



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mis padres por ser quienes impulsan mis sueños, contemplan mis logros con inmensa felicidad y me dan siempre lo mejor sin pedir a cambio. De la misma manera, quiero agradecer a mi hermana el respeto y la admiración que me ha brindado en todo momento, y que, junto con mis padres, hace que todo el esfuerzo dedicado se vea recompensado en forma de orgullo. Gracias por vuestro amor incondicional, con el que me siento arropada, valorada y querida; por vuestro apoyo incansable, pues gracias a la confianza que siempre me habéis otorgado me he sentido más tranquila persiguiendo mis metas; Gracias por vuestra comprensión y por vuestros ánimos en los momentos en los que tirar la toalla parecía la opción más viable. No podría haber llegado a ser la persona que soy sin vosotros.

Por otro lado, me gustaría hacer una especial mención a todas las personas maravillas que estos cuatro años me han regalado. Personas con las que he compartido el camino, a veces duro, a veces cansado. Con quienes tanto he reído y he llorado. Con quienes he compartido la que ha sido, posiblemente, la mejor etapa de mi vida. Sin duda lo mejor de estos cuatro años habéis sido vosotros.

Agradecer también este trabajo a mi tutor Javier, quien consigue fácilmente despertar el interés por lo que enseña, por la forma en la que lo transmite. Gracias por haberme orientado siempre de la mejor manera posible y haberme dedicado su tiempo con paciencia y amabilidad. Pero sobretodo, gracias por haberme dado la seguridad de que cada paso avanzado en el desarrollo del TFG iba encaminado correctamente.

Por último, aunque no por ello menos importante, quiero agradecer al Ayuntamiento de Ayora su colaboración e implicación conmigo en la realización de este trabajo. Mencionar especialmente a José Vicente por permitirme aplicar los conocimientos aprendidos en un proyecto dedicado a la red de agua del pueblo. Gracias también a Susana, y a Pepe por haberme facilitado información necesaria y precisa con un trato siempre cordial y agradable.

A todos ellos, mi enorme agradecimiento.

Pilar Martínez Belda



RESUMEN

Con este trabajo mi intención es presentar el modelo matemático de la red de abastecimiento de agua potable de Ayora, una población situada al suroeste de la provincia de Valencia y cuya población abastecida es aproximadamente de 5.500 habitantes.

Para el modelado de la red se ha utilizado planos de AutoCAD, datos sobre la demanda, así como información complementaria para la caracterización de cada uno de los elementos que componen el modelo. Todo ello ha sido proporcionado por el Ayuntamiento de Ayora, gestor encargado del servicio de suministro de Agua.

Una vez recogida dicha información, se han convertido los planos de AutoCAD a un modelo de EPANET mediante el programa de Epanet; Y caracterizando cada uno de los diferentes elementos del modelo en función de sus datos correspondientes (diámetros y materiales de las tuberías, demandas en los nudos, cotas, etc..), se ha obtenido una simulación del modelo real, a partir del cual se analizan las principales variables hidráulicas tales como la presión de los nudos, las pérdidas unitarias, las velocidades del fluido en la tubería y los caudales circulantes, con el fin de conocer bien el funcionamiento de la red para detectar posibles imperfecciones y poder plantear mejoras correspondientes.

Palabras clave: Hidráulica, Simulación, Suministro de agua, EPANET, Ayora.



RESUM

Amb aquest treball la meua intenció és presentar el model matemàtic de la xarxa de proveïment d'aigua potable d'Ayora, una població situada al sud-oest de la província de València, que abasteix aproximadament una població de 5.500 habitants.

Per al modelatge de la xarxa, s'ha utilitzat plànols d'AutoCAD, dades sobre la demanda, així com informació complementària per a la caracterització de cada un dels elements que componen el model. Tot això ha estat proporcionat per l'Ajuntament d'Ayora, gestor encarregat del servei de subministrament d'Aigua.

Recollida aquesta informació, s'han convertit els plànols d'AutoCAD a un model d'EPANET mitjançant el programa de Epacad; i caracteritzant cadascun dels diferents elements del model en funció de les seues dades corresponents (diàmetres i materials de les canonades, requeriments en els nucs, cotes, etc ..), s'ha obtingut una simulació del model real, a partir del qual s'analitzen les principals variables hidràuliques com ara la pressió dels nucs, les perdudes unitàries, les velocitats del fluid a la canonada i els cabals circulants, per tal de conèixer de bon grat, el funcionament de la xarxa per detectar possibles imperfeccions i poder plantejar les millores corresponents.

Paraules Clau: Hidràulica, Simulació, subministraments d'aigua, EPANET, Aiora.



ABSTRACT

The objective of this work is the design of a mathematic model of the potable water supply network of Ayora, which is a small city in the southwest of the province of Valencia with approximately 5.500 inhabitants.

For the design of the network, AutoCAD drawings, consumption data and complementary information were used to make the characterization of each of the elements included in the model. All this data was provided by the City Council of Ayora.

After collecting all information, the used elements were characterized according to the corresponding data and the AutoCAD drawings were converted with the software EPACAD into an EPANET model. With the results from the simulation of the model, main hydraulic variables such as the pressure of nodes, fluid velocity in the pipeline and circulating flows were analyzed in order to understand the process, find possible deficiencies and propose corresponding improvements.

Key Words: Hydraulics, Simulation, Water supply, EPANET, Ayora.



ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN
2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO DE AGUA
3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO
4. CARGA HIDRAÚLICA DEL MODELO
5. INTRODUCCIÓN A LAS SIMULACIONES
6. MEJORAS PARA LA RED
7. CONCLUSIONES
8. BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

1. ANEXO 1. RESULTADOS DE EPANET CON BOMBA ACTUAL
2. ANEXO 2. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS
3. ANEXO 3. CÁLCULO DEL COSTE ENERGÉTICO DE LA BOMBA

PRESUPUESTO

PLANOS

1. RED HIDRAULICA DE AYORA
2. RED HIDRAULICA DE AYORA (SECTOR A1)
3. RED HIDRAULICA DE AYORA (SECTOR A2)
4. ESTACIÓN DE BOMBEO INSTALADA EN LA SOLANA



MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1.	Objetivo	7
1.2.	Antecedentes	8
1.3.	Descripción de la zona de estudio.....	8
1.3.1.	Localización geográfica.....	8
1.3.2.	Demografía.....	9
1.3.3.	Actividad económica	9
2.	DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO DE AGUA	10
2.1.	Introducción	10
2.2.	Depósito de La Pedriza (Principal).....	11
2.3.	Depósito antiguo	13
2.4.	Tuberías.....	13
2.5.	Estación de Bombeo.....	15
2.6.	Válvulas	17
2.7.	Red de regadío	17
2.8.	Descripción del funcionamiento hidráulico de la red	19
3.	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	20
3.1.	Trazado de la red.....	20
3.1.1.	Punto de partida.....	20
3.1.2.	Exportación del modelo en AutoCAD a EPANET	21
3.1.3.	Conectividad de la red.....	23
3.2.	Definición de los elementos del modelo.....	23
3.2.1.	Nudos de la red	24
3.2.2.	Tuberías.....	26
3.2.3.	Depósitos.....	29
3.2.4.	Estación de bombeo.....	30
4.	CARGA HIDRAÚLICA DEL MODELO.....	32
4.1.	Introducción	32



4.2.	Obtención de la curva de demanda o modulación	33
4.3.	Otras consideraciones	36
5.	INTRODUCCIÓN A LAS SIMULACIONES	37
5.1.	Análisis de las diferentes zonas del pueblo.....	37
5.2.	Análisis del funcionamiento de la red bajo diferentes demandas.....	39
5.2.1.	Escenario 1: (Q=20 l/s, CDM=0,71)	39
5.2.2.	Escenario 2: (Q=30 l/s, CDM= 1,1)	42
5.2.3.	Escenario 3: (Q=40 l/s, CDM= 1,45)	44
5.2.4.	Escenario 4: (Q=50 l/s, CDM=1,82)	44
5.2.5.	Escenario 5: (Q=60 l/s , CDM=2,16)	47
5.2.6.	Escenario 6: (Q= 70 l/s, CDM=2,53)	48
5.3.	Resumen de las simulaciones que van desde Q=20 l/s a Q=70 l/s	51
5.4.	Respuesta estimada en hora punta verano y hora valle invierno.....	52
5.4.1.	Hora punta verano	53
5.4.2.	Hora valle invierno	56
6.	MEJORAS PARA LA RED	60
6.1.	Instalación de la bomba en “La Solana”	61
6.2.	Instalación de la bomba en “Los calderones”	65
6.3.	Simulación de la red con las mejoras instaladas.....	68
6.4.	Estudio de viabilidad económica.....	70
6.4.1.	Coste energético de la bomba actual.....	71
6.4.2.	Coste energético de la bomba instalada como mejora en La Solana	75
6.4.3.	Coste energético de la bomba instalada en Los Calderones.....	77
6.4.4.	Conclusiones sobre el análisis energético.....	79
7.	CONCLUSIONES	80
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Localización del pueblo de Ayora (Google Maps)</i>	8
<i>Ilustración 2: Evolución de la población en habitantes por año</i>	9
<i>Ilustración 3: Localización de algunos de los recursos hídricos de Ayora</i>	10
<i>Ilustración 4: Foto exterior del depósito (Google Maps)</i>	11
<i>Ilustración 5: Entrada de agua al depósito</i>	11
<i>Ilustración 6: Salidas del depósito</i>	12
<i>Ilustración 7: Esquema de conexión del depósito con el pueblo</i>	12
<i>Ilustración 8: Antiguo depósito</i>	13
<i>Ilustración 9: Gráfico circular del porcentaje de cada material de tubería</i>	14
<i>Ilustración 10: Estación de bombeo en su interior (izquierda) y exterior (derecha)</i>	15
<i>Ilustración 11: Punto de funcionamiento de la bomba</i>	16
<i>Ilustración 12: Curva de rendimiento de la bomba (Q-H)</i>	16
<i>Ilustración 13: Curvas de potencia y de aspiración de la bomba (Q-NPSH)</i>	17
<i>Ilustración 14: Balsa Mayor, balsa de riego</i>	18
<i>Ilustración 15: Acequias de canalización de la huerta de Ayora</i>	18
<i>Ilustración 16: SCADA de control del abastecimiento</i>	19
<i>Ilustración 17: Plano de AutoCAD de la red hidráulica</i>	20
<i>Ilustración 18: Capa "TODO" superpuesta al modelo</i>	21
<i>Ilustración 19: Programa EpaCAD</i>	22
<i>Ilustración 20: Modelo de EPANET</i>	23
<i>Ilustración 21: Programa Google Earth</i>	24
<i>Ilustración 22: Referencia catastral del depósito de Ayora</i>	29
<i>Ilustración 23: Ccurva característica a partir del punto de diseño (H_{BO}, Q_{BO})</i>	30
<i>Ilustración 24: Caracterización de una bomba en EPANET mediante el punto de funcionamiento.</i>	31
<i>Ilustración 25: Curva de la bomba ajustada y definida mediante varios puntos</i>	31
<i>Ilustración 26: Modelo final de EPANET</i>	32
<i>Ilustración 27: Caudal inyectado en m^3/h durante un día del mes de agosto</i>	33
<i>Ilustración 28: Caudal inyectado en m^3/h durante un día del mes de marzo</i>	34
<i>Ilustración 29: Curva de modulación de invierno introducida a EPANET</i>	36

<i>Ilustración 30: Curva de modulación de verano introducida a EPANET</i>	36
<i>Ilustración 31: Gráfico de frecuencia de presiones (Q=20 l/s)</i>	40
<i>Ilustración 32: Gráfico de frecuencia de presiones (Q=30 l/s) sin bomba</i>	43
<i>Ilustración 33: Gráfico de frecuencia de presiones (Q=30 l/s) con bomba</i>	44
<i>Ilustración 34: Gráfico de frecuencia de presiones (Q=50 l/s) sin bomba</i>	45
<i>Ilustración 35: Gráfico de frecuencia de presiones (Q=50 l/s) con bomba</i>	46
<i>Ilustración 36: Gráfico de frecuencia de presiones (Q=60 l/s) con bomba</i>	48
<i>Ilustración 37: Punto de funcionamiento en función de la velocidad</i>	50
<i>Ilustración 38 :Gráfico de frecuencia de presiones (Q=70 l/s) con bomba</i>	51
<i>Ilustración 39: Bomba modelo CRE 45-1-1 A-F-A-E-HQQE- 99072009</i>	63
<i>Ilustración 40: Curva de rendimiento de la bomba instalada en La Solana</i>	63
<i>Ilustración 41: Curva de potencia de la bomba instalada en La Solana</i>	64
<i>Ilustración 42: Caudal que debe aportar la bomba en Los Calderones</i>	65
<i>Ilustración 43: CRE 3-2 A-A-A-E-HQQE - 98389684</i>	66
<i>Ilustración 44: Curva de rendimiento de la bomba instalada en La Solana</i>	66
<i>Ilustración 45: Curva de potencia de la bomba instalada en La Solana</i>	67
<i>Ilustración 46: Valores normalizados de potencia (Iberdrola, 2018)</i>	70
<i>Ilustración 47: Precios Tarifa 3.0A 2018 (Iberdrola, 2018)</i>	71
<i>Ilustración 48: Diferencia de horas en la tarifa 3.0A (Iberdrola, 2018)</i>	71
<i>Ilustración 49: Precios Tarifa 2.0A 2018 (Iberdrola, 2018)</i>	75

ÍNDICE DE MAPAS

<i>Mapa 1: Mapa de contorno de distribución de cotas en metros</i>	25
<i>Mapa 2: Diámetros de tuberías en mm</i>	28
<i>Mapa 3: Zonas residenciales según el número de plantas que pueden tener</i>	38
<i>Mapa 4: Mapa isobárico correspondiente a Q=20 l/s sin bomba</i>	40
<i>Mapa 5: Mapa isobárico correspondiente a Q=20 l/s con bomba</i>	41
<i>Mapa 6: Mapa isobárico correspondiente a Q=30 l/s</i>	42
<i>Mapa 8: Mapa isobárico correspondiente a Q=30 l/s con bomba</i>	43
<i>Mapa 10: Mapa isobárico correspondiente a Q=50 l/s sin bomba</i>	45
<i>Mapa 12: Mapa isobárico correspondiente a Q=50 l/s con bomba</i>	46



<i>Mapa 14: Mapa isobárico correspondiente a Q=60 l/s sin bomba</i>	<i>47</i>
<i>Mapa 15: Mapa isobárico correspondiente a Q=60 l/s con bomba.....</i>	<i>48</i>
<i>Mapa 17: Mapa isobárico correspondiente a Q=70 l/s sin bomba</i>	<i>49</i>
<i>Mapa 18: Mapa isobárico correspondiente a Q=70 l/s sin bomba</i>	<i>50</i>
<i>Mapa 20: Resumen de la respuesta de la red sin la bomba conectada</i>	<i>52</i>
<i>Mapa 21: Velocidades en tuberías (m/s) para verano en hora punta</i>	<i>54</i>
<i>Mapa 22: Caudales (LPS) para verano en hora punta.....</i>	<i>55</i>
<i>Mapa 23: Perdidas unitarias (m/km) para verano en hora punta</i>	<i>56</i>
<i>Mapa 24: Velocidades en tuberías (m/s) para verano en hora valle</i>	<i>57</i>
<i>Mapa 25: Caudales en tuberías (LPS) para invierno en hora valle.....</i>	<i>58</i>
<i>Mapa 26: Perdidas unitarias (m/km) para invierno en hora valle</i>	<i>59</i>
<i>Mapa 27: Zonas afectadas en la red</i>	<i>60</i>
<i>Mapa 28: Tuberías cerradas para aislar el barrio La Solana del resto de la red.....</i>	<i>61</i>
<i>Mapa 29: Conexión del depósito atmosférico a La Solana</i>	<i>62</i>
<i>Mapa 30: Instalación de la bomba en La Solana en EPANET</i>	<i>64</i>
<i>Mapa 31: Aislamiento y conexión del depósito atmosférico de Los Calderones.....</i>	<i>65</i>
<i>Mapa 32: Instalación de la bomba en La Solana en EPANET.....</i>	<i>67</i>
<i>Mapa 33: Modelo final con las mejoras incluidas.....</i>	<i>68</i>
<i>Mapa 34: Presiones en los nudos del modelo final para Q= 61 l/s</i>	<i>69</i>
<i>Mapa 35: Mapa de presiones para Q= 61 l/s con la bomba central conectada a la izquierda y las mejoras realizadas a la derecha.....</i>	<i>69</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Clasificación de tuberías según su material</i>	14
<i>Tabla 2: Lectura del contador del depósito principal de un mismo día durante un año (2018)</i>	26
<i>Tabla 3: Cálculo de la demanda base</i>	26
<i>Tabla 4: Diámetros interiores (mm)</i>	27
<i>Tabla 5: Caudales medios de un día de verano e invierno</i>	34
<i>Tabla 6: Caudales medios considerando un mes de verano e invierno</i>	34
<i>Tabla 8: Cálculo de los coeficientes de modulación</i>	35
<i>Tabla 9: Demanda máxima y mínima en hora punta</i>	53
<i>Tabla 10: Velocidades en tuberías (m/s) en hora punta</i>	53
<i>Tabla 11: Pérdidas unitarias en hora punta (mca/km)</i>	55
<i>Tabla 12: Velocidades en tuberías (m/s) en hora valle</i>	56
<i>Tabla 13: Pérdidas unitarias en hora valle (mca/km)</i>	58
<i>Tabla 14: Consumo energético de la bomba actual durante 1 día de verano</i>	72
<i>Tabla 15: Potencia máxima y energía total consumida en 1 día de verano</i>	72
<i>Tabla 16: Factura mensual de verano (bomba actual)</i>	73
<i>Tabla 17: Consumo energético de la bomba actual durante 1 día de invierno</i>	74
<i>Tabla 18: Potencia máxima y energía total consumida en 1 día de invierno</i>	74
<i>Tabla 19: Factura mensual de invierno (bomba actual)</i>	74
<i>Tabla 20: Coste energético anual simplificado de la bomba actual</i>	74
<i>Tabla 21: Consumo energético de la bomba instalada en La Solana durante 1 día de verano</i>	76
<i>Tabla 22: Potencia máx. y energía consumida en 1 día de verano por la bomba de La Solana</i>	76
<i>Tabla 23: Factura simplificada mensual de verano (bomba instalada en Los Calderones)</i>	76
<i>Tabla 24: Coste energético anual simplificado de la bomba de La Solana</i>	77
<i>Tabla 25: Consumo energético de la bomba instalada en Los Calderones durante 1 día de verano</i>	78
<i>Tabla 26: Potencia máx. y energía consumida en 1 día de verano por la bomba de Los Calderones</i>	78
<i>Tabla 29: Comparación de los costes anuales simplificados</i>	79

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es modelar la red de distribución de agua potable del pueblo de Ayora. Se trata de una localidad situada al suroeste de la Comunidad Valenciana y que apenas cuenta con 5.500 habitantes. Lo que se persigue mediante este trabajo es poder ofrecer una herramienta de apoyo a los técnicos del ayuntamiento que les facilite el entendimiento del comportamiento de la red, les permita una gestión optimizada de los recursos disponibles y una visión futura sobre las posibles decisiones en la operación de la misma.

Más en particular, lo que se quiere realizar con este proyecto es:

- Recopilación y definición detallada de los diferentes elementos que componen y originan la red de suministro de agua potable de Ayora.
- Descripción del proceso de modelado y definición de la red de abastecimiento de Ayora en el programa EPANET.
- Caracterización de la demanda y creación de patrones de consumo en función de la hora y la estación del año.
- Simulación de diferentes escenarios que permitan el estudio del comportamiento de la red bajo determinadas circunstancias.
- Análisis de los resultados y de las variables hidráulicas del modelo con el objetivo de encontrar anomalías o imperfecciones de la red.
- Definir mejoras del funcionamiento actual que permitan aumentar el rendimiento hidráulico de la red.
- Análisis energético de consumo en la población.

A nivel personal, este trabajo quiere reflejar el nivel de autonomía y de profesionalidad adquirido durante mis cuatro años de carrera. Siendo además mi primera toma de contacto con los futuros proyectos que espero poder desempeñar durante mi etapa como ingeniera industrial.

1.2. Antecedentes

La gestión del suministro de agua potable siempre se ha llevado a cabo por el Ayuntamiento de Ayora, el cual se ocupa del mantenimiento de las captaciones, tuberías, depósitos, sistemas de cloración y redes de distribución y saneamiento de la población.

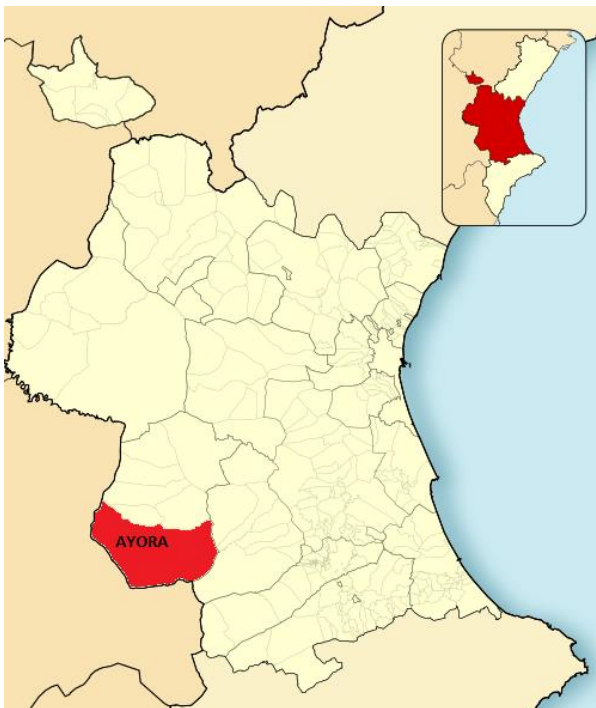
Tras contactar con el Municipio y ser conocedora de la falta de un modelo de simulación de la red, se ofrece mediante el presente trabajo la creación de éste a partir de los siguientes datos aportados por el mismo Ayuntamiento:

- Características de los elementos que componen la red
- Plano de AutoCAD con el callejero del municipio recreado a partir de planos hidráulicos antiguos
- Datos de los volúmenes de agua inyectados a la red

Además, se contó con la ayuda y supervisión del técnico encargado de la red, quien proporcionó su conocimiento sobre ésta, al igual que todos los documentos y la información adicional que se fuera necesitando a lo largo del desarrollo del trabajo.

1.3. Descripción de la zona de estudio

1.3.1. Localización geográfica



*Ilustración 1: Localización del pueblo de Ayora
(Google Maps)*

Ayora es un municipio del interior de la Comunidad Valenciana que limita con la provincia de Castilla la Mancha y que cuenta con una superficie de 446 Km². Es la segunda población más extensa de la Comunidad, después de Requena. Junto con Cofrentes, Jalance, Jarafuel, Teresa y Zarra, pertenece al valle que lleva su nombre y del cual es capital.

Ayora está asentado sobre una llanura de 552 metros de altitud rodeada en sus laterales por escarpadas sierras: La sierra de Ayora con Enguera al este y las de Paloera-La Hunde y El Montemayor a su oeste. Ayora extiende su núcleo poblacional alrededor de su castillo, ubicado a 640 metros de altitud. Por lo que de antemano podemos establecer que debido a la presencia de desniveles en la población, habrá diferencias de presión entre las zonas situadas a mayor y menor cota.

1.3.2. Demografía

Según las cifras oficiales recogidas en el “Padrón Municipal de habitantes de 2016”, Ayora cuenta con una población actual de 5320 habitantes, sumados a éstos un colectivo próximo a 300 personas procedentes de países como Reino Unido, Rumanía, Marruecos o Polonia. Su densidad demográfica es de 11,89 hab./km², un índice bajo debido a que siendo la segunda población más extensa de la Comunidad Valenciana, no cuenta con un elevado número de residentes debido a una falta de servicios y de acceso a la formación, motivan cada vez más a los habitantes a abandonar su localidad en busca de nuevas oportunidades.

Como se puede ver en la **Ilustración 2**, desde finales del siglo XIX, la población ha ido decreciendo hasta ahora debido a la migración del campo a la ciudad en busca de una mejora de las condiciones de vida, y de una mayor oportunidad en la búsqueda de empleo, resultado en una población más envejecida y con un menor índice de natalidad.

