

Plano: **TRAZADO DE TUBERÍAS GENERAL**

Nº Plano:

Edgar Sancho Mateu
 Autor proyecto

LEYENDA
 FIBROCEMENTO
 POLIETILENO
 POLICLORURO DE VINILO
 NO CONSTA



TRABAJO FIN DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto: **MODELADO, ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA RED DE AGUA POTABLE DE SINARCAS (VALENCIA)**

Fecha: Escala:
 Julio 2020 1/4.000

Plano: Nº Plano:
DETALLE ZONA URBANA

Edgar Sancho Mateu
 Autor proyecto