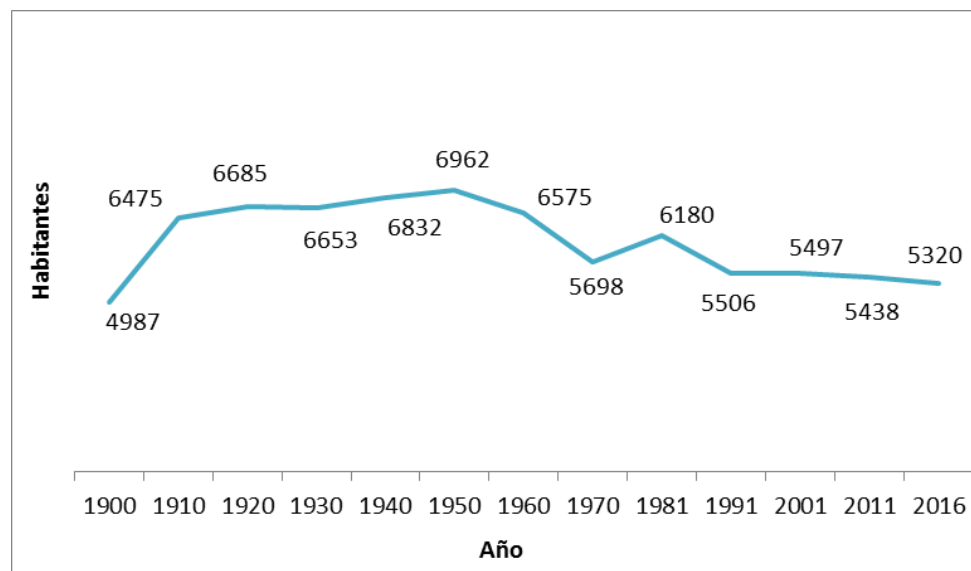


Ilustración 2: Evolución de la población en habitantes por año

1.3.3. Actividad económica

La actividad económica de Ayora se basa en los sectores primarios de la agricultura y la ganadería, siendo la apicultura la actividad más importante que hace del pueblo de Ayora uno de los mayores proveedores de miel a nivel mundial y que permite, además, la celebración de un atractivo turístico durante el puente del Pilar como es la feria gastronómica de la Feria de la Miel, que ayuda al impulso de su economía mediante el turismo. Por otro lado, en el sector secundario encontramos la Central Nuclear de Cofrentes, uno de los motores económicos de Ayora y de su valle, que desde 1984 ha producido muchos puestos de trabajo, aumentando el bienestar del valle y de la calidad de vida de sus residentes. Así mismo, son bastantes las empresas dedicadas a la industria textil, al transporte de mercancías por camión y al sector de la construcción, las cuales se asientan en un pequeño polígono industrial junto con otras empresas locales.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO DE AGUA

2.1. Introducción

Respecto a los antecedentes de la infraestructura de suministro de agua de Ayora, en la década de los años 50, se llevó a cabo la construcción de “El Minado” un túnel horizontal de 2 km de longitud excavado en piedra caliza mediante el uso de dinamita, con el propósito de poder llegar hasta el agua subterránea del acuífero “Collado de la Vega”, obteniendo así el agua mediante filtración, que posteriormente es transportada a través de una tubería al actual depósito principal, construido en el año 1975.

Otro de los recursos naturales de los cuales se extrae el agua, es del nacimiento llamado “Fuente Redonda”, que junto con parte de las aguas que salen a la superficie de “El Minado”, muy próximo a está, intersecta su caudal formando la “Acequia Madre”, que se encarga del transporte de agua al sector agrícola, pasando antes por la balsa de regadío “Balsa Mayor”, donde se ramifica para llegar a todas las huertas de la localidad.

Centrándonos en la parte que nos concierne, nos situamos en 1965, cuando se lleva cabo la construcción de la red de saneamiento y alcantarillado de Ayora. Una red que hoy en día, basándose en su distribución puede considerarse mallada, aunque se puedan apreciar algunas ramificaciones situadas en la periferia de ésta. Esta distribución permite un reparto más equilibrado de las presiones a lo largo de la red, así como la facilitación de las tareas de mantenimiento, por permitir el aislamiento de determinadas zonas. Hoy en día, la red de suministro de agua potable en Ayora, está abastecida mediante un único depósito atmosférico construido en 1975 en el paraje “La Pedriza”, y que es abastecido por el agua subterránea procedente de “El Minado”. Hay que mencionar que anteriormente existía un otro depósito de agua que quedó obsoleto tras la construcción del actual. Todos estos recursos hídricos pueden ubicarse en la **Ilustración 3**.



Ilustración 3: Localización de algunos de los recursos hídricos de Ayora

A continuación, y dejando atrás la parte histórica, el trabajo se centrará en la descripción detallada de todos y cada uno de los elementos que componen la red de abastecimiento de agua potable de la población.

2.2. Depósito de La Pedriza (Principal)

El pueblo de Ayora es abastecido mediante un único depósito rectangular de capacidad 850 m³ que está dividido en 2 vasos y situado a una cota de 640 m, en el paraje de la Pedriza. Dicho depósito almacena y potabiliza el agua subterránea procedente de “El Minado” que llega a éste a través de una tubería enterrada de diámetro 250 mm.



Ilustración 4: Foto exterior del depósito (Google Maps)

Como se muestra en las **Ilustraciones 5 y 6**, el depósito cuenta con dos entradas de diámetro 250 mm y dos salidas; una vieja de 200 mm de diámetro que apoya la zona de chalets de Ciudad jardín, y una nueva con diámetro de 300 mm que intersecta con la antigua en la calle Miguel Molsos. Ambas tuberías salen del depósito bajando por la carretera hasta llegar al invernadero, donde la tubería principal cambia su dirección hacia la estación de bombeo situada a la entrada del pueblo, para posteriormente encontrarse con la primera.



Ilustración 5: Entrada de agua al depósito

El esquema del recorrido y de conexión entre ambas tuberías puede verse en la **Ilustración 7**. La longitud aproximada de cada una de las tuberías es de 1,27 Km para la DN 200 y 0,53 Km para la DN 300. Ambas tuberías discurren enterradas en todo su trazado.



Ilustración 6: Salidas del depósito



Ilustración 7: Esquema de conexión del depósito con el pueblo

2.3. Depósito antiguo

Años antes de la construcción del depósito principal de la Pedriza, se construyó un primer depósito que, inaugurado en 1966, dejó de utilizarse en 1971, por no disponer del suficiente desnivel (620 m), y capacidad para abastecer a las partes más elevadas del pueblo con una presión competente. Esta construcción supuso una gran revolución para la gestión de las aguas potables, pero desafortunadamente, no tuvo una vida útil destacada.



Ilustración 8: Antiguo depósito

2.4. Tuberías

Las tuberías son el elemento más importante de toda instalación por desempeñar la función de transporte de agua a todos los puntos de consumo, y son, además, el principal foco de atención donde se opera para solucionar los problemas ocurridos en la red.

La red de Ayora está compuesta por tuberías de diferentes materiales y diámetros. Y aunque podemos encontrar tuberías antiguas como son las de Fibrocemento (FC), la tendencia actual es la de sustituir éstas por Polietileno (PE), aunque se empezó probando con las de PVC. La elección de estos materiales se debe a que las tuberías de Fibrocemento presentan problemas de reparación y de eliminación como consecuencia de que son muy contaminantes y nocivas para la salud. Por tanto, la política actual seguida por la gestora es la progresiva eliminación de este tipo de tubos.

Por otro lado, las tuberías de Polietileno (PE) son mucho más manejables, ligeras, y accesibles, permitiendo una manipulación más fácil y rápida combinada con unas buenas propiedades mecánicas que aseguran una alta durabilidad y resistencia a la corrosión y a diferentes agentes químicos. Además, poseen un bajo factor de fricción, reduciendo las pérdidas de carga y favoreciendo una mayor eficiencia en el suministro (como se comprobará más adelante, parte del suministro actual se realiza mediante un grupo de bombeo).

En la **Tabla 1** se puede observar las longitudes que componen las diferentes tuberías de la red y sus correspondientes diámetros referidos a cada material. Actualmente se cuenta con aproximadamente unos 26,4 km de longitud total de la red (con una ratio próximo a 200 habitantes por km de tubería).

PE		PVC		FC	
DN (mm)	Longitud (m)	DN (mm)	Longitud (m)	DN (mm)	Longitud (m)
63	457,5	63	2.214,6	60	4.693,3
90	8.209,1	90	910,9	75	437,8
110	1.535,1	110	640,6	100	482,4
160	1.068,9	140	160,7	125	267,7
180	211,1	160	855,8	150	456,8
225	337,5			175	1.696,9
				200	1.266,1
				300	528,1
Longitud Tot.(m)	11.819		4.783		9.829

Tabla 1: Clasificación de tuberías según su material

A partir de la longitud total calculada para cada material, se ha creado el siguiente gráfico, **Ilustración 9**, con el fin de mostrar de forma más clara y visual cuales son los porcentajes para cada uno de estos materiales. Como se puede observar, a pesar de que se quieren sustituir las tuberías de Fibrocemento (FC) por las de Polietileno (PE) sigue habiendo un elevado porcentaje de éstas (36 %), obviando la antigüedad de la red de Ayora, ya que su uso se prohibió en el año 2001. Por otro lado, se observa como las tuberías de PE van abriéndose paso en la red de aguas potables de Ayora, por sus buenas propiedades y la legislación vigente.

Porcentajes de los materiales empleados en la red

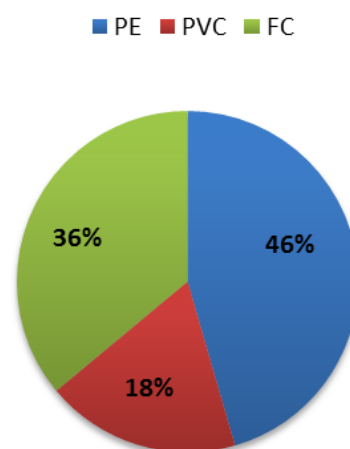


Ilustración 9: Gráfico circular del porcentaje de cada material de tubería

2.5. Estación de Bombeo

Actualmente la red de Ayora cuenta con una estación de bombeo situada entre el depósito y la entrada al pueblo. Dicha estación abastece a todo el pueblo, y es necesaria, sobre todo, para los meses de verano cuando el consumo diario es más elevado de lo normal y se quiere asegurar el suministro de agua en todos los puntos de abastecimiento, puesto que sin ésta, sería prácticamente imposible debido al aumento considerable de la población en fechas estivales.

El intervalo de horas en las que la estación de bombeo se encuentra en funcionamiento va desde las 07:00 h de la mañana hasta las 00:00 h de la noche y lo que asegura es que a la salida de ésta se tenga una presión constante entorno a un valor de $2,6 \text{ kg/cm}^3$, que se consigue mediante el uso de un variador de frecuencia que trabaja a diferentes cargas. Por lo que la bomba se pondrá en funcionamiento cuando detecte que la presión a la salida de ésta se encuentra por debajo del valor de presión constante fijado, y dejará de trabajar cuando detecte que está por encima de esa misma presión.

Para facilitar el entendimiento de lo que es un variador de frecuencia, se define éste como un aparato electrónico que admite la variación de la velocidad rotacional del motor, interviniendo en la frecuencia de la corriente eléctrica, para permitir un ahorro energético y unas determinadas condiciones de funcionamiento. En este caso, el variador de frecuencia permite variar la velocidad rotacional del motor, afectando a la energía mecánica que la bomba entrega al fluido en forma de energía hidráulica, aumentando o disminuyendo, según su velocidad, la presión, velocidad y altura del fluido. De este modo se consigue regular la energía que la bomba entrega al agua, en función de las condiciones de demanda variables a lo largo del día y de la estación del año.



Ilustración 10: Estación de bombeo en su interior (izquierda) y exterior (derecha)

La estación de bombeo contaba únicamente con una sola bomba, pero hace unos meses (24 de abril del 2018) se instaló una segunda (modelo **SS 10215**) en paralelo, idéntica a la primera, para que, en caso de producirse una avería en alguna de ellas, no se interrumpiera el bombeo y siempre hubiera una disponible.

A continuación, se muestra la curva característica de las bombas (ambas idénticas), representada mediante una parábola decreciente H-Q y el punto de funcionamiento al que trabaja. Por ellas, se conoce que la bomba ofrece una altura de 49,72 mca para un caudal de 3600 l/min (60 l/s) con un rendimiento del 67,31%.

Duty Point						
Flow	Head	NPSHr	Shaft Power (P2)	Motor Input Power (P1)	Pump Eff %	Total Eff %
3600 l/min	49.72 m	8.07 m	36.95 kW	43.48 kW	79.22	67.31

Ilustración 11: Punto de funcionamiento de la bomba

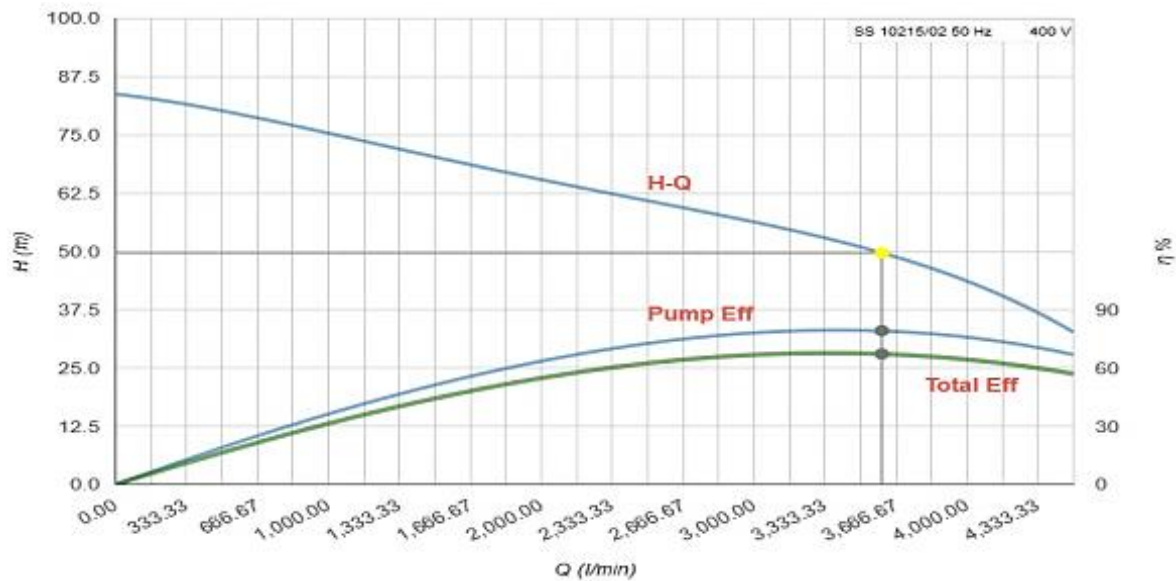


Ilustración 12: Curva de rendimiento de la bomba (Q-H)

Por otro lado se cuenta con la curva de potencia de la bomba y la curva de NPSH. En esta última, mediante el indicador del NPSH (*Net Positive Suction Head* ó *Altura Neta de Succion*) se puede conocer en que condiciones la bomba empezará a cavitarse, y esto será cuando la presión en algún punto del circuito sea menor que la presión de vapor del líquido. En este caso, la NPSH mínima requerida por la bomba para evitar la cavitación tiene un valor de 8,07 mca que tendrá que ser siempre menor que la NPSH disponible en toda la instalación.

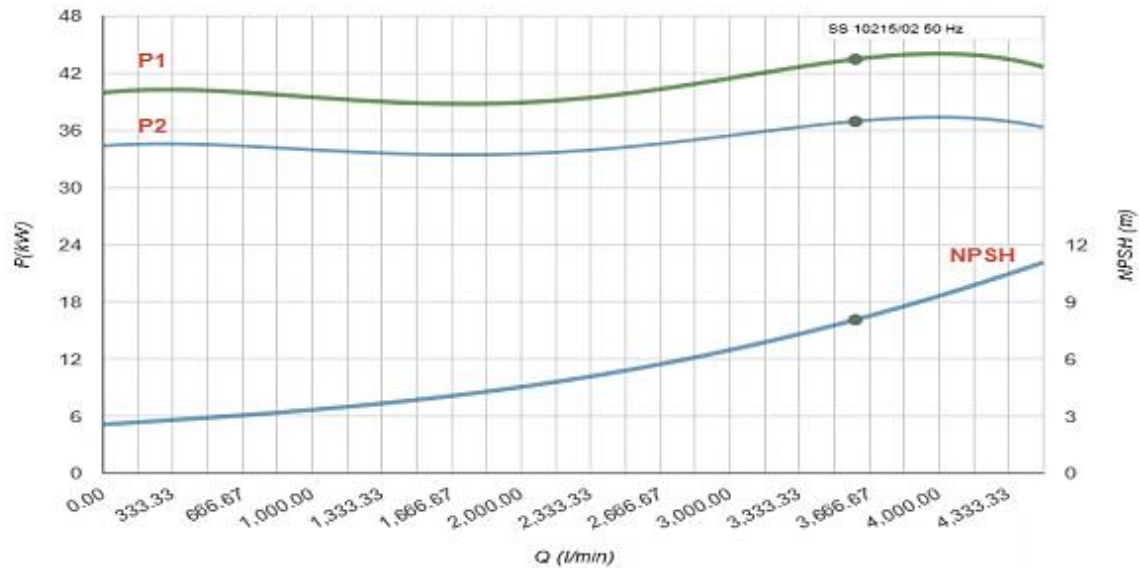


Ilustración 13: Curvas de potencia y de aspiración de la bomba (Q-NPSH)

2.6. Válvulas

La red cuenta con varias válvulas automáticas en el depósito. Podemos encontrar la VM1 y la VM2, que trabajan alternamente para llenar el depósito. También encontramos las válvulas VM3, VM4, VM11 y VM12 siempre abiertas, a la salida de éste. Todas ellas pueden localizarse en la **Ilustración 16**, donde se muestra un esquema de los elementos que componen el depósito. Por el contrario, todas las llaves de corte instaladas en el pueblo son manuales, queriéndose automatizar las nuevas válvulas de la sala de bombeo para permitir la alternancia entre la bomba 1 y 2, situadas en paralelo. Por último, cabe mencionar que únicamente se tiene una válvula reductora de presión pero que, por situarse fuera del casco urbano, no será relevante para el modelo, ya que afecta a un reducido número de usuarios diseminados.

2.7. Red de regadío

Como en muchas otras poblaciones, el consumo de agua en Ayora se divide entre el uso agrario, el de abastecimiento a la población y el industrial. Y aunque el sector industrial comparte red de abastecimiento con la red de suministro a la población por su reducido tamaño, la red que abastece al sector agrario es totalmente independiente de ésta. Y es muy importante que se recalque este hecho, ya que, aunque se está describiendo dentro del apartado de “Descripción de las instalaciones de la red”, no influirá en absoluto en nuestro modelo, por ser totalmente independiente de la red de suministro de agua potable de Ayora.

El abastecimiento del sector agrícola se lleva a cabo mediante acequias cuyo origen reside en el embalse “*Balsa Mayor*”, que recoge el agua procedente de la “*Fuente Redonda*”, nacimiento situado a pocos metros de ésta y de la cual parte la “*Acequia Madre*”, que, al llegar a la *Balsa Mayor*, diverge en pequeñas acequias que riegan todas las huertas de Ayora.



Ilustración 14: Balsa Mayor, balsa de riego



Ilustración 15: Acequias de canalización de la huerta de Ayora

2.8. Descripción del funcionamiento hidráulico de la red

Hasta ahora, y con excepción de la descripción de la red de abastecimiento agrícola, se han descrito todos los elementos que componen la red de suministro de agua potable en Ayora. No obstante, este apartado se centra en la descripción de los elementos que componen el depósito principal, explicados a partir de la siguiente Ilustración, que muestra un SCADA de control de abastecimiento de agua potable, donde se aprecian todos los elementos y parámetros que engloba el depósito. Dicho SCADA ha sido proporcionado por el Ayuntamiento de Ayora.

Como se observa, el depósito está dividido en dos vasos, con el objetivo de facilitar las tareas de mantenimiento y operar con uno o dos vasos dependiendo de si alguno se vacía para su limpieza o manutención. A partir de éstos, emergen tres tuberías, representadas en color verde y amarillo: una conduce el agua a la población, otra lleva el agua al desagüe y la última, actuando como rebosadero conduce el agua al desagüe cuando el depósito se encuentra rebosando. A su vez, ambos vasos tienen una entrada de agua, que por lo comentado anteriormente, se sabe que es la tubería que transporta el agua procedente de “El Minado” representada en color violeta. Por otro lado, hay que mencionar que aunque en el esquema aparecen dos bombas en paralelo, esas bombas no están realmente ahí, sino que, en un primer momento, la estación de bombeo descrita anteriormente, se iba a ubicar dentro del depósito, pero finalmente se decidió colocar a la entrada del pueblo, y por tanto no se les dará importancia en este apartado.

Además de todo esto, el depósito dispone de varias válvulas como las comentadas en el apartado 2.6 y de algunos sistemas de medición en forma de contadores de agua, en los que hay que hacer especial énfasis debido a que las presiones registradas en ellos no son correctas.

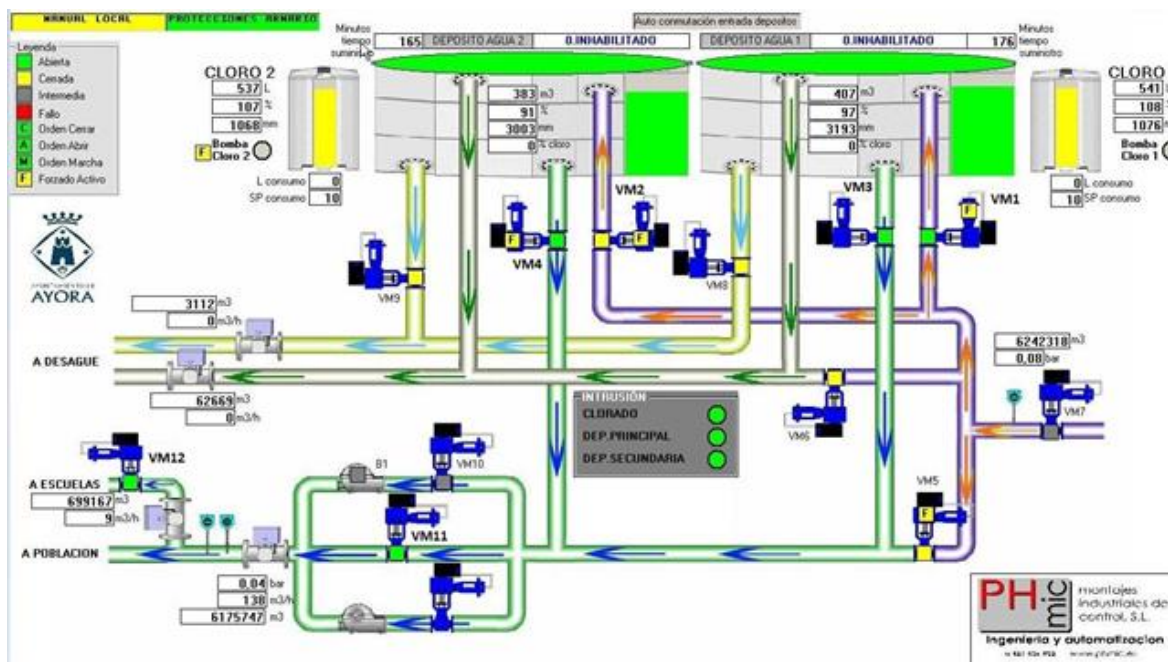


Ilustración 16: SCADA de control del abastecimiento

3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

3.1. Trazado de la red

El trazado de la red es el paso más importante del proyecto, ya que a partir de éste se desarrollará la totalidad del proyecto: se simularán escenarios específicos para encontrar deficiencias en la red y se propondrán mejoras en función de los resultados obtenidos en las simulaciones.

El programa utilizado para la construcción de dicho modelo de simulación ha sido *Epanet 2.0*, el cual, a partir de un punto de partida y mediante el uso de otras herramientas de conversión, ha permitido crear el modelo perseguido y listo para ser simulado. Ha sido necesario el uso de este programa, ya que el programa de AutoCAD solo permite el modelado de la estructura de la red.

3.1.1. Punto de partida

Como se comentaba anteriormente, la gestión de suministro de agua potable en Ayora se lleva a cabo mediante el Ayuntamiento. Quien proporcionó el plano en AutoCAD de la red hidráulica de Ayora que sería el punto de partida a partir del cual se empezó a desarrollar todo el modelo hidráulico de la red. El plano de AutoCAD, está constituido mediante capas que recogen los diferentes diámetros y materiales con los que se han construido las tuberías, y que, en la **Ilustración 17**, pueden distinguirse mediante los diferentes trazados de distintos colores.

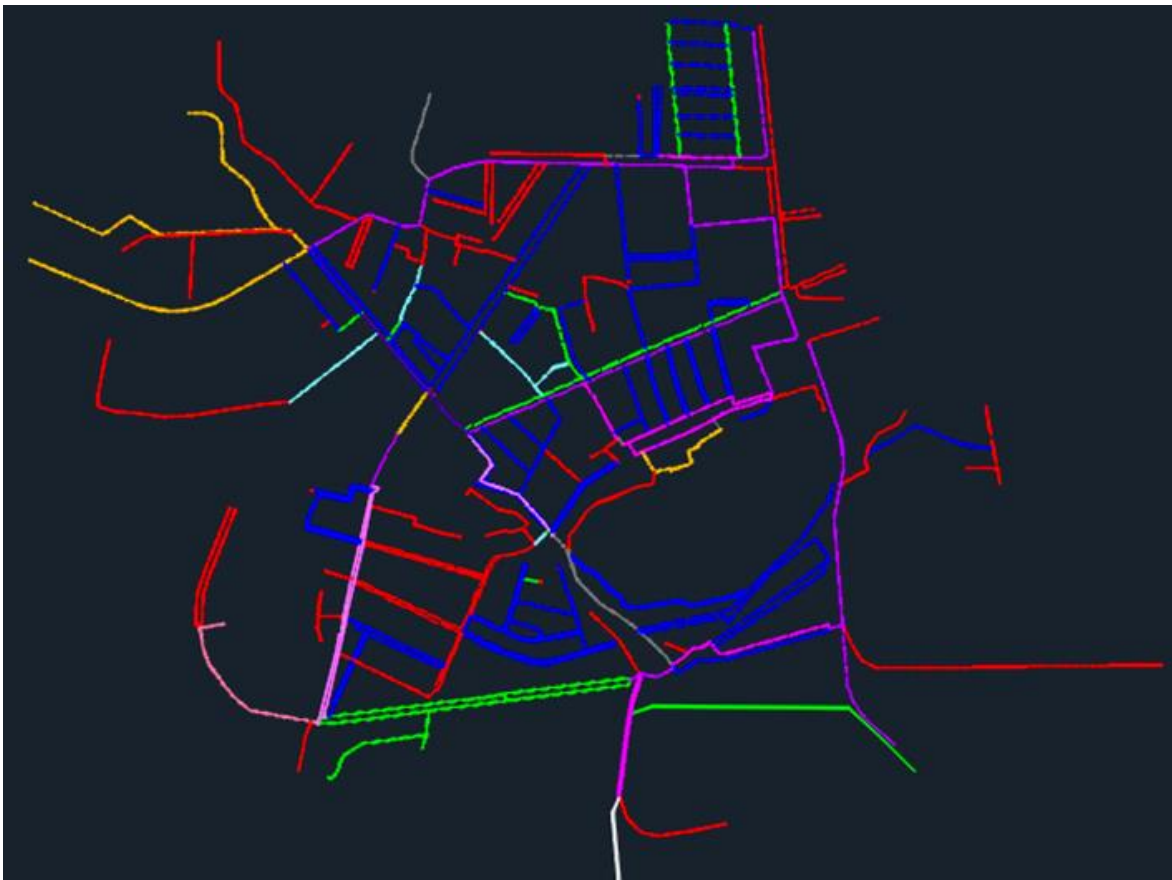


Ilustración 17: Plano de AutoCAD de la red hidráulica

Por tanto, el primer paso a realizar con el AutoCAD fue asegurar que todas las tuberías representadas como líneas, estaban bien conectadas entre ellas; y como siempre ocurre con los planos de AutoCAD, éste no fue el caso, ya que estos planos recogen una representación de la red y tienen que ser trabajados antes de poder exportarlos al programa de simulación. En consecuencia, se crea una nueva capa llamada “*TODO*” que engloba todas las capas y sus correspondientes tuberías, con el objetivo de ir trazando con poli línea una red superpuesta a la original de forma que todas las tuberías quedaran enlazadas y formando una única red. Esto fue necesario para que al pasarlo a EPANET, el modelo no presentara errores de conexión.

En la **Ilustración 18** se aprecia una línea blanca y gruesa superpuesta al resto de tuberías de la red. Se trata de la nueva capa creada que engloba en una única la totalidad de la red, preparada para ser exportada al programa que dotara al modelo de un carácter hidráulico y permitirá conocer el comportamiento de la misma bajo determinados escenarios de simulación.

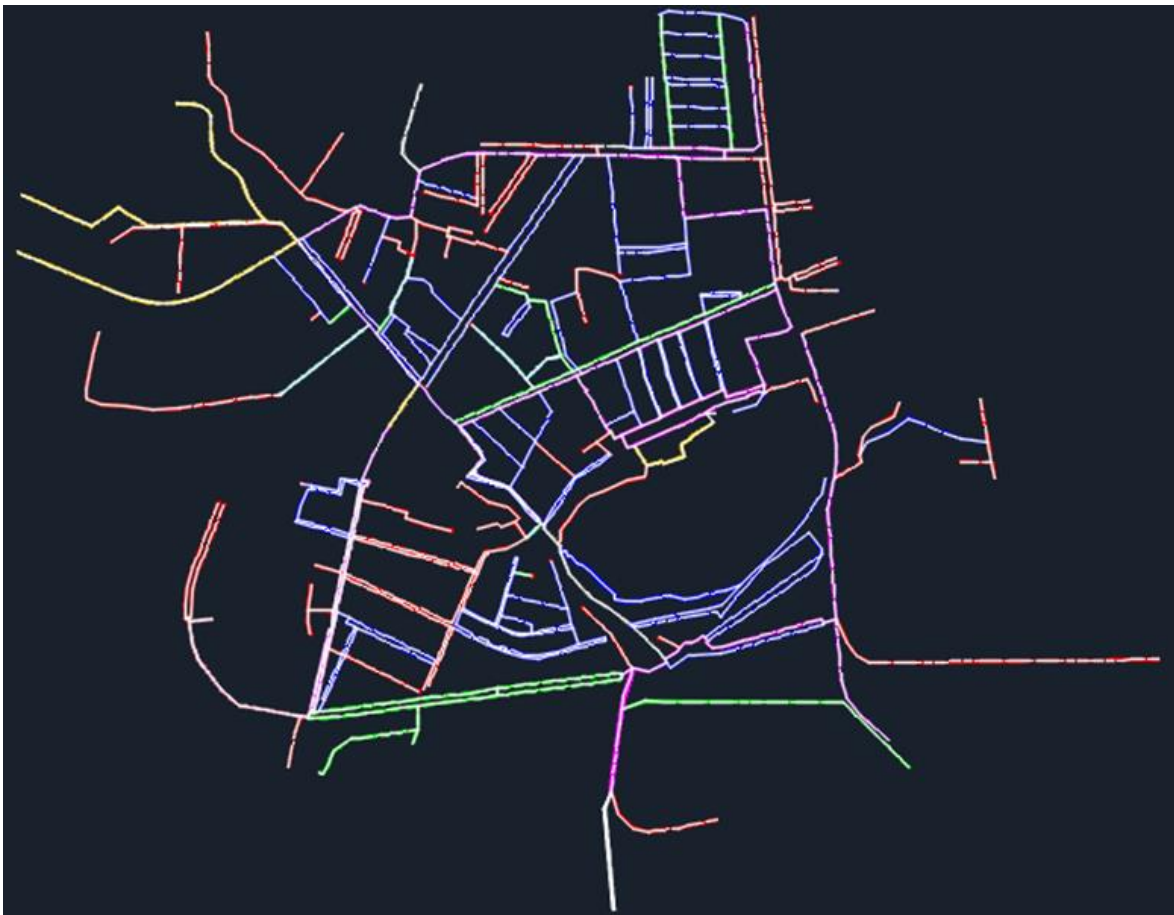


Ilustración 18: Capa "TODO" superpuesta al modelo

3.1.2. Exportación del modelo en AutoCAD a EPANET

Como se comentaba con anterioridad, se emplea *EPANET 2.0*, ya que admite el análisis de sistemas de distribución de agua potable. Dicho programa precisa de un programa intermedio posterior al arreglo del fichero de AutoCAD, que permita la conversión de éste en uno legible por el programa EPANET, y es el tema que se aborda en este punto.

Para dicha conversión, se utiliza *EpaCAD*, un programa gratuito desarrollado por el Instituto Tecnológico del Agua (ITA) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), que permite transformar de manera muy sencilla cualquier fichero de *AutoCAD* que contenga una red, en un fichero descifrable por *EPANET*. En otras palabras, permite la transformación del formato .DXF a .INP.

Por lo tanto, el primer paso fue guardar el archivo de *AutoCAD* con el formato .DXF para poder abrirlo con el programa *EpaCAD*, en el cuál, una vez iniciado, se debió seleccionar de entre todas las capas disponibles en el CAD, aquella que contuviera el conjunto de tuberías del modelo que se quisiera simular. En este caso, como muestra la **Ilustración 19**, se eligió la capa “*TODO*” por incluir la red en su conjunto, y se presionó sobre la opción de *Vertex Mode*, por asociar a cada vértice de la poli línea un nudo diferente y no únicamente al principio y al final de ésta, como haría la opción de *Nodes Mode*.

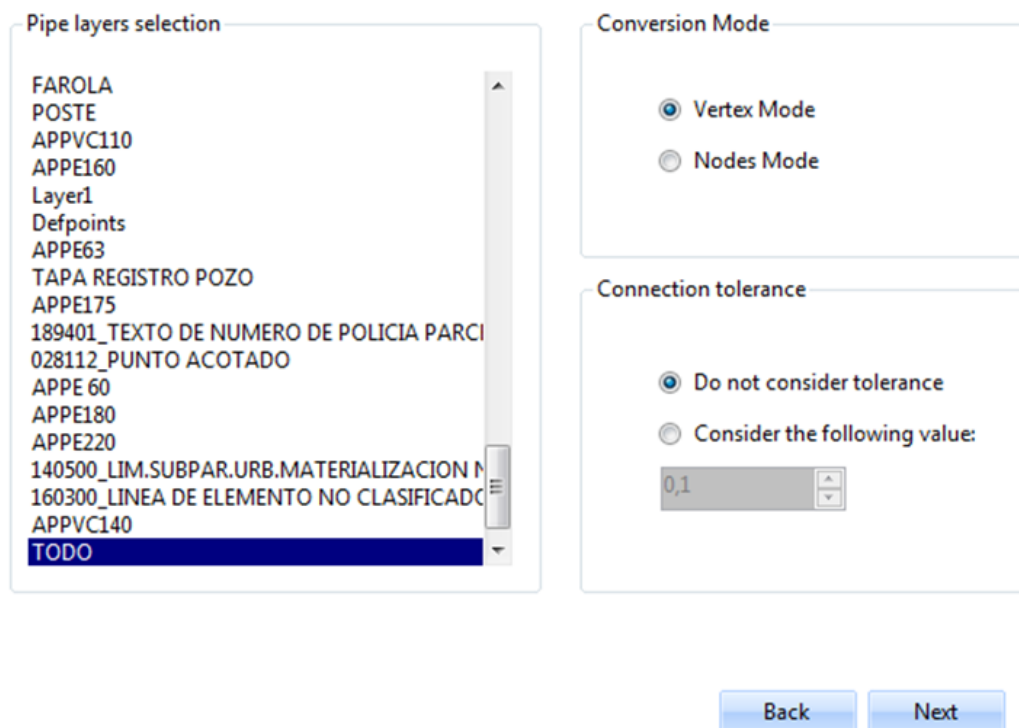


Ilustración 19: Programa EpaCAD

Una vez realizada la selección, basta con clicar sobre “*Next*” para tener la transformación del fichero a .INP, ya preparado para ser abierto con el programa *EPANET*. Lo que se consigue con *EpaCAD* es una interpretación matemática mediante la lectura de las distintas líneas y puntos del modelo, que posteriormente quedan definidos en *EPANET* como tuberías y nudos.

El resultado final de la conversión del plano de AutoCAD a EPANET puede verse en la **Ilustración 20**, donde se aprecia como el modelo hidráulico compuesto por 308 nudos y 377 tuberías tienen idéntica estructura a la que presentaba el modelo de AutoCAD.

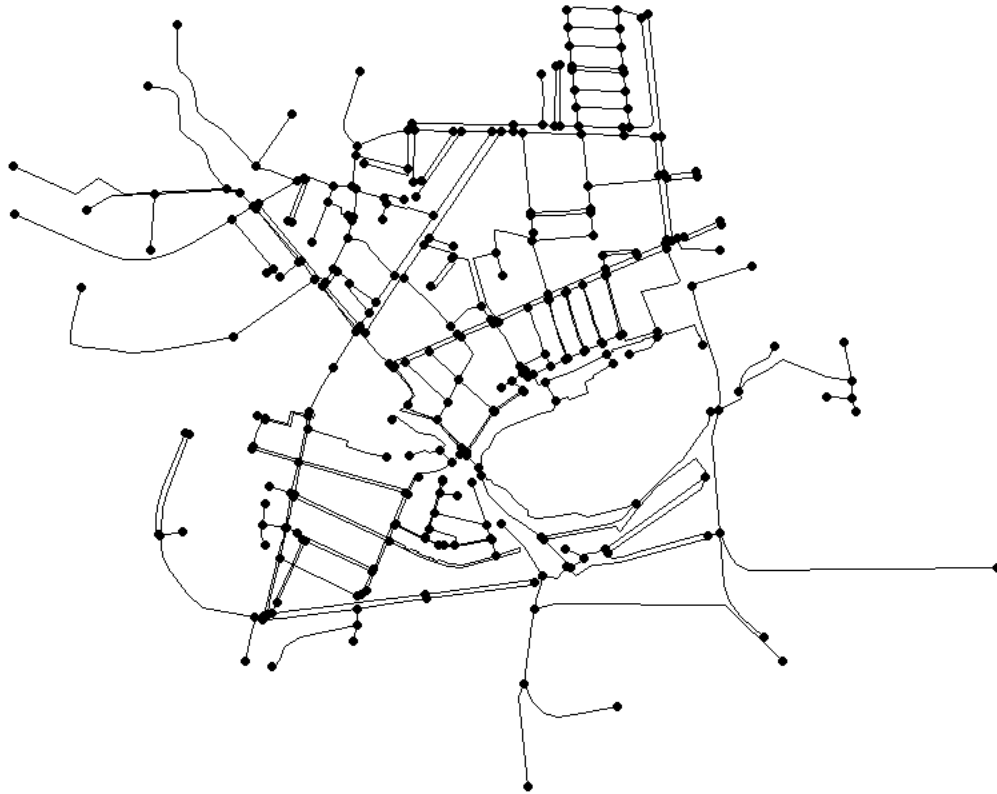


Ilustración 20: Modelo de EPANET

3.1.3. Conectividad de la red

Una vez exportado el modelo a *EPANET*, el primer paso consiste en verificar que todas las tuberías permanecen conectadas en los diferentes nudos. Debido a que, si se diera el caso y hubiera partes desconectadas en la red, no habría circulación de caudal y el programa lo comunicaría en forma de error. En caso de que algún nudo estuviera desconectado, se puede dar solución rápidamente con *EPANET* mediante una herramienta sencilla del programa que permite establecer el nudo origen y el nudo destino para cada tubería al clicar encima de ésta.

3.2. Definición de los elementos del modelo

El paso consecutivo a la exportación del modelo y la verificación de las conexiones en éste, es la definición de todos los elementos que componen el modelo hidráulico. Y es dicha caracterización la que se ve desarrollada en los siguientes apartados organizados siguiendo el orden cronológico llevado a cabo durante el proyecto.

3.2.1. Nudos de la red

Los nudos son las bifurcaciones de varias tuberías en un mismo punto. Este modelo contiene un total de 308 nudos que representan los puntos de consumo, distribuidos como muestra la **Ilustración 20**. En *EPANET*, los nudos están caracterizados por su cota, pero también el programa aporta su altura total, siendo ésta indicativo de la energía disponible en dicho elemento; según la ecuación de Bernoulli (1), suma de la velocidad, la cota y la presión.

$$H = \frac{v^2}{2 \cdot g} + z + \frac{P}{\rho \cdot g} \quad [mca] \quad (1)$$

Atendiendo al orden de magnitud de los tres términos, resulta apropiado despreciar el término de la velocidad por tener un valor mucho menor al de los otros dos, quedando la ecuación anterior como se muestra en la ecuación (2), que refleja la importancia de la cota en el cálculo de la altura total de los nudos y la relación inversa entre presión y cota, pues, a cuanto más altura (cota) se sitúe el nudo que se quiere abastecer, menor será la presión disponible en éste.

$$H = z + \frac{P}{\rho \cdot g} \quad [mca] \quad (2)$$

Cota

La cota es la elevación geográfica a la que se encuentra un punto. Puesto que no se dispone de ningún mapa topográfico, se recurrió a comprobar las elevaciones mediante el programa Google Earth, que muestra en su esquina inferior derecha, la elevación en el plano sobre la que se posiciona el puntero.



Ilustración 21: Programa Google Earth

Tras la introducción de las diferentes cotas en EPANET, el modelo queda como se muestra en el **Mapa 1**, donde se pueden diferenciar claramente 3 zonas en función de su altura geométrica: A la izquierda del mapa, se observa que las cotas son más elevadas. Esta zona se corresponde con el barrio de *Ciudad Jardín*, el depósito y uno de los barrios más elevados de la población, *La Solana*. A la derecha del pueblo, se observa una disminución de cotas donde se ubican las calles principales, el centro, el barrio de *Chichiles* y el barrio de *Los Corrales*, a excepción de una zona central situada a una mayor altura y que representa “El Barrio de los Altos”, próximo al castillo. Por último, se aprecian subidas en los extremos de la población, puesto que la periferia de Ayora está compuesta por montes y sierras de considerables alturas.



Mapa 1: Mapa de contorno de distribución de cotas en metros

Demanda

“La demanda de agua es el volumen, en cantidad y calidad, que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo.” (RD 907/2007). Los consumos de la población han sido proporcionados por el Ayuntamiento de Ayora, quien ha facilitado a partir de la lectura de los contadores situados a la salida del depósito principal, el volumen inyectado durante un mismo día para un año entero (Tabla 2). Ha sido a partir de éste, por el que se ha podido calcular un valor medio y constante de demanda, que, en una primera aproximación, se repartirá de manera equitativa entre los 308 nudos que se tienen en el modelo obteniendo lo que se llama demanda base.

$$Demanda\ Base = \frac{Caudal\ medio\ inyectado\ a\ la\ red}{n^{\circ}\ de\ nudos} \quad \left[\frac{L}{s} \right] \quad (3)$$

Obviamente, la demanda no es un valor constante a lo largo del día, puesto que se ve afectada por la hora del día y la estación del año en la que se encuentre. Y es por eso que, posteriormente, la demanda base se verá multiplicada por unos factores para tender a situaciones de demanda punta y valle diferentes periodos.

FECHA	LECTURA (m ³)
8 de Enero	3.040
8 de Febrero	2.985
8 de Marzo	2.715
8 de Abril	2.742
8 de Mayo	2.861
8 de Junio	2.856
8 de Julio	3.118
8 de Agosto	3.384
8 de Septiembre	3.029
8 de Octubre	2.989
8 de Noviembre	3.102
8 de Diciembre	3.115

Tabla 2: Lectura del contador del depósito principal de un mismo día durante un año (2018)

A partir de la lectura de los contadores del depósito, se calcula que el valor medio de volumen diario inyectado en la red de 2.994,66 m³, lo que implica un caudal medio inyectado de 34,66 l/s. Respecto a la carga de cada uno de los nudos, se ha implicado el procedimiento de asignación repartiendo dicha demanda de forma homogénea a todos los nudos de la red. Este procedimiento, aun siendo una simplificación, se ha considerado conveniente ya que se trata de una primera iteración a la hora de realizar la carga hidráulica, y no se disponía de datos particulares sobre el consumo de cada vivienda. Al mismo tiempo, todas las viviendas del municipio son muy similares en cuanto a superficie ocupada en planta, y no destaca ninguna zona en la que haya una densidad de población muy dispar.

Con esta simplificación, y tal como se mostrará en el apartado dedicado a la carga hidráulica del modelo, se asigna a cada nudo del modelo una demanda base de 0,11 l/s tal como se aprecia en la siguiente tabla.

Volumen medio inyectado por día (m³)	2.994,7
Caudal medio inyectado (L/s)	34,66
Número de nudos	308
Demanda base por nudo	0,11

Tabla 3: Cálculo de la demanda base

3.2.2. Tuberías

El modelo cuenta con 378 tuberías representadas mediante líneas distribuidas como se muestra en el mismo. Tienen una estructura mallada, permitiendo una mayor facilidad durante las tareas de mantenimiento y asegurando la correcta distribución a todos los puntos de consumo de la red.

En el apartado 2.2 de “*Descripción de las instalaciones*”, se muestra la **Tabla 1** que recoge los diferentes tipos de materiales que forman la red, así como los diámetros que presentan cada uno. No obstante, se debe destacar que la tabla anterior hace referencia al diámetro nominal de las tuberías presentes en el modelo, mientras que para la simulación en EPANET se precisa de los diámetros interiores de las tuberías. Y es por eso, por lo que basándose en los catálogos de tuberías a presión fabricadas según lo establecido por las Normas UNE-EN 12201 de “*Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua y saneamiento con presión*” se ha podido obtener los espesores para cada material y diámetro, y por consiguiente, el diámetro interior de las tuberías que componen el modelo en EPANET y que pueden observarse en la **Tabla 4**, donde únicamente se muestran los materiales Polietileno (PE) y PVC, puesto que el diámetro nominal de las tuberías de Fibrocemento (FC) coincide con el diámetro interior.

Material	DN (mm)	Espesor (mm)	DInt (mm)
PE	63	3,8	55,4
PE	90	5,4	79,2
PE	110	6,6	96,8
PE	160	9,5	141
PE	180	10,7	158,6
PE	225	13,4	198,2
PVC	63	3	57
PVC	90	4,3	81,4
PVC	110	4,2	101,6
PVC	140	5,4	129,2
PVC	160	6,2	147,6
PVC	200	7,7	184,6

Tabla 4: Diámetros interiores (mm)

Una vez calculados los diámetros interiores de las tuberías que componen el modelo se introduce su valor en EPANET. Pero antes de todo, es importante mostrar cómo analiza el programa las tuberías y cuáles son los parámetros que afectan a la pérdida de carga hidráulica como consecuencia de la fricción que genera el agua tras su paso por la tubería. Esto es mediante la ecuación empírica de Darcy-Weisbach (Apuntes de mecánica de fluidos, 2017):

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad [mca] \quad (4)$$

Siendo:

hf: pérdida de carga debida a la fricción [mcl (metros de columna de líquido)]

f: factor de fricción de Darcy [Adimensional]

L: longitud de tubería [m]

D: diámetro de tubería [m]

V: velocidad media del fluido [m/s]

g: aceleración de la gravedad [9,81 m/s²]

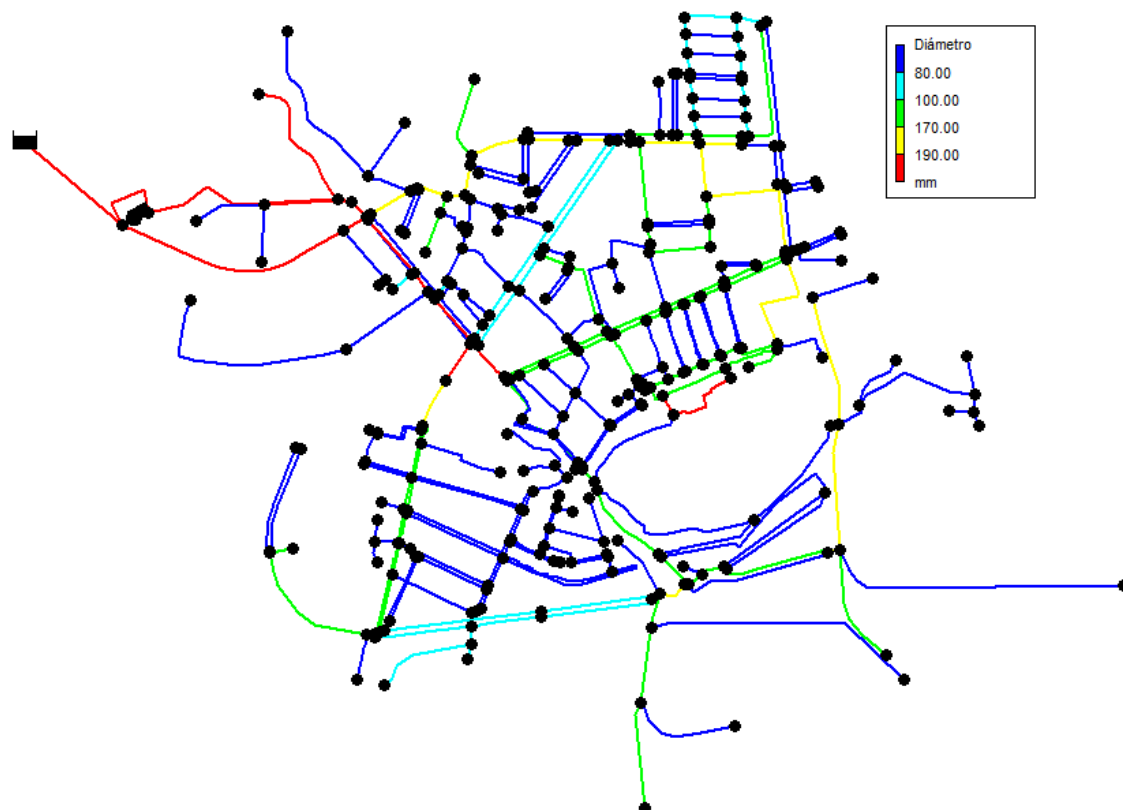
En primer lugar, analizando rápidamente la ecuación se aprecia la gran importancia que tiene el diámetro de la tubería a en las pérdidas de carga o presión. Aumentando éstas con diámetros de tubería más pequeños y disminuyendo con diámetros de un tamaño mayor. Por lo que el trabajo estará fuertemente influenciado por este parámetro, ya que aunque utilizar diámetros de gran tamaño reduce notablemente las pérdidas hidráulicas, supone un elevado coste para la red.

A continuación, se tiene el factor de fricción, un valor constante y adimensional que depende mediante el número de Reynolds del régimen de flujo y del material de la tubería. En el modelo de EPANET se ha trabajado con un valor usual de 0,1 mm.

Por otro lado, se encuentran el caudal y la velocidad, dos parámetros que están relacionados entre sí por la ecuación (4). Las altas velocidades favorecen las pérdidas de presión, por lo que será conveniente trabajar con velocidades inferiores a 2,5 m/s, y superiores a 0,5 m/s, para evitar altos tiempos de permanencia del agua en la red y la precipitación de compuestos que puedan empeorar su calidad.

$$Q = A \cdot v \quad [m^3/s] \quad (4)$$

Por último, la longitud de la tubería también es influyente en la pérdida de carga, a pesar de no tener el mismo peso que el caudal, la velocidad y el diámetro. En EPANET no fue necesario establecer las longitudes para cada tubería ya que éstas estaban previamente asignadas en el plano de CAD, y tras la conversión de éste a EPANET, las longitudes se siguen manteniendo automáticamente. La distribución de los diámetros de las tuberías se muestra en la siguiente imagen.



Mapa 2: Diámetros de tuberías en mm

3.2.3. Depósitos

Para encontrar la ubicación del depósito en el mapa para posteriormente situarlo en EPANET, se recurrió a la referencia catastral aportada por el Ayuntamiento de Ayora. “La referencia catastral es el identificador oficial y obligatorio de los bienes inmuebles. Consiste en un código alfanumérico que es asignado por el Catastro de manera que todo inmueble debe tener una única referencia catastral que permita situarlo inequívocamente en la cartografía catastral.” (Catastro, 2018). Por lo que, entrando en la sede del catastro de la página oficial del gobierno de España e introduciendo el código del bien que se quiere localizar, la página te muestra en el mapa la ubicación exacta del mismo, en su parcela correspondiente. De la misma forma que se muestra en la siguiente imagen.

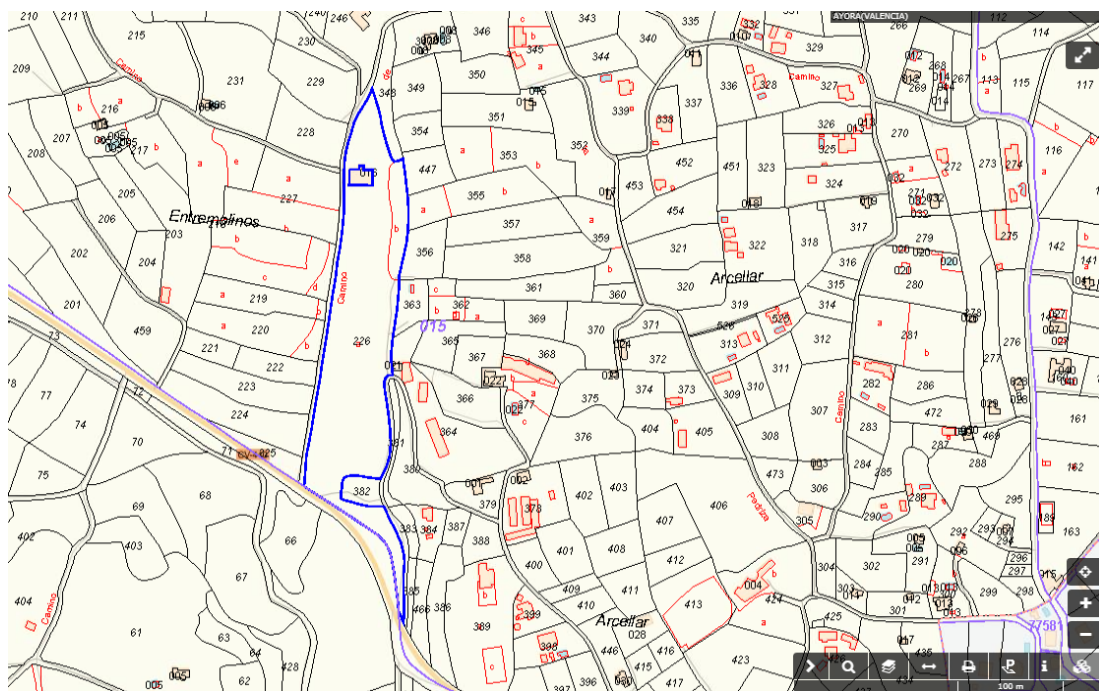


Ilustración 22: Referencia catastral del depósito de Ayora

Una vez localizado el depósito, se procede a la ubicación y a la definición del mismo en el modelo de EPANET, donde se tienen dos formas diferentes de representarlo. O bien mediante un embalse, o bien mediante un depósito. Siendo el primero la forma más sencilla de trabajar en EPANET, por precisar únicamente de la cota de lámina de agua para estar bien definido (nivel geográfico). Por el contrario, el depósito ofrece una definición más detallada ya que requiere del diámetro, la cota de solera, el nivel de agua inicial, el máximo y el mínimo. Con el objetivo de simplificar, se ha optado por elegir el primer procedimiento, situando el depósito que abastece la red de Ayora a una cota de 640 m.

3.2.4. Estación de bombeo

El último elemento de la red que precisó ser definido es la estación de bombeo. Para definir una bomba en EPANET únicamente se debe introducir al programa la curva característica de la bomba que queremos representar. Esta curva consiste en una parábola decreciente con ejes caudal-altura que representa el comportamiento de la bomba. Para representarla hay tres métodos distintos, pero el método que se eligió, en un primer momento, por ser el más rápido y sencillo fue el de introducir el punto de diseño de la bomba. Una vez introducido dicho punto, lo que hace EPANET es completar la información de la parábola que define la curva característica a partir de dos puntos adicionales: Uno correspondiente a caudal 0, que sería la altura máxima que da la bomba, y que EPANET calcula como un 1,33% de la altura nominal de diseño. Y un tercer punto que representa el caudal máximo que entrega la bomba a altura 0, conseguido a partir de multiplicar el caudal de diseño por 2. En este caso, el punto introducido fue el punto de trabajo de $H=50$ m y $Q=3600$ L/min, indicado en los catálogos descritos en el apartado 2.3 donde se ha definido la estación de bombeo de la población. De este modo, se obtiene en EPANET una curva característica regida por la ecuación(5):

$$H = 66,67 - 0,00463 \cdot Q^2 \quad [mca] \quad (5)$$

A continuación, las dos siguientes imágenes muestran el proceso descrito y llevado a cabo para la definición del sistema de bombeo en EPANET.

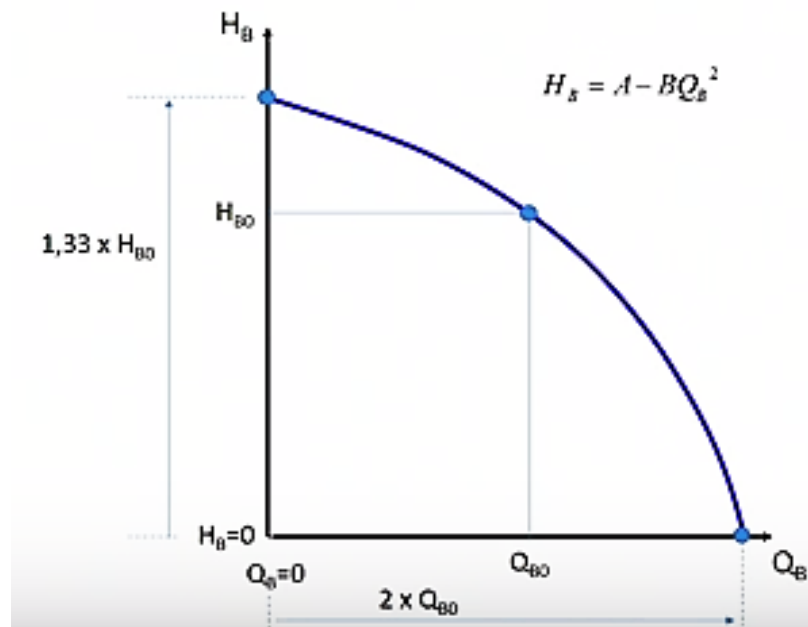


Ilustración 23: Ccurva característica a partir del punto de diseño (H_{BO} , Q_{BO})

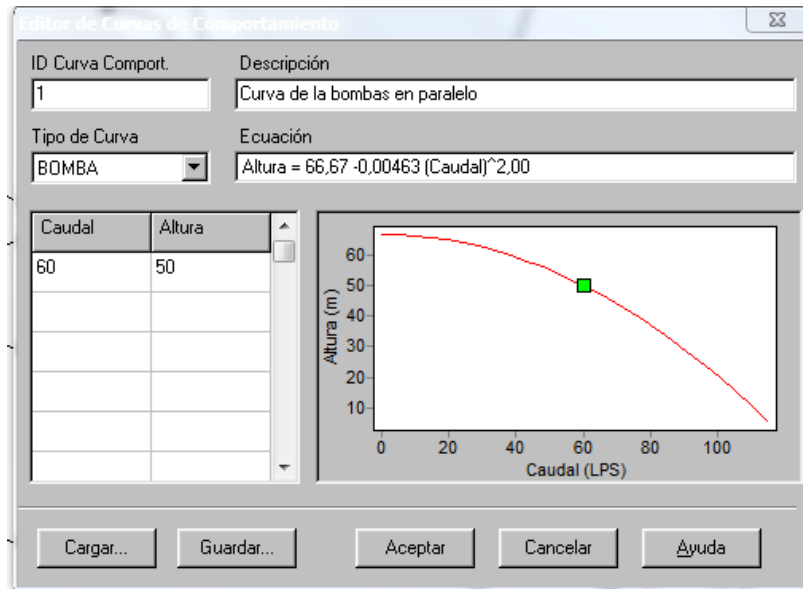


Ilustración 24: Caracterización de una bomba en EPANET mediante el punto de funcionamiento

Tras visualizar la curva que el programa había creado y compararla con la que se tenía en el catálogo, se optó por elegir el método de inserción de varios puntos de la curva para una definición de mayor precisión. El resultado se muestra en la figura 25.



Ilustración 25: Curva de la bomba ajustada y definida mediante varios puntos

Una vez definida la estación de bombeo, se termina con el proceso de construcción y definición de todos los elementos del modelo, obteniendo el siguiente plano de EPANET donde se aprecia la distribución de la red con todos sus nudos y tuberías, el depósito y la estación de bombeo, representada únicamente mediante una bomba.



Ilustración 26: Modelo final de EPANET

4. CARGA HIDRÁULICA DEL MODELO

4.1. Introducción

Posterior a la definición de todos los elementos que componen la red, se procede con la dotación de demanda de los nudos que integran el modelo de una forma más detallada, con el objetivo de representar un comportamiento de demanda mucho más real al previamente definido.

Anteriormente se vio el procedimiento llevado a cabo para el cálculo de la demanda base, *ecuación (3)* y se mencionó el concepto de curva de demanda, que permitía dotar al valor constante obtenido en la demanda base de un carácter variable en función de la estación del año y de la hora del día, permitiendo así una representación de la demanda más asemejada a la que se tiene en realidad. A la hora de trabajar en EPANET, se simulará una demanda variable a lo largo del día, reflejado por la demanda base, multiplicada por los coeficientes obtenidos en este apartado de la curva de demanda, como se muestra en la *ecuación (5)*:

$$\text{Demanda actual} = \text{Demanda base} \cdot \text{Coeficientes curva de demanda (CDM}(t)) \quad (5)$$

La curva de demanda o también llamada, curva de modulación, refleja la variación del consumo durante un periodo de tiempo alrededor de un valor medio calculado.

En otras palabras, dicha curva se obtiene a partir de los coeficientes calculados mediante el cociente entre el caudal medio a cada hora del día $Q(t)$, y el caudal medio calculado para ese mismo día Q_{med} :

$$CDM(t) = \frac{Q(t)}{Q_{med}} \quad [Adimensional] \quad (6)$$

Siendo $CDM > 1$ cuando la demanda es mayor a la media y $CDM < 1$ cuando se tiene un valor menor a la media. Dichos coeficientes reducirán o aumentarán la demanda del nudo en función de la hora del día. A continuación, se muestra la información de partida y el procedimiento empleado para el cálculo de los valores $CDM(t)$.

4.2. Obtención de la curva de demanda o modulación

Para el cálculo de la curva de demanda, se establecieron dos escenarios distintos que permitieran contrastar las demandas durante las estaciones de verano e invierno. Para el escenario de verano, se eligió la demanda durante el mes de agosto, por ser con diferencia el mes con máxima demanda. Mientras que marzo fue el mes elegido para representar el escenario de invierno. Los datos de demanda de estos dos meses difieren en su máximo y mínimo, ya que, el caudal máximo que recoge el mes de marzo coincide con el mínimo caudal del mes de agosto, ofreciendo el contraste buscado para la simulación de ambos escenarios. Los datos sobre el caudal horario inyectado en la red fueron aportados por el Ayuntamiento de Ayora a partir de un contador situado a la salida del depósito y quedan reflejados en las **Ilustraciones 27 y 28** que muestran en un gráfico el caudal inyectado en m^3/h durante todas las horas de un día de agosto y de marzo.

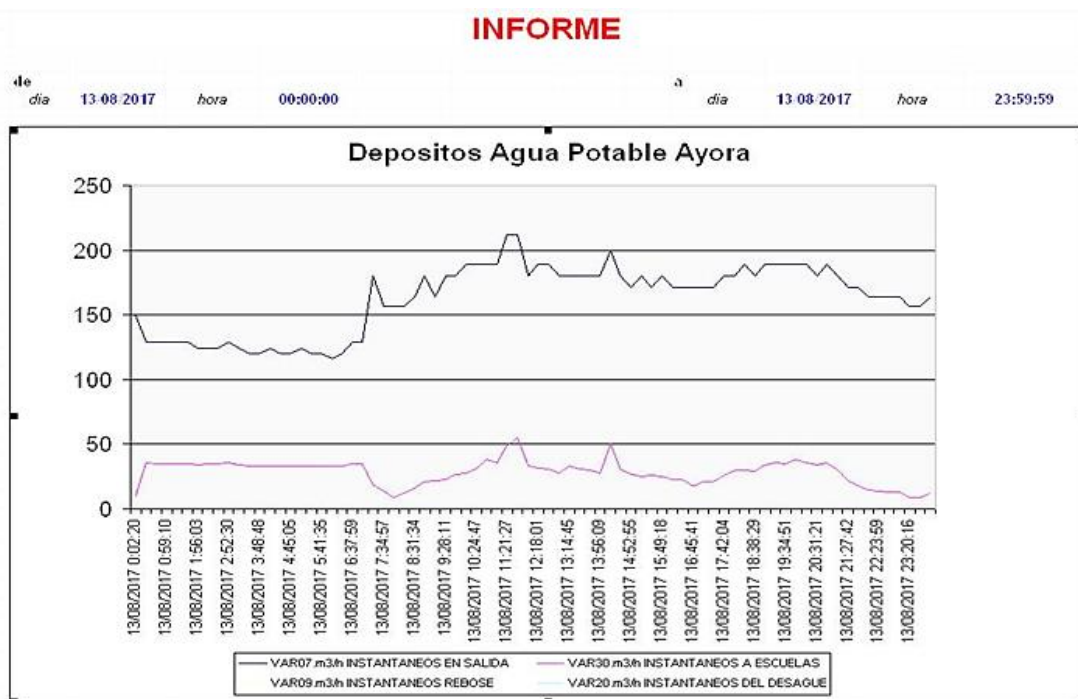


Ilustración 27: Caudal inyectado en m^3/h durante un día del mes de agosto

INFORME

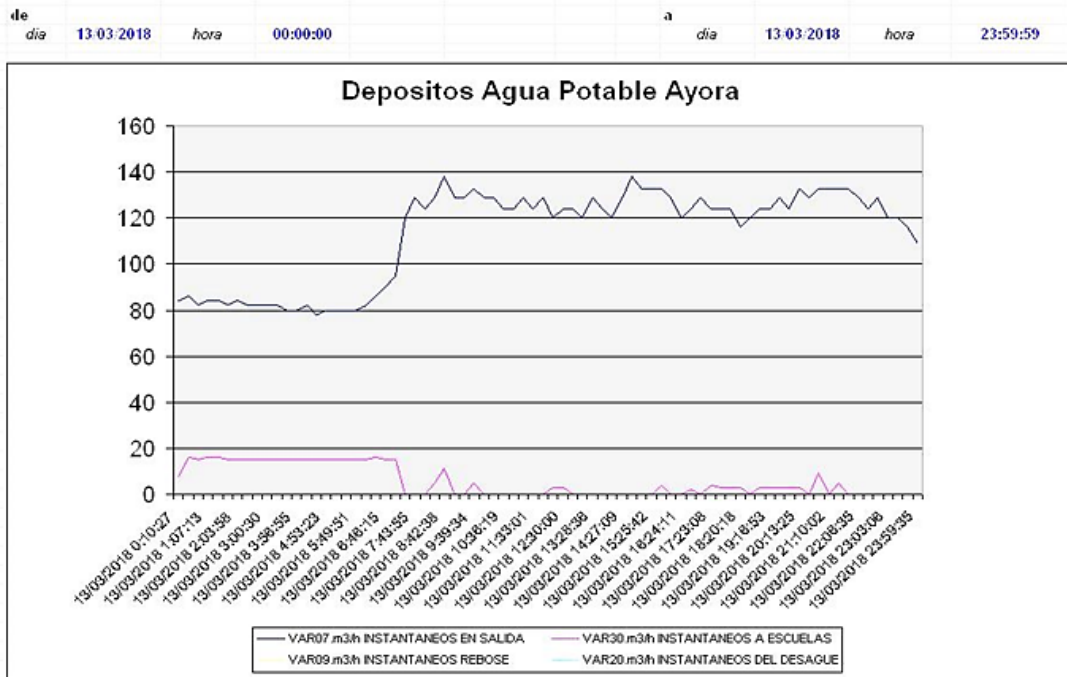


Ilustración 28: Caudal inyectado en m³/h durante un día del mes de marzo

A partir de los datos obtenidos de la variación de la demanda a lo largo de un día y conocido el caudal medio a la salida del depósito durante esos mismos días, se proceder al cálculo de los coeficientes de modulación siguiendo la Ec. 6. Cabe destacar que el caudal medio de los dos días considerados (Tabla 5) difiere ligeramente de los caudales medios mensuales de los meses de verano e invierno (Tabla 6).; esta diferencia es más significativa en verano (mayores movimientos de población) y menor en invierno (la población está más asentada).

	Caudal medio verano	Caudal medio invierno
[m³/h]	162,08	112,96
[L/s]	45,02	31,38

Tabla 5: Caudales medios de un día de verano e invierno

	Verano	Invierno
Caudal medio [m³/h]	141,5	113,1
Caudal medio [L/s]	39,17	31,4

Tabla 6: Caudales medios considerando un mes de verano e invierno

En la **tabla 7** se han calculado los coeficientes de demanda a partir del cociente entre el caudal inyectado a la red en las diferentes horas, y el caudal medio obtenido para esos dos días.

Como puede observarse en la siguiente tabla, se aprecia como durante la noche se tienen coeficientes menores que la unidad, que representan las horas en las que el consumo es mínimo. Mientras que, durante las horas diurnas, horas llano y punta, se tienen coeficientes mayores o iguales que la unidad. Siendo las horas punta aquéllas con un mayor coeficiente del día y, por tanto, un mayor consumo. Por otro lado, se observa que durante la estación de verano el consumo es más elevado que durante el invierno, algo bastante lógico debido a que el incremento de temperaturas y el crecimiento temporal de la población derivan en un incremento en el consumo del agua. Esta tabla muestra los caudales inyectados a la red, en condiciones normales a lo largo de un periodo de 24 h y permitirá hacerse una primera idea de cuáles serán las condiciones más desfavorables de la red, en las que se tengan demandas bajas con presiones muy elevadas que puedan originar roturas en algunos puntos de la red, y demandas altas asociadas a presiones más bajas.

Escenario		Invierno		Verano		
Caudal medio		31,38 (l/s) 112,96 (m ³)		45,02 (l/s) 162,08 (m ³)		
Periodo	Coefficientes de invierno	Coefficientes de verano	Q _{invierno} (t) [l/s]	Q _{invierno} (t) [m ³]	Q _{verano} (t) [l/s]	Q _{verano} (t) [m ³]
1	0,73	0,80	22,78	82	36,11	130
2	0,73	0,77	22,78	82	34,74	125
3	0,73	0,80	22,78	82	36,11	130
4	0,71	0,74	22,21	80	33,33	120
5	0,71	0,74	22,21	80	33,33	120
6	0,71	0,74	22,21	80	33,33	120
7	0,73	0,80	22,78	82	36,11	130
8	0,83	0,99	26,11	94	44,46	160
9	1,15	1,05	36,10	130	47,24	170
10	1,23	1,05	38,62	139	47,24	170
11	1,17	1,17	36,67	132	52,80	190
12	1,09	1,36	34,15	123	61,11	220
13	1,15	1,08	36,10	130	48,61	175
14	1,09	1,08	34,15	123	48,61	175
15	1,09	1,05	33,34	123	47,24	170
16	1,06	1,08	38,62	120	48,61	175
17	1,23	1,05	37,23	139	47,24	170
18	1,19	1,05	36,10	134	47,24	170
19	1,15	1,11	32,77	130	50,02	180
20	1,04	1,11	34,44	118	50,02	180
21	1,10	1,11	36,67	124	50,02	180
22	1,17	1,17	36,67	132	52,80	190
23	1,17	1,08	36,67	132	48,61	175
24	1,06	1,02	33,34	120	45,83	165

Tabla 7: Cálculo de los coeficientes de modulación

En las **Ilustraciones 29 y 30** se observan las curvas de modulación introducidas en EPANET para los valores calculados anteriormente para los meses de invierno y verano, donde se aprecia el valor de los coeficientes para un periodo de 24h de simulación.

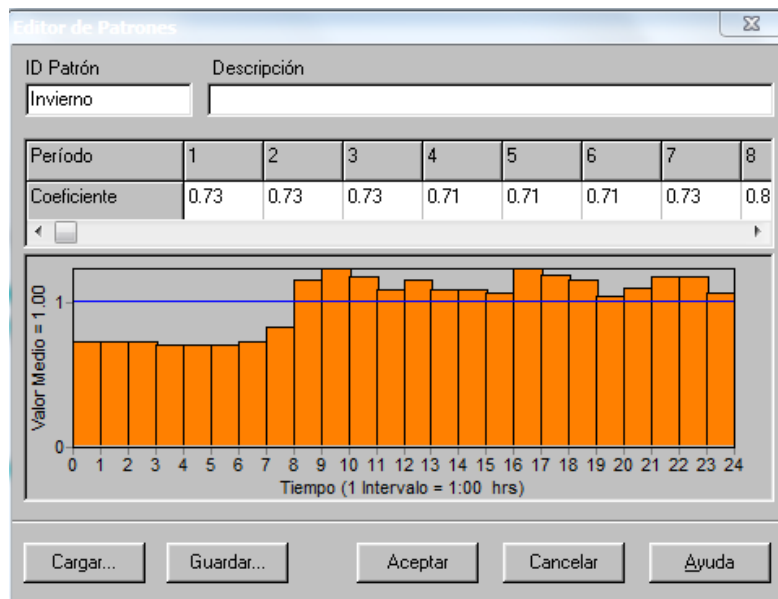


Ilustración 29: Curva de modulación de invierno introducida a EPANET

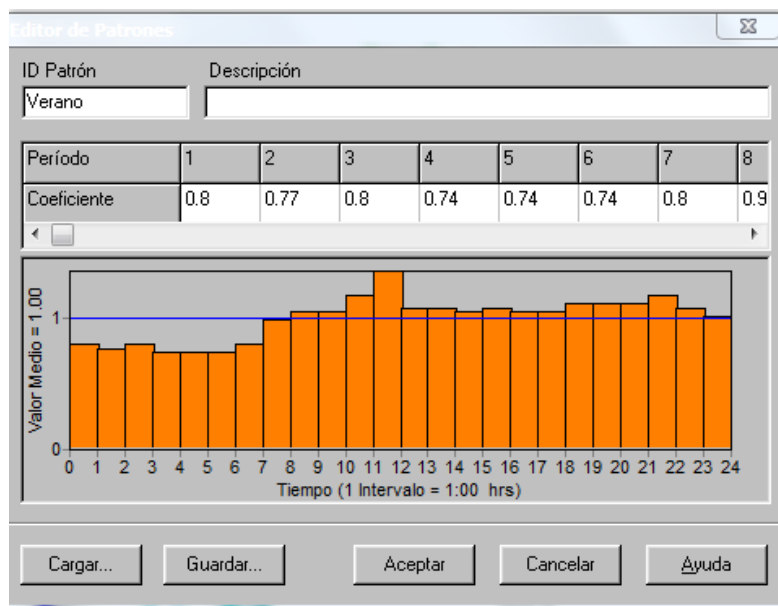


Ilustración 30: Curva de modulación de verano introducida a EPANET

4.3. Otras consideraciones

En el modelo no se han incluido las fugas dependientes de la presión, en su lugar, este caudal de pérdidas está incluido directamente en la demanda asignada a los nudos. Esto se justifica ya que no se dispone de datos sobre el rendimiento actual de la red ni del caudal registrado en las propiedades de los usuarios.

5. INTRODUCCIÓN A LAS SIMULACIONES

Una vez se tiene el modelo construido, se está en condiciones de hacer un análisis sobre el comportamiento hidráulico de la red. A lo largo de este apartado se realizará un estudio detallado de las presiones, para los diferentes escenarios, que de forma progresiva irán desde valores de: altas presiones y bajas demandas durante las horas valle de invierno hasta bajas presiones y elevadas demandas en las horas punta de verano. Además, se llevará a cabo para las condiciones más desfavorables, un estudio de presiones, velocidades, caudales y pérdidas unitarias en tuberías y nudos con la finalidad de conocer de antemano la respuesta de la red ante esas circunstancias y de localizar posibles imperfecciones en el funcionamiento de la misma con el objetivo de dar solución y plantear mejoras correctivas.

Primero de todo, hay que destacar que para valorar los resultados del estudio se va a perseguir que la presión en los puntos de consumo sea la adecuada según la normativa, y permita garantizar un servicio de calidad a todos los usuarios. Por lo tanto, se establece siguiendo las indicaciones de los técnicos del ayuntamiento, que la presión mínima de servicio en la acometida de cada abonado debe estar comprendida entre los 25 mca. La razón de exigir una presión mínima de servicio se debe a que la presión mínima en el grifo de cada usuario no podrá ser nunca inferior a los 10 mca, independientemente del número de pisos que disponga el edificio. Por tanto, es lógico pensar que un edificio con un mayor número de plantas requerirá una mayor presión en la acometida que un edificio que tenga un número inferior de pisos. El problema reside en que no todos los edificios del municipio tienen la misma altura, por lo que la solución que se propone es mantener una presión mínima en la mayoría de edificios de 25 mca, y una presión máxima de 40 mca, mientras que para los edificios más elevados, al ser un número reducido (solo 6% tienen más de 4 plantas), deben disponer de grupos de bombeo particulares.

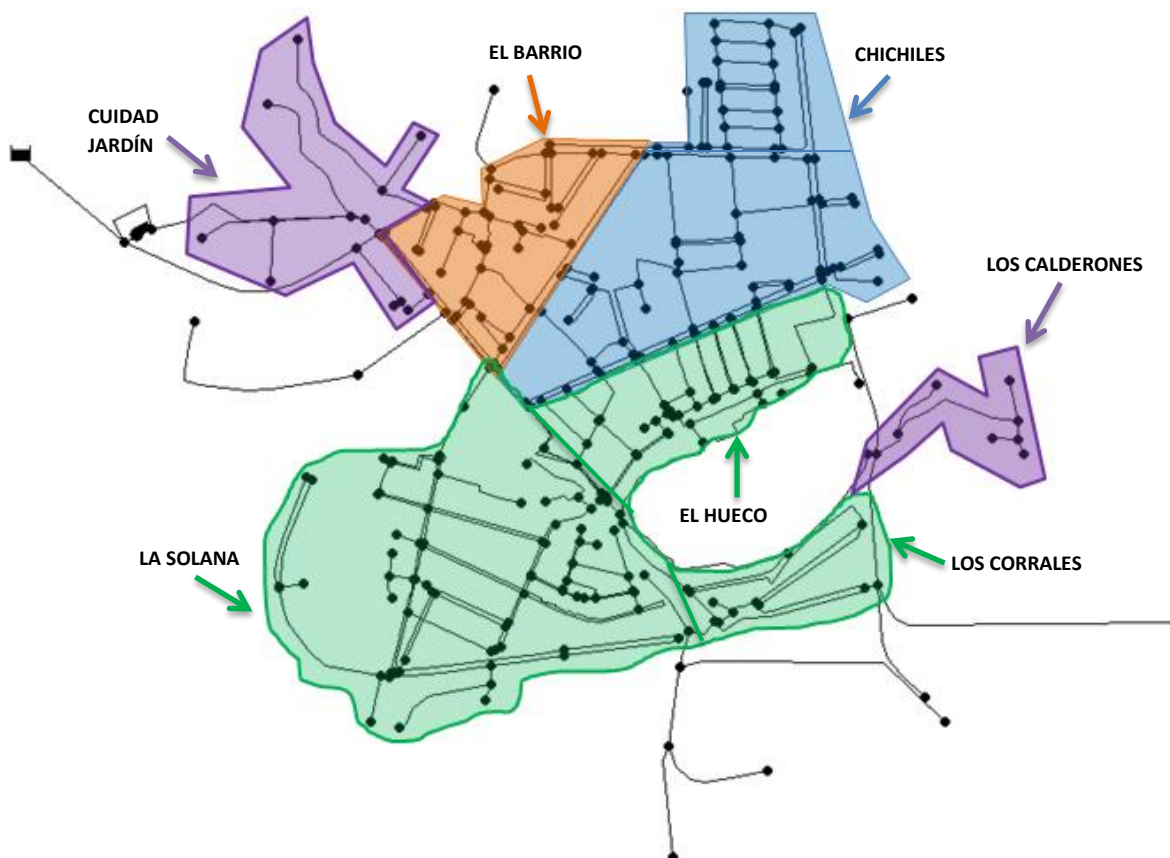
El valor tentativo de presión máxima de servicio de 40 mca se establece con el objetivo de reducir los caudales de fugas, y la rotura de las tuberías como consecuencia directa, al mismo tiempo que permite homogeneizar las presiones en la red.

Por último, es importante mencionar que los volúmenes disponibles aportados por los técnicos del ayuntamiento son valores medios mensuales, y se desconocen las situaciones de consumo más desfavorables; hora punta en verano (se origina mínima presión en los nudos de la red) y hora valle en invierno (se originan máximas presiones en los nudos de la red). Por otro lado, se conoce la demanda horaria de un día tipo tanto en verano como en invierno, y el caudal medio en ambos casos es diferente al caudal medio obtenido de los datos mensuales, como consecuencia de ello, se van a realizar varias suposiciones de los caudales inyectados en la red para conocer la respuesta del sistema. En la medida que se conozca el caudal inyectado instantáneo se podrá estimar el nivel de presiones en la red.

5.1. Análisis de las diferentes zonas del pueblo

Como se comentaba en la introducción, es importante asegurar una presión mínima a la entrada de cada edificio para garantizar la calidad del servicio de suministro del agua potable. Dicha presión no podrá estar por debajo de los 25 mca, y se incrementará en función del número de plantas del edificio al que se quiere abastecer, sin superar los 40 mca.

El objetivo de este apartado es analizar las diferentes zonas residenciales de Ayora, con el fin de conocer el número de pisos que tienen o deberían tener las residencias ubicadas en cada una de ellas y poder valorar, a partir de las presiones obtenidas durante los diferentes escenarios de las distintas simulaciones si con la presión obtenida en la zona, sería suficiente para garantizar la presión mínima necesaria en función de las alturas de los edificios. Para esto, se ha creado el siguiente mapa basado en el plano urbanístico de ordenación de edificios, documento que rige la evolución urbanística de la población. Cada color representa una zona residencial con las correspondientes alturas que los edificios que están ya construidos o que se pueden construir deben tener.



Mapa 3: Zonas residenciales según el número de plantas que pueden tener

Las zonas consideradas son:

- El color lila representa el barrio de Ciudad Jardín (noroeste) y de Los Calderones (este), donde según el plan urbanístico de ordenación, solo se permite la construcción de casas de 1 o 2 alturas. Por tanto, con una presión de 25 mca en la acometida, será suficiente para asegurar una presión de 10 mca en todos los grifos de todas las plantas del edificio.
- El color verde representa la zona de La Solana (suroeste), Los Calderones (sureste) y El Hueco (centro del pueblo), donde por normativa los pisos deben tener entre 2 y 3 alturas, a excepción de una pequeña zona dentro de la misma, y próxima al castillo, donde el número de plantas que deben de tener las casas se sitúa en torno a los dos pisos. Por tanto, aunque en algunas casas sería suficiente con la presión mínima, en otras, deberá

de ser un poco superior a ésta, situándose en torno a los 27 mca (edificios de 3 plantas), que podrían obtenerse mediante el uso particular de bombas.

- El color azul representa el barrio de Chichiles y una parte del centro del pueblo, una zona donde por normativa se tendrán edificios de entre 3 y 4 pisos, obviando la necesidad de una presión en la acometida de un valor superior al mínimo, y en torno a los 30 mca.
- Por último, se tiene que en la zona representada por el color rojo (El barrio), el nivel de plantas por edificio deberá de ser de como máximo 3 plantas, a excepción de algunos edificios que podrán alcanzar alturas de hasta 5 plantas. Por lo que la presión en la acometida, debería de estar en torno a los 27-33 mca.
- Los puntos que están fuera de las zonas previamente definidas, representan chalets de campo de una o dos plantas, por lo que se mantiene que la presión mínima en esos puntos deberá de ser de 25 mca.

Esta diferenciación de zonas se ha realizado de forma aproximada y general, sin tener en cuenta algunas excepciones, donde se tienen edificios de más o menos plantas. Lo que se pretende con dicha diferenciación es poder contrastar las presiones obtenidas en las siguientes simulaciones con las presiones que se deben de tener en cada una de las zonas.

5.2. Análisis del funcionamiento de la red bajo diferentes demandas

A continuación, se analizan varios escenarios de demanda y las presiones previsibles que se darían en las diferentes zonas. Como se ha comentado se pretende analizar la respuesta de la red bajo diferentes demandas instantáneas. Es conveniente realizar dicho estudio debido a que unas elevadas presiones pueden originar fugas importantes que dañen la red y el sistema: aumentando la probabilidad de contaminación del agua, disminuyendo la presión de servicio y sobrecargando las tuberías y las redes de alcantarillado. Para la simulación de estas condiciones en EPANET, únicamente es necesario definir en "Opciones hidráulicas" un factor de demanda que nos permita obtener un volumen inyectado a la salida del depósito del valor que queremos estudiar.

5.2.1. Escenario 1: (Q=20 l/s, CDM=0,71)

Este escenario podría corresponderse con las horas valle de invierno donde se tendrían presiones elevadas asociadas a las bajas demandas en los nudos. El factor de demanda necesario para generar 20 l/s es de 0,71. El modelo en estas condiciones se va a simular inicialmente con la bomba desactivada, para ver si con ausencia de ésta podría garantizarse la presión mínima de servicio en todos los puntos. En caso de que no fuera posible, se estudiarían los mismos resultados con la bomba conectada a la red.

Presiones (Bomba desconectada)

Como se comentaba anteriormente, la presión en los nudos es uno de los parámetros más importantes a estudiar dentro de la red, por estar directamente relacionado con la calidad del servicio prestado por el Ayuntamiento a sus usuarios y las pérdidas hidráulicas de la red.

Tras establecer las condiciones de trabajo del escenario 1 se tienen los siguientes mapas y gráficos de análisis de las presiones. En el **Mapa 4** de contorno, se aprecia como casi la totalidad de los nudos están por encima de la presión mínima de servicio de 25 mca, a excepción de la zona definida anteriormente como “Los Calderones”, donde se ubican chalets residenciales de uno o dos pisos, y otras casas de campo cuyo consumo no es diario. La presión en estos puntos está en torno a los 19 mca. Por lo que, aunque es una zona de tamaño reducido, se necesita que la bomba se encuentre en funcionamiento. Observando el resto de la red, se considera una medida radical, puesto que va a provocar un incremento excesivo en el resto de presiones de la población.

Por último, hay que señalar que existen algunos puntos próximos al depósito donde su consumo es completamente nulo siempre, por lo que no se van a tener en cuenta para determinar la necesidad de conexión de la bomba.



Mapa 4: Mapa isobárico correspondiente a $Q=20$ l/s sin bomba

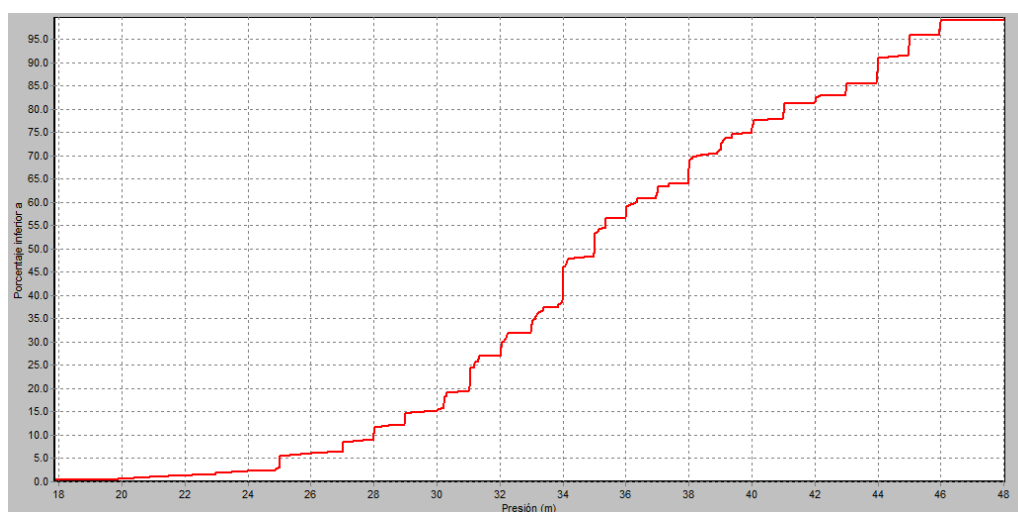


Ilustración 31: Gráfico de frecuencia de presiones ($Q=20$ l/s)

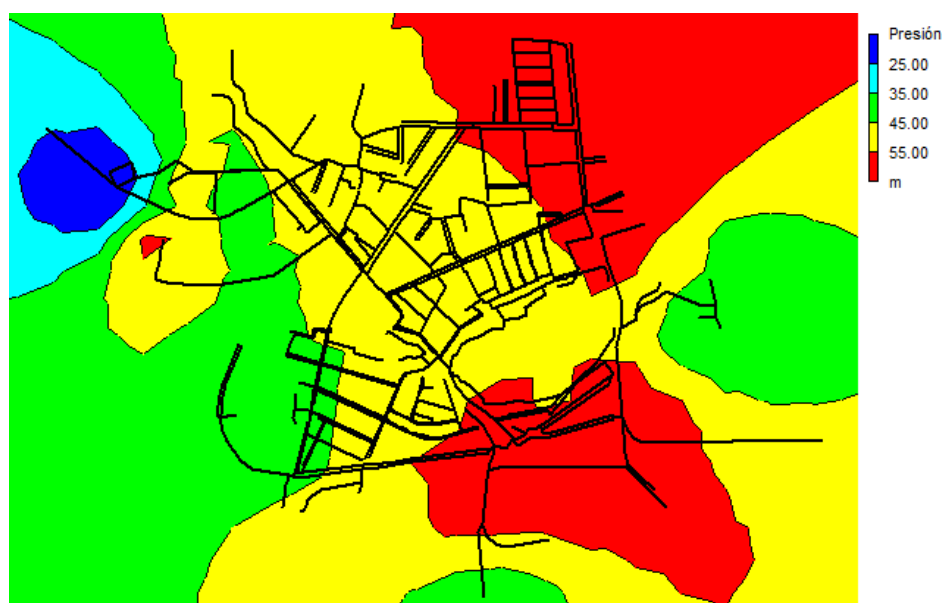
Basándonos en el gráfico de frecuencia, se debe comentar que la presión máxima recomendable (40 mca) está superada por un 25% de nudos en la red, teniendo en esas zonas una situación de riesgo por encontrar que las tuberías están sometidas a esfuerzos que pueden provocar su rotura. Estas sobrepresiones pueden deberse a que el reparto equitativo de demanda no tiene en cuenta que en determinadas horas del día, la demanda se va centralizando en unos y otros puntos de consumo, pudiendo provocar la disminución de la presión en los puntos con mayor demanda, al igual que su aumento cuando la demanda es todavía más baja. La presión más alta se encuentra en el nudo que presenta un valor de 48,45 mca, situado en el barrio de Chichiles. Si durante el proceso de simulación de los siguientes escenarios, el problema de elevadas presiones sigue presente, se tendrán que tomar medidas que ayuden a aliviarlas.

Por otro lado, se aprecia que sólo un porcentaje del 5% de las presiones se encuentra por debajo de la presión mínima de servicio (25 mca), ratificando el hecho de que la necesidad de conectar una bomba de elevada potencia para una zona reducida es una medida excesiva.

Presiones (Bomba conectada)

Anteriormente, en el apartado de descripción de las instalaciones, se comentaba que la bomba está regulada mediante un variador de frecuencia que permite a la bomba girar a más o menos velocidad, en función de la energía hidráulica que debe aportar al fluido. Además, se conoce que la bomba está ajustada para tener a su salida una presión de 2,6 kg/cm². Por lo que la velocidad de giro que le permite conseguirlo, en estas condiciones, es de 0,48.

El **Mapa 5** muestra, como era de esperar, una red con presiones excesivamente elevadas que pueden afectar a su buen funcionamiento. La presión más elevada que se encuentra tiene un valor de 63 mca. Y aunque no se muestra el gráfico de frecuencias, se conoce que la presión máxima de servicio es alcanzada por el 93% de los puntos de consumo.



Mapa 5: Mapa isobárico correspondiente a Q=20 l/s con bomba

5.2.2. Escenario 2: (Q=30 l/s, CDM= 1,1)

En este caso, para obtener el caudal deseado, se necesita un factor de demanda de un valor próximo a 1,1. Este escenario, podría darse con mayor frecuencia durante los meses de invierno, puesto que el caudal medio estudiado es muy próximo al valor medio de caudal inyectado a la red durante esa misma época.

Presiones (Bomba desconectada)

En el **Mapa 6**, se observa una bajada leve de las presiones que ya presentaban dificultades con un caudal de 20 l/s, y la aparición de una nueva zona en La Solana con presiones que están ligeramente por debajo de los 25 mca. Para la zona próxima al depósito, se mantiene lo dicho anteriormente, y es que en esos puntos no existe consumo alguno. Mientras que para la zona de Los Calderones se observa que la mayoría de los puntos de consumo están por debajo de los 20 mca, manifestando de nuevo, la necesidad de conexión de la bomba. Respecto a la nueva zona con bajas presiones, situada al suroeste del mapa, se comprueba que los valores de presión están en torno a los 24 mca, y aun que no se alejan demasiado del valor mínimo, será también necesaria la conexión de la bomba para dicha zona, que además, requiere de presiones de en torno a los 27mca, por la altura de los edificios construidos en ella.



Mapa 6: Mapa isobárico correspondiente a Q=30 l/s

Como puede observarse en el **Ilustración 32**, solo el 6% de los nudos están por debajo de la presión mínima de 25 mca, de los cuales, representando éstos los puntos próximos al depósito, los puntos de consumo de Los Calderones y algunos nudos del barrio de La Solana. Por tanto, y aunque se generarían presiones demasiado elevadas en el resto de la red, sería necesaria la conexión de la bomba para poder abastecer a toda la población, ya que todos los usuarios abastecidos deben tener un servicio de calidad, sin excepciones.

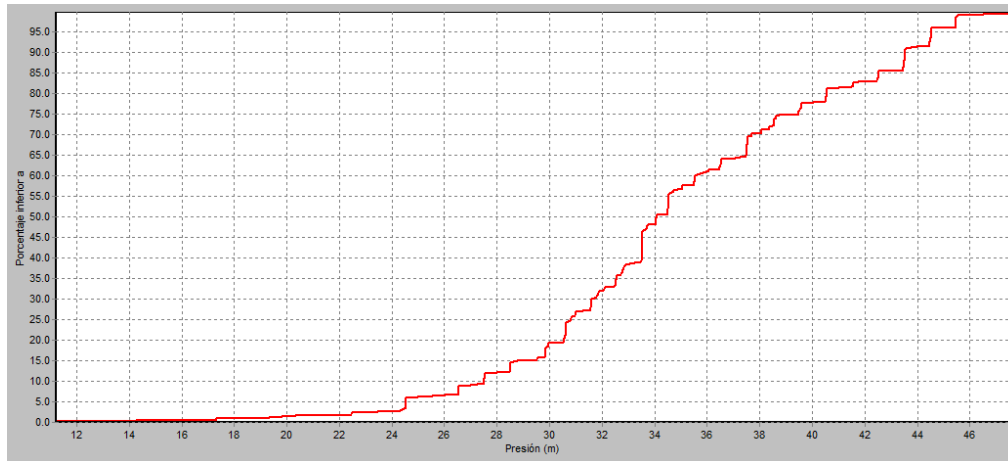
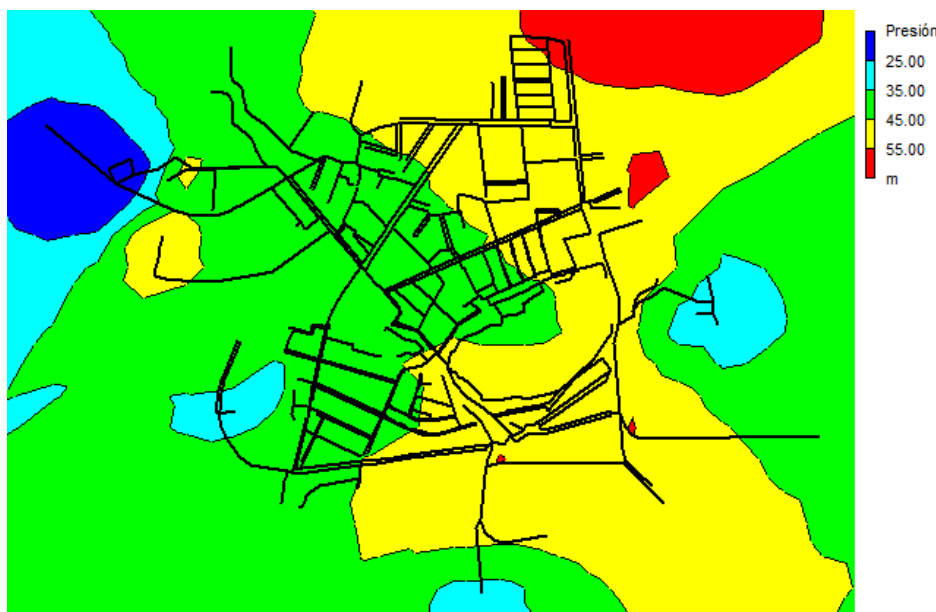


Ilustración 32: Gráfico de frecuencia de presiones (Q=30 l/s) sin bomba

Por último, se debe mencionar que, aunque por lo general la presión en los nudos de la red se ha aliviado levemente, sigue existiendo un porcentaje significativo de presiones que están por encima de los 40 mca, y es aproximadamente del 21%.

Presiones (Bomba conectada)

La bomba está trabajando en todo momento para asegurar una presión de consigna a la salida de en torno a los 2,6 kg/cm². Para ello, y en estas condiciones, la bomba debe girar con una velocidad relativa de 0,47. Como se aprecia en el **Mapa 7**, las zonas que presentaban anteriormente bajas presiones consiguen establecerse dentro del rango de presiones aceptables, pero las del resto de la población sufren un incremento que las sitúa por encima de la presión máxima de 40 mca. Exactamente y como muestra en la **Ilustración 33**, el alto porcentaje de nudos que se encuentran por encima de la presión máxima de servicio, es del 80%.



Mapa 7: Mapa isobárico correspondiente a Q=30 l/s con bomba

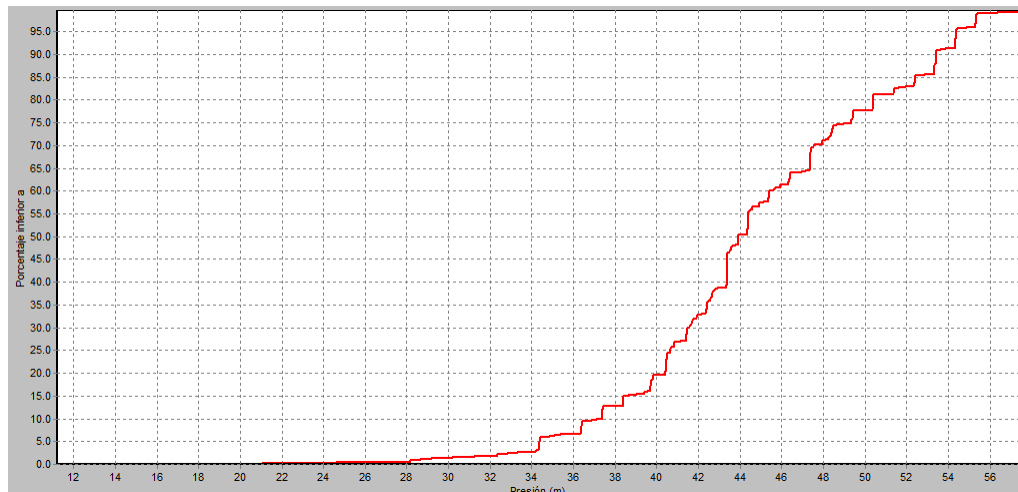


Ilustración 33: Gráfico de frecuencia de presiones (Q=30 l/s) con bomba

5.2.3. Escenario 3: (Q=40 l/s, CDM= 1,45)

Se han omitido los resultados para el caudal medio de Q=40 l/s por contener resultados muy similares a los que se han obtenido anteriormente para el caudal medio de Q=30 l/s (porcentajes de presiones muy similares). Por tanto, se ha decidido eliminar información redundante para pasar directamente a un volumen medio inyectado de 50 l/s.

5.2.4. Escenario 4: (Q=50 l/s, CDM=1,82)

El caudal en la red de 50 l/s se ha obtenido con un factor de demanda igual a 1,82. En la primera simulación del escenario se va a trabajar con la bomba desconectada con el objetivo de mostrar el claro empeoro de la red, pero posteriormente se conectará por su clara necesidad.

Presiones (Bomba desconectada)

En el siguiente mapa, puede observarse como las zonas de presión por debajo de los 25 mca se han expandido afectando a un mayor número de nudos. Ahora nos encontramos que la zona de *Los Calderones* tiene una presión que está muy por debajo de la presión mínima de servicio. También la situación en La Solana ha empeorado notablemente.



Mapa 8: Mapa isobárico correspondiente a Q=50 l/s sin bomba

En este caso, como puede observarse en el gráfico de frecuencia de la siguiente ilustración, el 15% de la población está por debajo de la presión de servicio. Por otro lado, sigue estando presente el problema de tener presiones mayores a la presión máxima de servicio, pero a medida que el consumo se incrementa, las presiones sufren una notable disminución.

Para un caudal de 50 l/s, el porcentaje de la población que está por encima de la presión máxima de servicio, queda reducido hasta el 14%. Teniendo en el punto de presión más alto un valor, más próximo al deseado, de 45 mca.

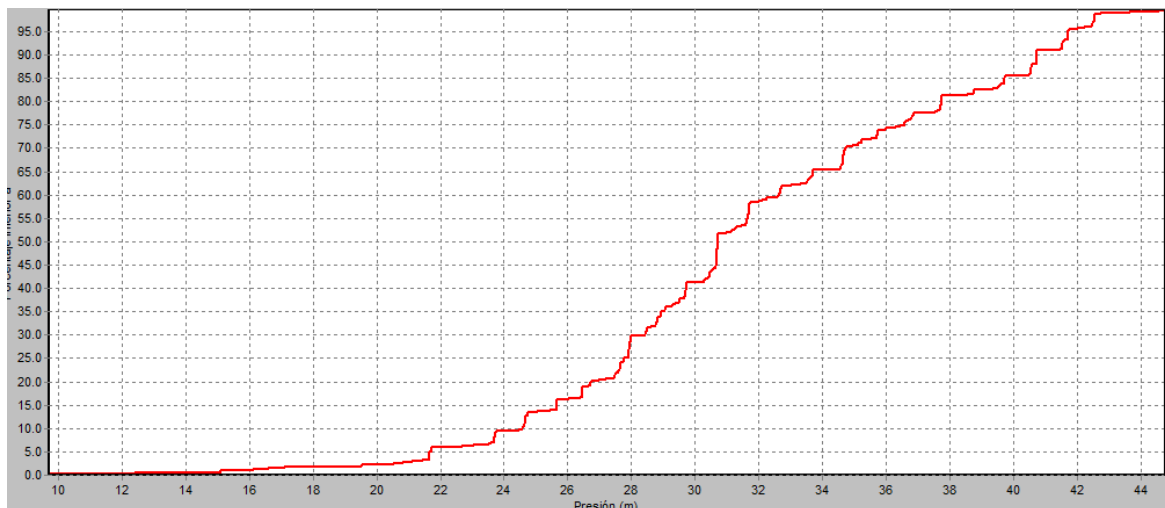


Ilustración 34: Gráfico de frecuencia de presiones (Q=50 l/s) sin bomba

Presiones (Bomba conectada)

La velocidad relativa a la que debe de girar la bomba para mantener la presión a su salida es de 0.68, con la que se obtiene una presión de consigna de 2,66 kg/cm², además de los siguientes resultados.



Mapa 9: Mapa isobárico correspondiente a Q=50 l/s con bomba

La situación mejora notablemente en los puntos donde había una situación desfavorable. Ahora se tiene que todos los puntos de consumo están por encima de la presión mínima de servicio, aunque dicho aumento genera una situación de compromiso, puesto que las presiones de la red en su totalidad se han incrementado hasta alcanzar valores demasiado altos y peligrosos que pueden generar fugas, siendo el 93% de los nudos de la red los que presentan una presión que está por encima de los 40 mca.

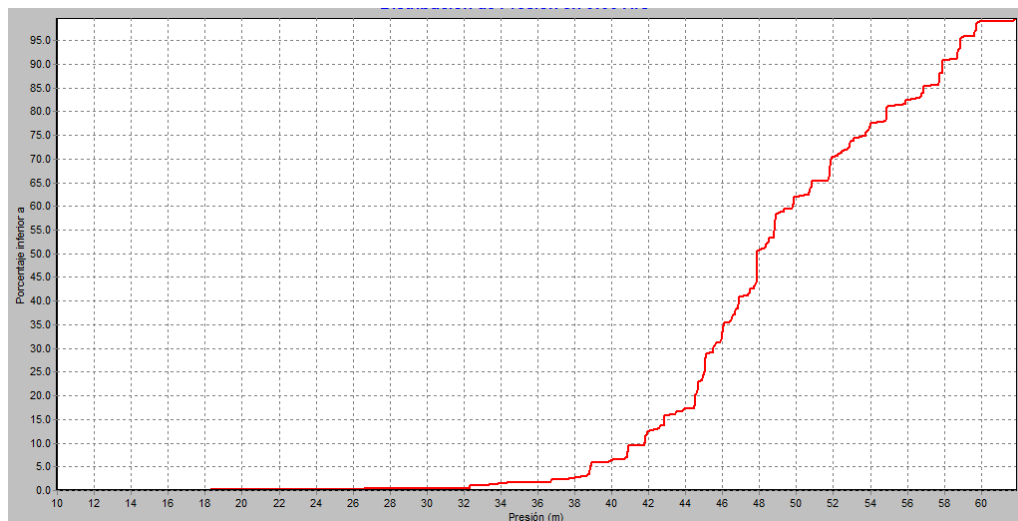


Ilustración 35: Gráfico de frecuencia de presiones (Q=50 l/s) con bomba

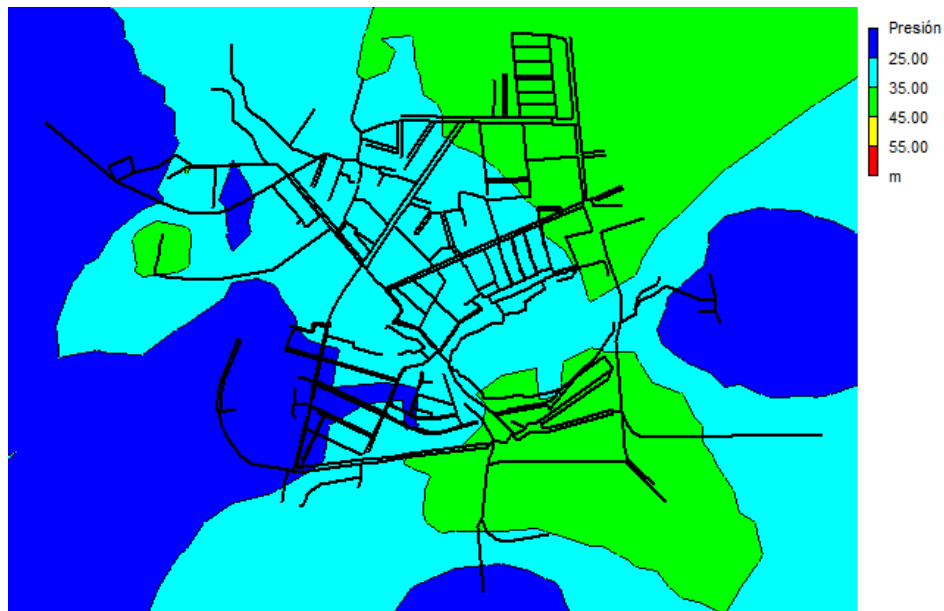
Este hecho sigue llegando a la conclusión de que la conexión de la bomba, aunque consigue elevar la presión en los nudos que no alcanzaban la presión mínima de servicio, aporta mucha más energía al sistema que la que debería, provocando una subida excesivamente elevada de presión en toda la red, teniendo 61,9 mca en el punto más crítico.

5.2.5. Escenario 5: (Q=60 l/s , CDM=2,16)

En este escenario se va a trabajar con un caudal medio inyectado de 60 l/s, que se consigue con un factor de demanda del 2,18. Y aunque de primeras la simulación se va a ejecutar con la estación de bombeo desconectada de la red, se sabe de antemano que su conexión es imprescindible para el buen suministro de agua potable.

Presiones (Bomba desconectada)

Como se aprecia en el siguiente mapa de contorno, son cada vez más los usuarios afectados por tener una presión por debajo de los 25 mca. Exactamente el programa determina que un porcentaje del 20% de usuarios está por debajo de esa presión. Cabe mencionar que, con el objetivo de resumir, evitar la repetición y proporcionar una información más breve y concisa, se van a omitir a partir de ahora las gráficas de frecuencia de las presiones para la simulación de los próximos escenarios sin la estación de bombeo en funcionamiento, mostrando únicamente el mapa isobárico por ofrecer en un único gráfico la evolución esperada de las presiones en la red.



Mapa 10: Mapa isobárico correspondiente a Q=60 l/s sin bomba

Presiones (Bomba conectada)

Para el caudal medio inyectado de 60 l/s, la bomba deberá estar regulada con una velocidad relativa mínima del 0.80 para poder asegurar la presión fijada a su salida. El mapa isobárico de presiones muestra como toda la población tiene asegurada la presión mínima de 25mca. En comparación con el mapa isobárico anterior, correspondiente a Q=50 l/s y bomba conectada, se aprecia como las elevadas presiones se van incrementando a medida que aumenta el volumen de caudal medio inyectado en la red y por consiguiente, la velocidad relativa de la bomba, alcanzando las presiones superiores a 40mca un porcentaje del 98% de la población.



Mapa 11: Mapa isobárico correspondiente a $Q=60$ l/s con bomba

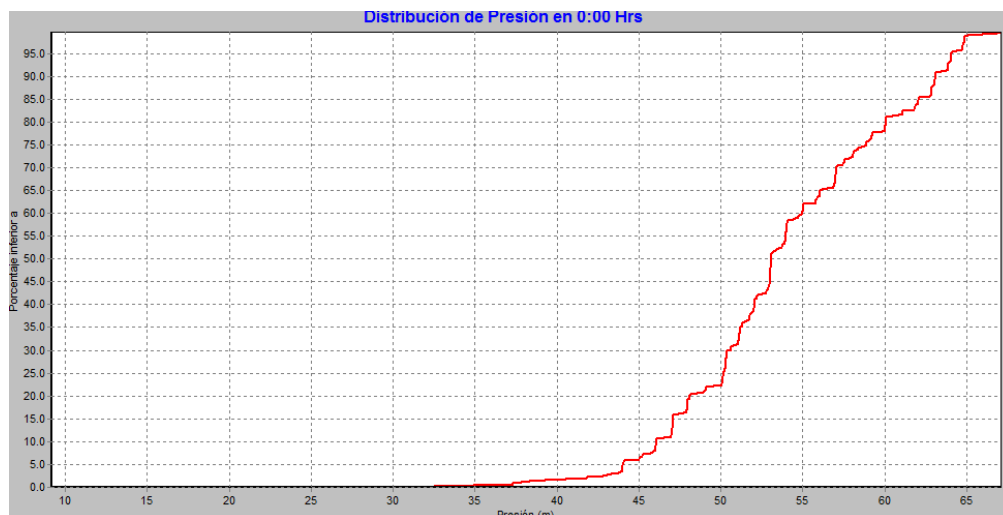


Ilustración 36: Gráfico de frecuencia de presiones ($Q=60$ l/s) con bomba

Nuevamente, este hecho refleja que la conexión de la bomba central a toda la red pretende dar solución al problema de bajas presiones en algunas zonas de la misma, a costa de incrementar la presión total del sistema, generando otros problemas distintos. Esto revela una posible imperfección en el diseño de la red, y un posible punto débil que se podría intentar mejorar.

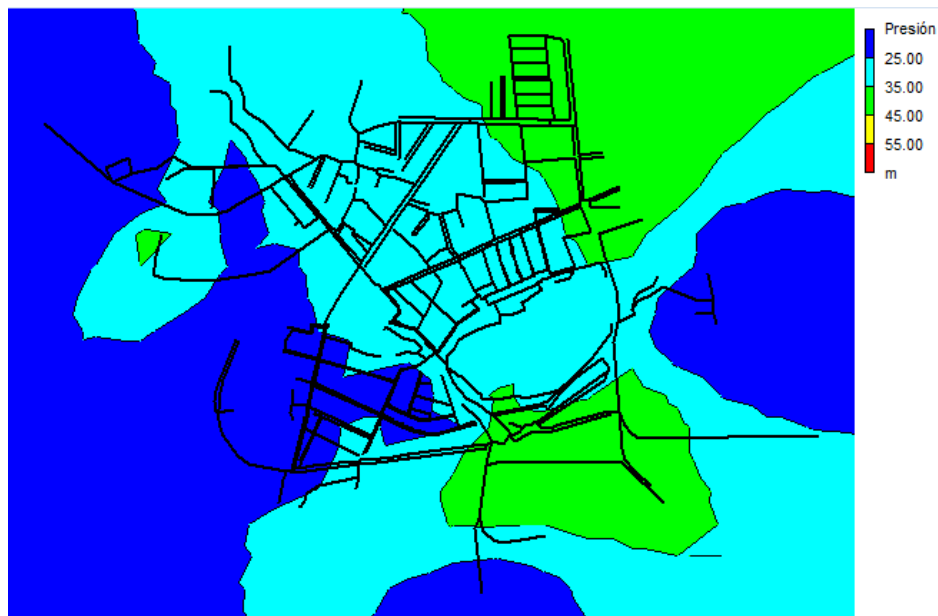
5.2.6. Escenario 6: ($Q= 70$ l/s, $CDM=2,53$)

Continuando con las simulaciones, se llega al que va a ser el último escenario que se va a simular para conocer la respuesta de la red, ya que uno de los objetivos que se buscaban, era el de crear un patrón de comportamiento de la red a base de introducir caudales instantáneos, con el fin de que se pudieran detectar zonas críticas o puntos débiles que precisen de una mejora. Por los resultados que se han ido obteniendo, se ha podido crear el modelo de comportamiento y se han encontrado posibles puntos débiles de la red. No obstante, se va a realizar esta última simulación, por representar uno de los escenarios más críticos a los que la red puede estar expuesta.

Para llevar a cabo esta última simulación, se ha establecido un CDM del 2,53 para tener un flujo de salida del depósito de 70 l/s.

Presiones (Bomba desconectada)

El gráfico muestra lo ya esperado. Las presiones en la red bajan cada vez más y las zonas críticas se van expandiendo poco a poco, afectando cada vez más a un mayor número de puntos de consumo. En este caso, y aunque no se va a mostrar el gráfico de frecuencia, se conoce que un cuarto de la población (25%) se encuentra por debajo de la presión mínima de servicio, mientras que tan solo un 1% se excede de la presión máxima de servicio.



Mapa 12: Mapa isobárico correspondiente a Q=70 l/s sin bomba

Presiones (Bomba conectada)

Tras conectar la bomba a una velocidad relativa de 0,94, se obtiene la presión constante de consigna establecida. Además de unas presiones en el resto de nudos mucho más elevadas a las obtenidas con el caudal medio de 60 l/s. Esto se debe a que el caudal de trabajo se ha incrementado y para mantener una presión constante y aportar la altura hidráulica necesaria en esas condiciones de trabajo la bomba debe de girar a una mayor velocidad, creando un nuevo punto de funcionamiento, en el cual, la altura aportada por la bomba será mayor en todos los nudos, y por Bernoulli se sabe que si la altura aumenta, y en este caso la cota no puede variar, aumentará la presión en los nudos. La explicación queda reflejada en la **Ilustración 37**.

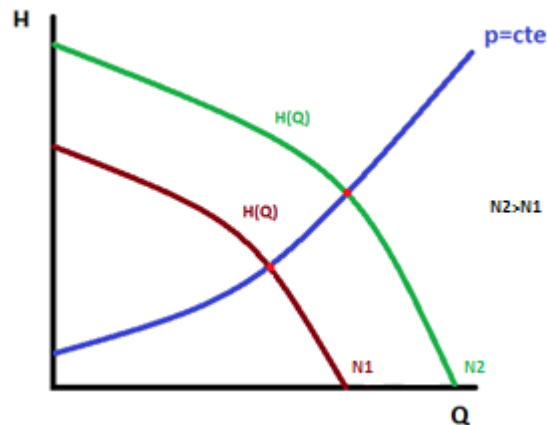


Ilustración 37: Punto de funcionamiento en función de la velocidad



Mapa 13: Mapa isobárico correspondiente a $Q=70$ l/s sin bomba

De este modo, se explica la subida de presiones en la totalidad de la red. Unas presiones que están muy por encima de la máxima de servicio y de los valores adecuados. Dando peso a la idea de que se ha encontrado un defecto que debe ser perfeccionado de tal forma que la presión en toda la red sea lo más homogénea posible, sin destacar diferentes zonas por tener bajas y altas presiones.

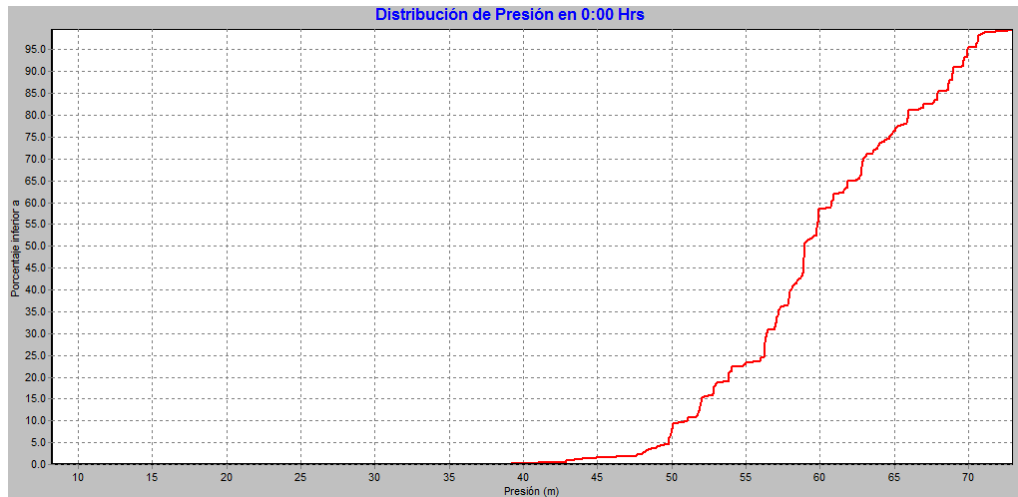


Ilustración 38 :Gráfico de frecuencia de presiones (Q=70 l/s) con bomba

5.3. Resumen de las simulaciones que van desde Q=20 l/s a Q=70 l/s

Para concluir con la sucesión de simulaciones, se muestra en el **Mapa 20** de forma sintética los resultados obtenidos anteriormente, con el objetivo de permitir un análisis de la respuesta del sistema ante las variaciones de demanda bajo condiciones de bomba desactivada. De este modo, se aprecia que a medida que la demanda ha ido aumentando, se han ido diferenciando dos zonas críticas donde las presiones son más cada vez más bajas y alcanzan valores por debajo de la presión mínima de servicio. Estas dos zonas corresponden con el barrio de “La Solana” y “Los Calderones” cuyas presiones han ido decayendo notablemente mientras que las presiones en el resto de la población se han mantenido dentro de unos valores adecuados de presión (a excepción de algunos puntos donde las presiones eran superiores a los 40 mca).

Además, y aunque no se muestra en este esquema, se sabe que cuando se ha conectado la bomba para aumentar la presión en la zona de La Solana y Los Calderones, se han originado unas presiones extremadamente elevadas en toda la red. Por lo que se piensa que la conexión de una bomba que bombea para todo el pueblo es una medida excesiva y de un elevado coste, ya que el tamaño de las zonas que necesitan ser bombeadas es reducido y podría llevarse a cabo mediante una bomba de menor tamaño que permitiera un gran ahorro energético. De este modo, se ha pensado en que una posible solución podría tratarse de la acotación de dichas zonas críticas de la red que corresponden con los barrios mencionados anteriormente. Esto permite elaborar un plan de mejoras enfocado a dar solución a las bajas presiones de esas zonas, pero será en el siguiente apartado donde se tratará este tema.

Por otro lado, aunque también se han encontrado presiones superiores a 40 mca durante las simulaciones, hay que recordar que en la situación más crítica (Q= 20 l/s) se tenía una presión máxima de 48 mca, y aunque de primeras se creyó conveniente la necesidad de establecer un plan de mejoras para reducirlas, se vio como a medida que el volumen inyectado a la red iba aumentando, las presiones caían hasta estar dentro del rango de presiones adecuadas. Por esta razón y por tener sólo 8 mca de exceso en la situación más desfavorable, se valoró que no era un hecho demasiado importante al que dedicar tiempo, ya que la red presentaba una irregularidad mucho más delicada.



Q= 20 l/s



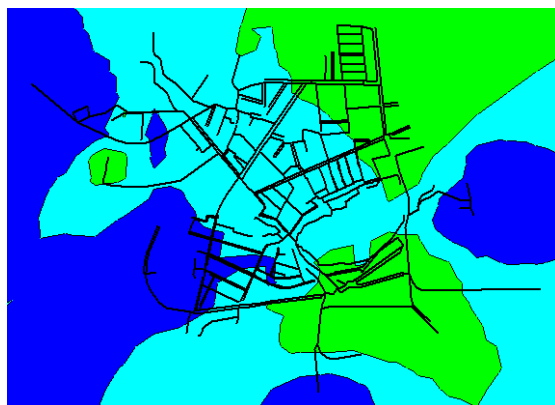
Q= 30 l/s



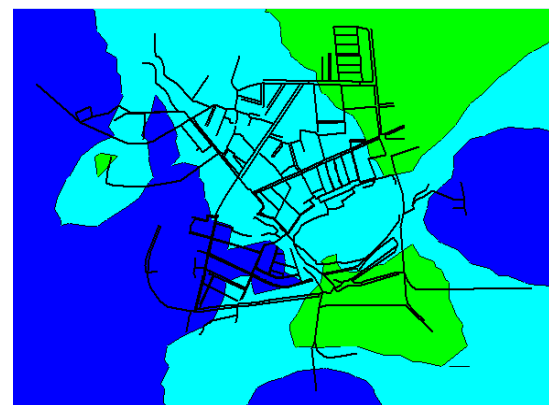
Q= 40 l/s



Q= 50 l/s



Q= 60 l/s



Q= 70 l/s

Mapa 14: Resumen de la respuesta de la red sin la bomba conectada

5.4. Respuesta estimada en hora punta verano y hora valle invierno

Por último, y como se ha comentado en la introducción, se analiza la respuesta del sistema ante los escenarios más críticos que podría sufrir la red: hora valle en invierno y hora punta en verano. Dichos estados se van a tomar de la **Tabla 7**, que muestra los caudales inyectados en la red en función de la hora, y aunque se tiene consciencia de que cabe la posibilidad de que no sean los más críticos dada la falta de información que se tiene, serán los escogidos para el siguiente análisis, en el que se deja de simular posibles comportamientos que se pueden dar en la red, para

detallar en profundidad los escenarios que se toman como críticos en la misma. La **Tabla 7** conduce a lo siguiente:

	Hora aprox.	Q verano(t) [m ³ /h]	Q verano(t) [l/s]
Hora punta verano	12:00h	220	61,11
Hora valle invierno	04:00h-6:00h	80	22,22

Tabla 8: Demanda máxima y mínima en hora punta

A continuación se van a analizar de forma independiente ambos escenarios.

5.4.1. Hora punta verano

Este escenario podría darse cualquier día de verano por la mañana. Pero basándose en la **Tabla 9**, dicha hora tiene lugar a las 12:00 h del medio día durante el mes de agosto, cuando hay un incremento temporal de la población y una elevada actividad. En estas condiciones se tiene un volumen inyectado a la red de 61 l/s y la bomba está trabajando a una velocidad relativa de 0.82%.

Presiones

Para poder visualizar el mapa de contorno y el gráfico de frecuencia de las presiones en estas condiciones, obsérvese los Mapas 14 y 15.

Velocidades

Como ya se vio en el punto 3.2, las pérdidas de las tuberías en el modelo de EPANET siguen la ecuación de Darcy-Weisbach, donde la velocidad del fluido a lo largo de la tubería influye en éstas de forma cuadrática, por lo que velocidades elevadas pueden provocar pérdidas considerables, y es por ello que el valor de la velocidad está acotada dentro de un rango de entre 0,5-2 m/s. La siguiente tabla muestra los valores obtenidos para máximo y mínimo de velocidad en hora punta.

	Velocidad máx (m/s)	Velocidad media (m/s)
Hora punta	1,71	0,18

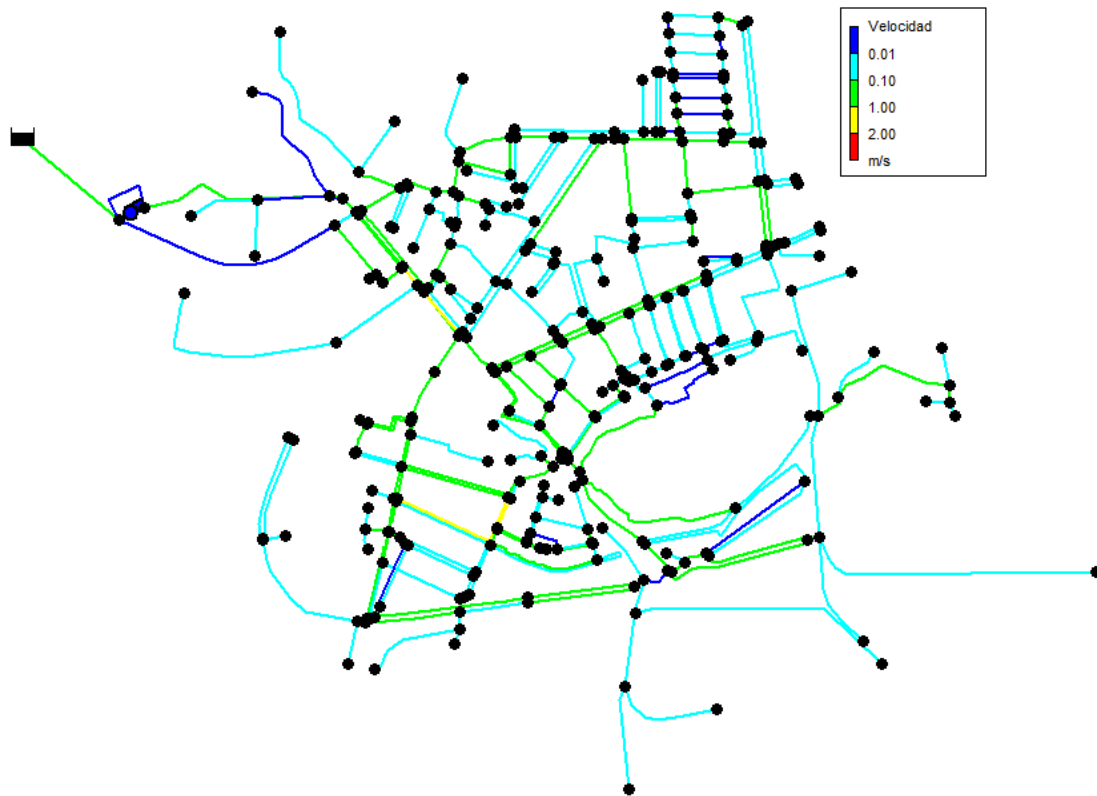
Tabla 9: Velocidades en tuberías (m/s) en hora punta

La tabla muestra que hay valores que están por debajo de 0,5 m/s, ya que la velocidad media del agua es de 0,18 m/s. Esta situación favorece un empeoramiento de la calidad del agua, ya que aumenta el tiempo de permanencia del agua en la red, y con éste, la pérdida de cloro.

En cualquier caso, se trata de una velocidad media usual en este tipo de redes, ya que generalmente estos sistemas están diseñados con capacidad suficiente. Asimismo, el procedimiento de carga hidráulica no siempre atiende a las condiciones puntas puntuales que pudieran darse en la red, ya que se trabaja con valores medios horarios y con la demanda muy

distribuida (como se ha comentado, no se tiene información detallada de la ubicación espacial de los diferentes consumidores).

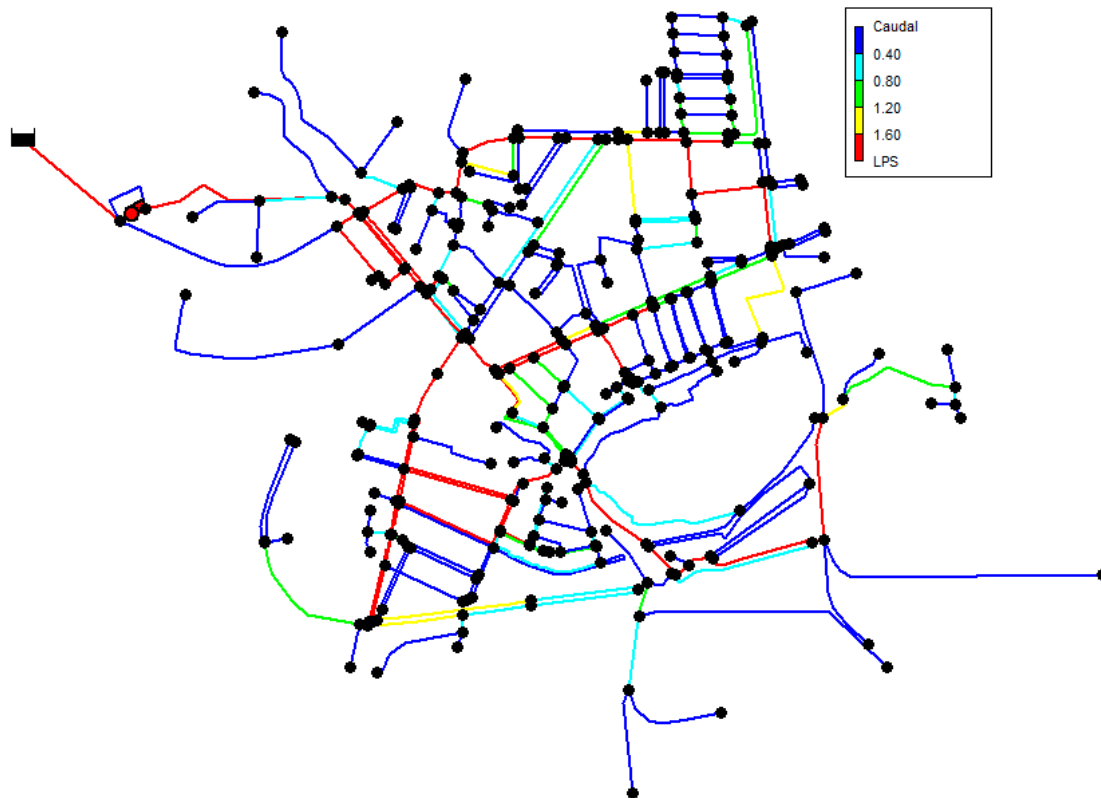
Por otro lado, puede verse que el valor máximo de velocidad que se obtiene en la red es menor de 2,5 m/s, derivando en unas pérdidas de fricción razonables en las tuberías en las que se den esos valores.



Mapa 15: Velocidades en tuberías (m/s) para verano en hora punta

Caudales

Se sabe que el caudal está relacionado con la velocidad por $Q=v \cdot A$ y que ambos afectan mediante la ecuación de Darcy-Weisbach a las pérdidas a lo largo de una tubería de la misma manera. Se conoce además que el flujo circulante por una tubería depende directamente de las condiciones de ésta, siendo el diámetro uno de los parámetros más determinantes. En el **Mapa 22**, se muestran los caudales circulantes en la red para verano en hora punta, permitiendo la localización de las tuberías que transportan un mayor caudal y que al corresponderse con aquellas cuyo diámetro es el más elevado, constituyen las arterias de la red hidráulica de Ayora.



Mapa 16: Caudales (LPS) para verano en hora punta

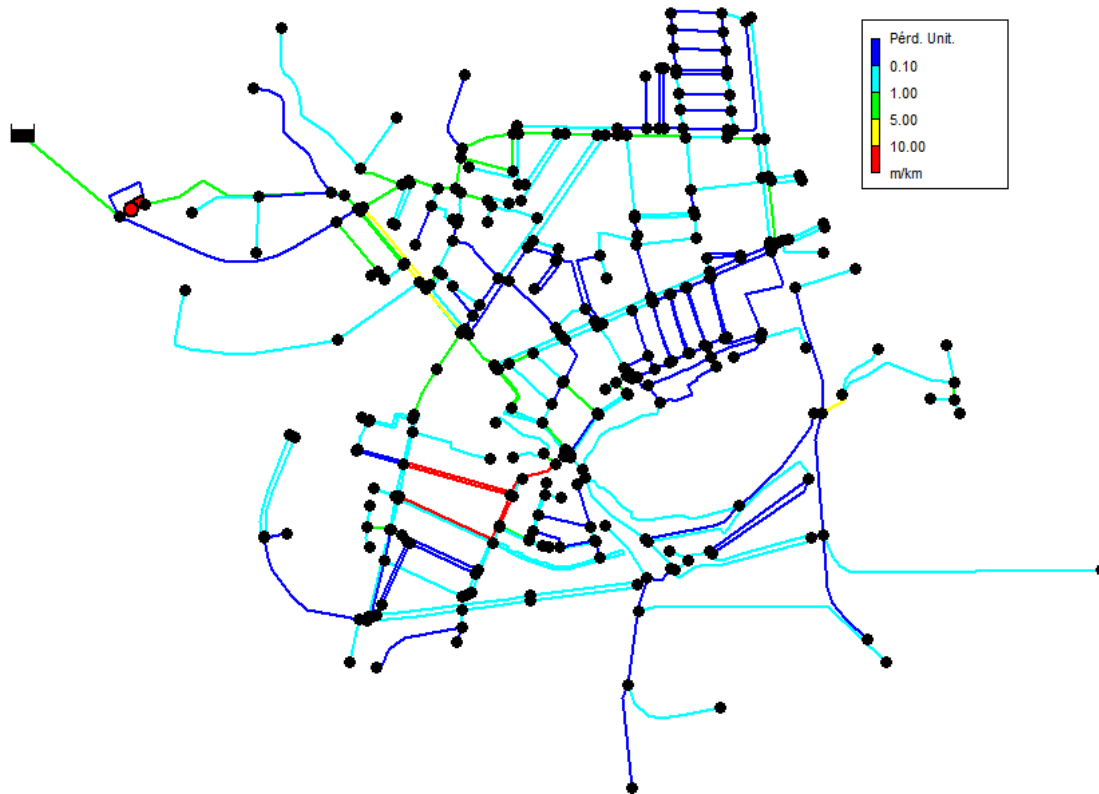
Pérdidas unitarias

Las pérdidas unitarias son las pérdidas de presión que se producen a lo largo de una tubería por unidad de longitud, como consecuencia de la fricción de éste con las paredes que lo confinan. Son el resultado de la aplicación de la ecuación de Darcy-Weisbach, dependiendo de los factores estudiados anteriormente como: caudal, velocidad, longitud de tubería, diámetro, y material de la tubería.

Es conveniente que las pérdidas unitarias tomen valores máximos comprendidos entre 5-10 m/km. Los resultados obtenidos tras la simulación se muestran en la **Tabla 11** y en el **Mapa 23**, donde se aprecia que el 99% de las pérdidas están comprendidas por debajo de los 10 mca/km, y que, hay una minoría de tuberías que superan el valor máximo establecido, 6 en total.

	% tuberías > 10m/km	Pérdidas medias (mca/km)
Hora Punta	1	1,09

Tabla 10: Pérdidas unitarias en hora punta (mca/km)



Mapa 17: Pérdidas unitarias (m/km) para verano en hora punta

5.4.2. Hora valle invierno

Basándose en los resultados obtenidos en la **Tabla 7**, dicha hora tiene lugar entre las 04:00 h y las 06:00 h durante el mes de marzo, horas coincidentes con las horas de madrugada cuando la población está mayoritariamente en horas de descanso. En estas condiciones se tiene un caudal inyectado a la red de 22,21 l/s y la bomba se encuentra desconectada.

Presiones

Para poder visualizar el mapa de contorno y el gráfico de frecuencia de las presiones en estas condiciones, obsérvese el **Mapa 4** y la **Ilustración 31**.

Velocidades

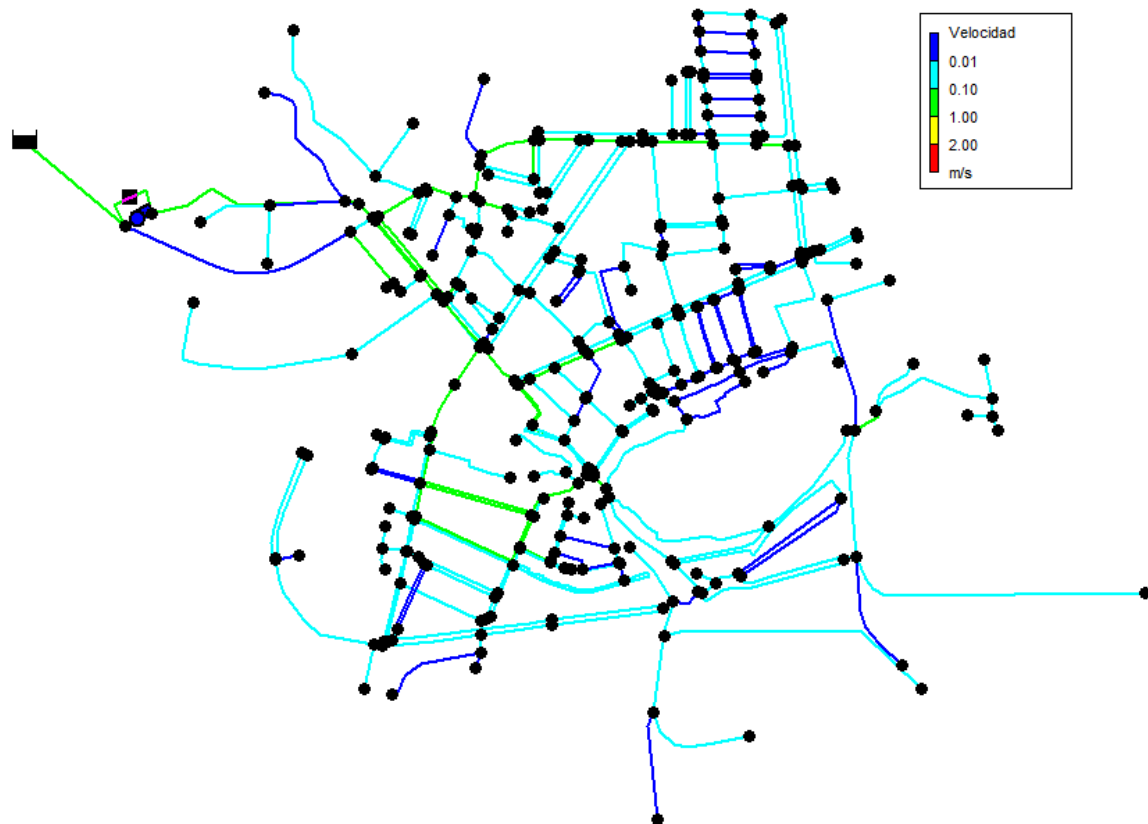
Como se comentaba anteriormente, la razón por la que las velocidades deben de estar acotadas en el rango de 0,5-2 m/s es debido a que por la ecuación de Darcy-Weisbach, influyen notablemente en las pérdidas generadas a lo largo de la tubería. La siguiente tabla muestra los valores obtenidos en hora valle.

	Velocidad máx. (m/s)	Velocidad media (m/s)
Hora valle	0,62	0,07

Tabla 11: Velocidades en tuberías (m/s) en hora valle

Comparando con los resultados obtenidos anteriormente para hora punta, se tiene una notable disminución del valor medio y máximo de velocidad, debido a que en este caso, el caudal que tendrán que transportar las tuberías es menor que en el caso anterior. Y por la ecuación: $Q = v \cdot A$, se tiene que en unas mismas condiciones de contorno, ($A = \text{cte}$), el caudal disminuye, y como resultado, la velocidad también lo hace. Por otro lado, y haciendo referencia de los resultados obtenidos, se puede concluir de igual modo que para el caso de hora punta, los valores medios son bajos, originando una posible perturbación de la calidad del agua.

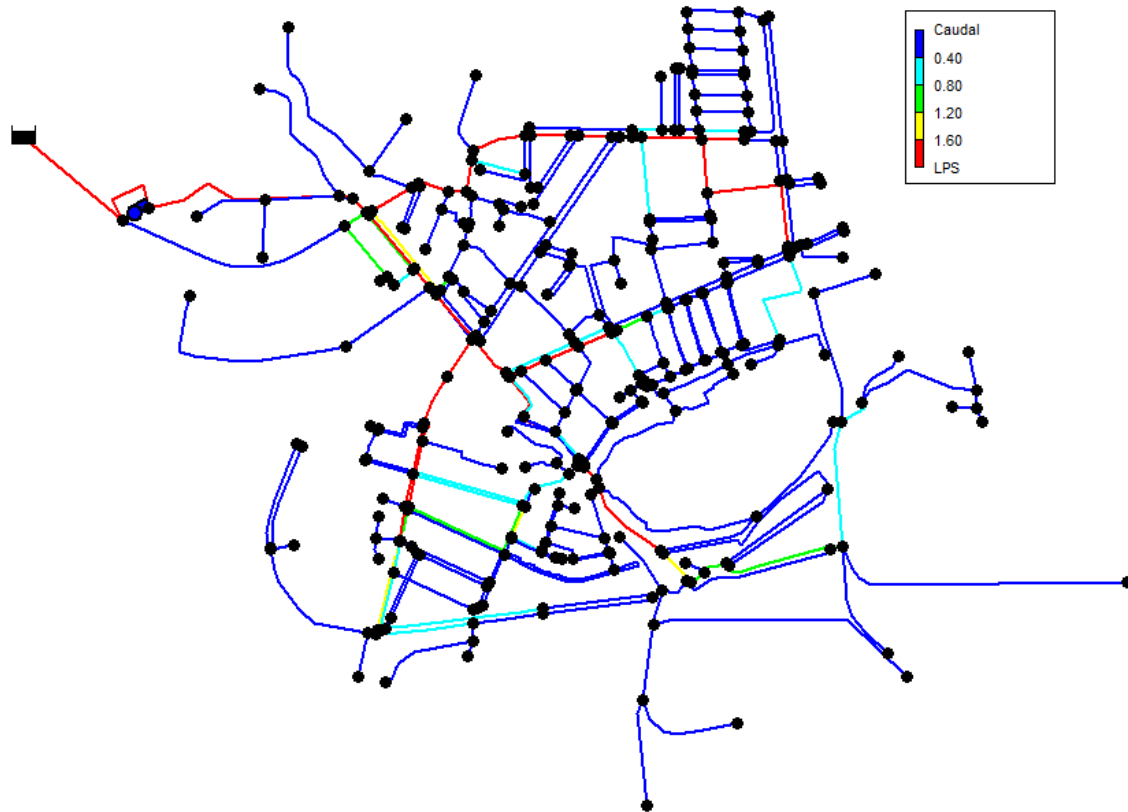
Respecto a la velocidad máxima que se obtiene, se ha de mencionar que está muy por debajo de 2,5 m/s, con lo que las pérdidas de fricción no se incrementaran demasiado por la velocidad. Por último, en el **Mapa 24**, se observa la distribución de las velocidades.



Mapa 18: Velocidades en tuberías (m/s) para verano en hora valle

Caudales

En el **Mapa 25** de la siguiente página, se muestran los caudales circulantes en la red para invierno en hora valle, permitiendo de nuevo la localización de las tuberías que transportan un mayor caudal y que constituyen las arterias de la red hidráulica de Ayora. Dichas tuberías deben corresponderse con las mismas obtenidas en la hora punta de verano.



Mapa 19: Caudales en tuberías (LPS) para invierno en hora valle

Pérdidas unitarias

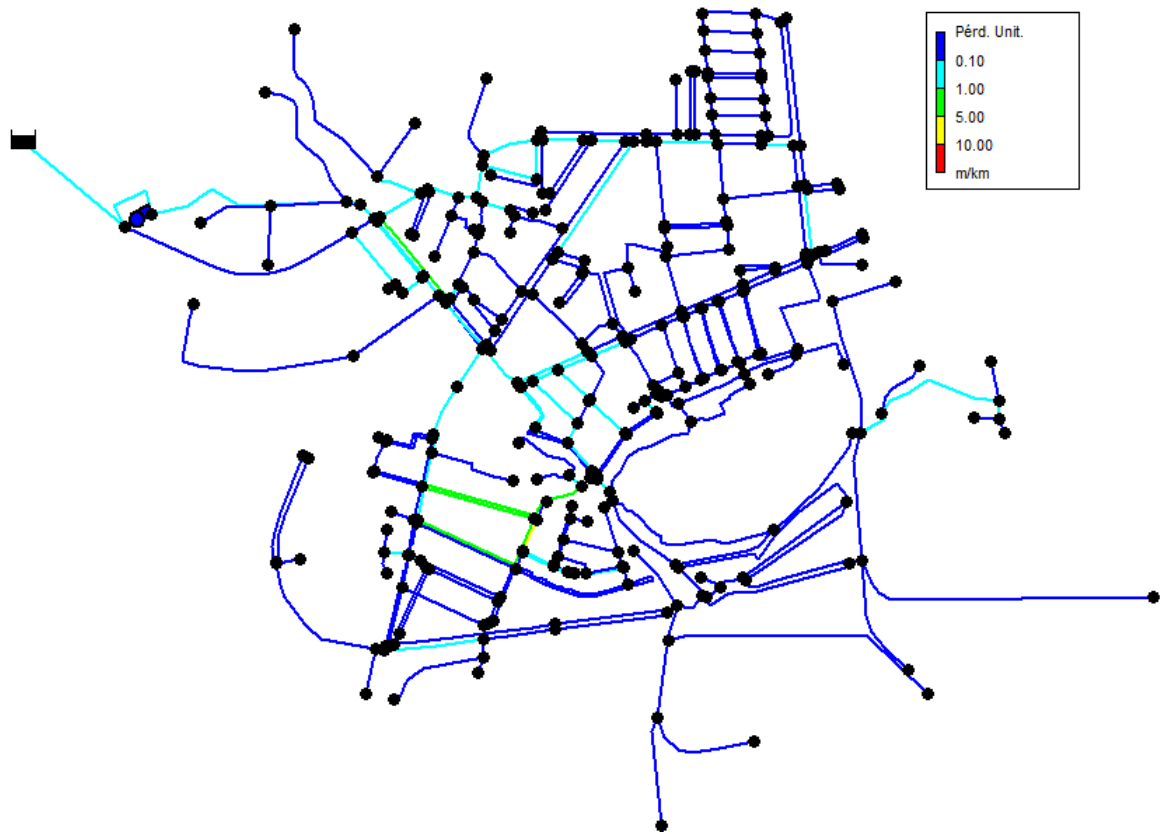
Para las condiciones de hora valle en invierno, los resultados obtenidos tras la simulación se muestran en la **Tabla 13** y en el **Mapa 26**.

	Pérdidas unitarias máximas (mca/km)	Pérdidas unitarias medias (mca/km)
Hora Valle	9,40	0,166

Tabla 12: Pérdidas unitarias en hora valle (mca/km)

En este caso se observa que todas las pérdidas unitarias generadas en las tuberías se encuentran dentro del rango de los valores aceptables, y son mucho menores a las obtenidas en hora punta.

Por último, en el **Mapa 26**, puede observarse gráficamente las pérdidas unitarias en las tuberías. Reflejando la misma zona crítica que en el caso anterior.



Mapa 20: Perdidas unitarias (m/km) para invierno en hora valle

6. MEJORAS PARA LA RED

Tras el análisis realizado en el apartado anterior se ha podido observar como a medida que se iban incrementando las demandas en los puntos de consumo, la presión en dos de las zonas del pueblo iba empeorando notablemente: El barrio de “La Solana” y “Los Calderones” mostradas en el **Mapa 27**. Además, la evolución del deterioro de ambos barrios se puede observar en el **Mapa 20**, donde se aprecia claramente cómo dichos barrios van destacando por tener presiones bajas a medida que se aumenta el caudal de demanda.



Mapa 21: Zonas afectadas en la red

Las bajas presiones encontradas en ambas zonas, sufren un grave descenso hasta situarse muy por debajo de los 25 mca, mientras que el resto de la población se encuentra dentro del rango de presiones aceptables. Por otro lado, se observa que al conectar la bomba principal se consigue incrementar la presión en los puntos que anteriormente no alcanzaban la presión mínima de servicio, pero como efecto adverso, se tienen unas presiones muy altas en el resto de nudos de la red. Esta clara diferencia de presiones entre ambos, conlleva a plantear una solución de aislamiento que mediante el cierre de determinadas tuberías, aisle la población con las zonas afectadas y su correspondiente mejora.

Inicialmente, para la zona de “Los calderones”, se tuvo la idea de incrementar el diámetro de una de las tuberías principales que la alimentan, debido a que el número de usuarios a los que había que abastecer era bastante limitado y se pretendía optar por la realización de una mejora con un coste reducido. Tras efectuar varias iteraciones, con diferentes diámetros, se llegó a la conclusión de que no era la medida que se necesitaba para poder elevar la presión de los nudos, ya que el problema derivaba del resto de la red y por tanto, se optó por la colocación de una pequeña bomba que aportase a la zona la altura y el caudal necesarios.

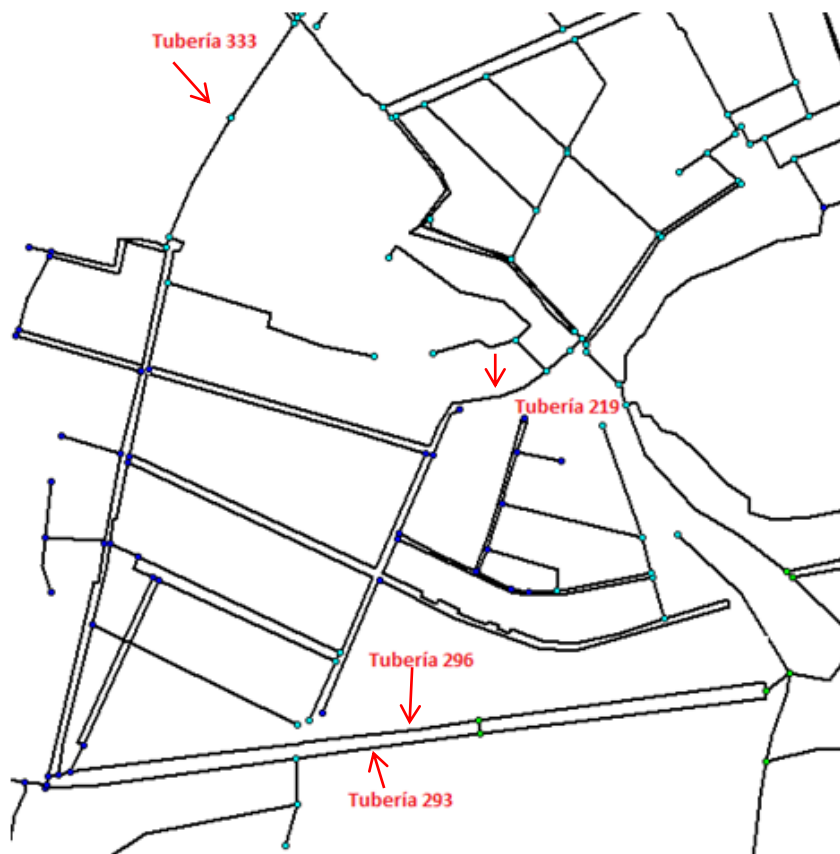
Por otro lado, tras seguir la evolución del barrio de “La Solana”, se observó desde un primer momento la necesidad de instalar un sistema de bombeo que bombeara a la zona afectada, aislando ésta del resto de la red. Con esto, se pretendió evitar la exposición del resto de nudos de la población a elevadas presiones, aumentando la presión únicamente en la zona necesitada de una bomba mucho más pequeña a la bomba instalada actualmente, consiguiendo así un gran ahorro energético.

Cabe mencionar que en ambas estaciones de bombeo se instalarían dos bombas iguales en paralelo con el objetivo de tener una como repuesto en caso de que la que se encuentra en marcha se averiase. Por lo que, aunque únicamente se haga mención a una bomba, ya que siempre trabajará una sola, se ha de tener en cuenta para los siguientes cálculos y curvas.

6.1. Instalación de la bomba en “La Solana”

Primero de todo, se debe de especificar que las mejoras se han llevado a cabo bajo el escenario más crítico que se puede dar: Hora punta en verano. Cuando las presiones en los puntos de consumo de la red y sobre todo en la zona afectada, se encuentran en los valores más bajos.

El primer paso llevado a cabo para iniciar la mejora del barrio de La Solana, consistió en desactivar la bomba principal que abastece a la población. Seguidamente, fue necesario cerrar las tuberías que en el siguiente mapa aparecen marcadas con la flecha roja para aislar la zona donde se va realizar la mejora del resto de la red. Es conveniente tener una menor zona acotada, ya que así se evita tener que disponer de una bomba de elevada potencia, permitiendo una reducción de los costes de mejora.



Mapa 22: Tuberías cerradas para aislar el barrio La Solana del resto de la red

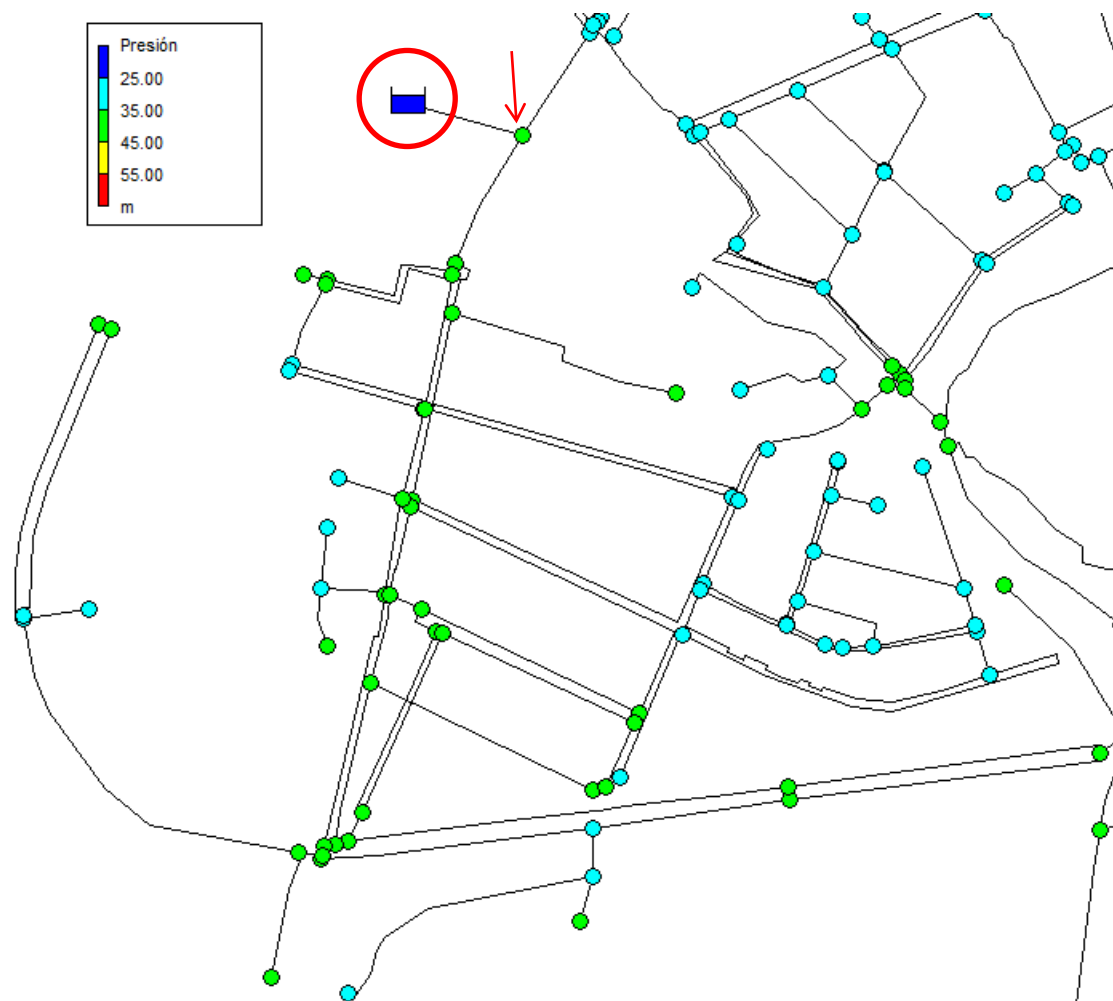
A continuación, con el objetivo de conocer la altura necesaria que la bomba debe aportar, se insertó un depósito atmosférico conectado a la red aislada mediante una tubería de 1m, para evitar pérdidas en ella. Lo que se pretendió con éste, fue simular el comportamiento de la futura bomba. Y para ello, se comprobó la altura piezométrica que se tenía inicialmente a la salida del depósito (flecha roja) cuando éste no estaba conectado y las presiones en los nudos estaban por debajo de los 20 mca, teniendo en ese momento, 635 mca. Tras su colocación y la subida de su cota hasta un valor que permitiera a la zona alcanzar presiones superiores a la presión mínima de servicio, se revisó el valor de la altura piezométrica del depósito, coincidente con la presión en el nudo a su salida, que era aproximadamente de 649 mca. Por lo que, mediante la diferencia entre las alturas piezométricas del nudo de salida antes y después de la colocación del depósito con su correspondiente cota, se pudo obtener la altura necesaria de la bomba. Es decir:

$$H_{bomba} = H_{salida \text{ tras la conexión del depósito}} - H_{salida \text{ inicial}} \text{ [mca]} \quad (7)$$

Que en nuestro caso:

$$H_{bomba} = 649 - 635 = 14 \text{ mca}$$

Por lo que la altura mínima necesaria proporcionada por la bomba tendrá que ser de al menos 14 mca, a los cuales corresponde un caudal de unos 13 l/s, por ser el caudal neto entrante del depósito (coincide con la demanda de la zona en horas punta).



Mapa 23: Conexión del depósito atmosférico a La Solana

Una vez conocido el punto de trabajo de la bomba, se procede a la búsqueda y la selección de la misma mediante diferentes catálogos. Para ello, se utilizó el programa de selección de productos de **Grundfos**, por permitir el fácil dimensionamiento de la bomba insertando su punto de trabajo y su aplicación. De esta forma, la bomba seleccionada fue una bomba centrífuga vertical de fundición, modelo **CRE 45-1-1 A-F-A-E-HQQE- 99072009**, cuyo motor trifásico incluye un variador de frecuencia y un controlador PI, para regular la presión de salida.



Ilustración 39: Bomba modelo CRE 45-1-1 A-F-A-E-HQQE- 99072009

Las siguientes imágenes muestran la curva de rendimiento y la curva de potencia de la bomba con su punto de funcionamiento: $Q=13$ l/s, $H=14$ m a una eficiencia total del 62,8% que se consigue con una velocidad de giro del 81%. El resto de especificaciones se muestran en los anexos.

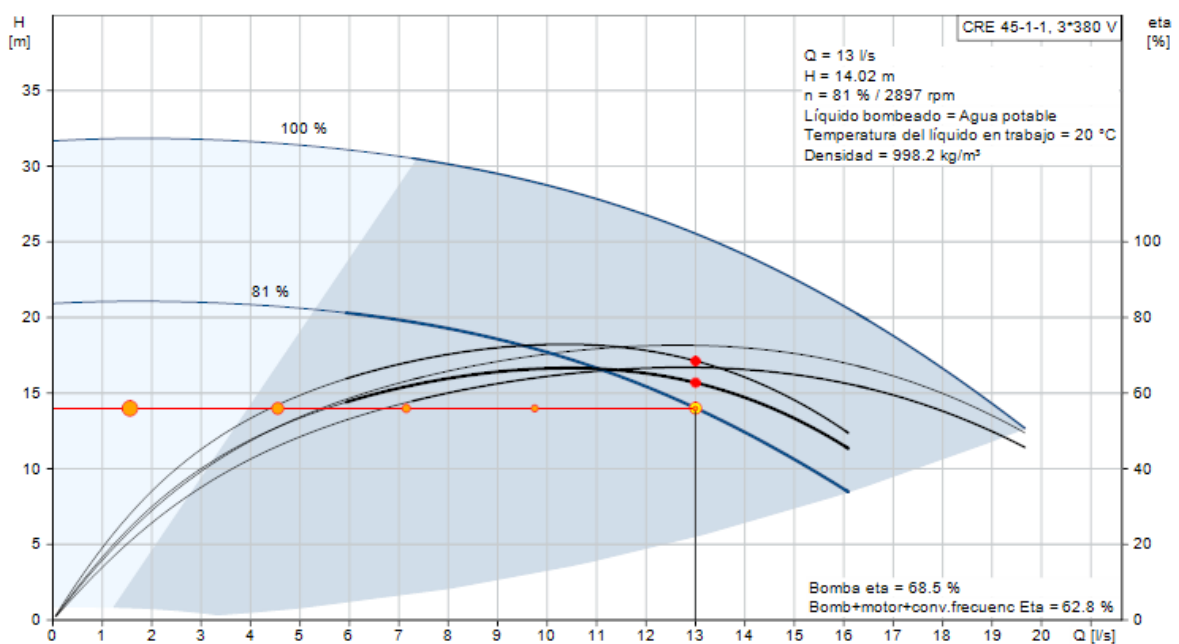


Ilustración 40: Curva de rendimiento de la bomba instalada en La Solana

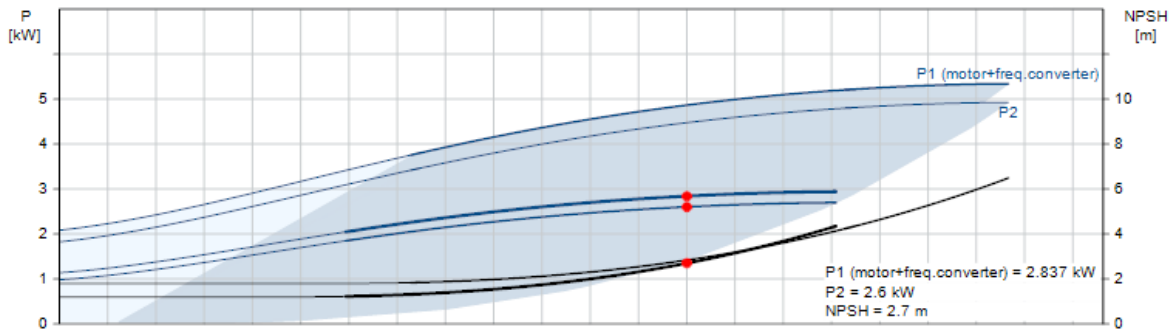
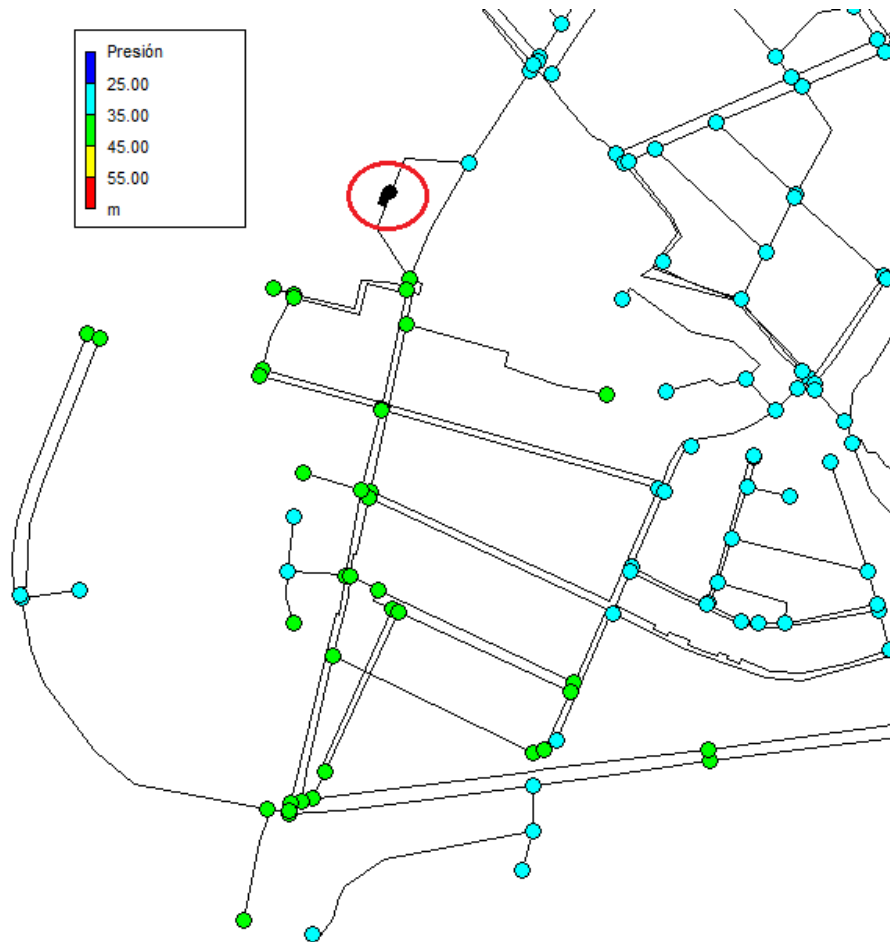


Ilustración 41: Curva de potencia de la bomba instalada en La Solana

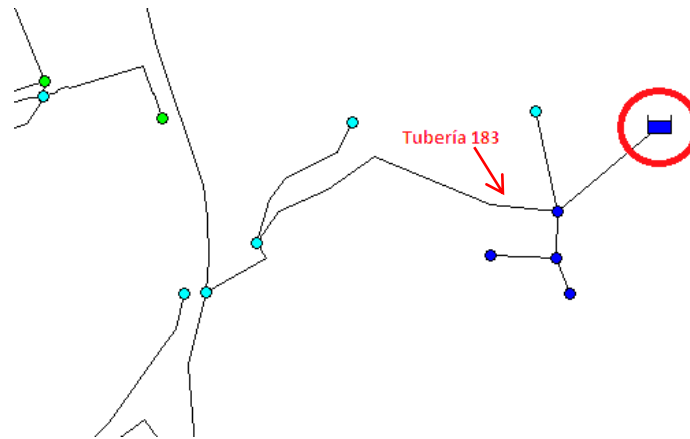
Tras instalar la bomba en Epanet se obtiene que en las condiciones de hora punta (escenario más crítico) las presiones están por encima de la presión mínima de servicio cuando la bomba trabaja con velocidad relativa igual a la unidad. Es conveniente recordar que se está trabajando en condiciones límite y que la bomba dispone de un variador de frecuencia capaz de modificar la velocidad de giro y aportar más o menos caudal en función de la demanda, por lo que la presión en los nudos será por lo general más baja y se mantendrá dentro de los límites establecidos [25-40 mca].



Mapa 24: Instalación de la bomba en La Solana en EPANET

6.2. Instalación de la bomba en “Los calderones”

Una vez realizada la mejora en el barrio de “La Solana”, se continúa con la otra zona crítica de la población: Los Calderones. Nuevamente, el dimensionamiento de la bomba se ha realizado bajo las condiciones más críticas, durante hora punta en verano, por presentar presiones más bajas. Del mismo modo que antes, el procedimiento que se ha llevado a cabo para conocer el punto de trabajo de la bomba ha sido: aislar la zona de la red, simular el comportamiento de la bomba mediante un depósito y elegir la bomba a partir del programa de **Grundfos**. Para aislar la zona del resto de la red, únicamente ha sido necesario cortar el paso del agua por la tubería 183. Conectando el depósito directamente al nudo de salida cuya altura piezométrica inicial es de 633 mca.



Mapa 25: Aislamiento y conexión del depósito atmosférico de Los Calderones

En este caso, la cota a la que se ha tenido que situar el depósito para alcanzar unas presiones deseables es de 645 m. Como inicialmente la altura de dicho nudo era de 633 mca, la altura que deberá proporcionar la bomba es ligeramente superior a 10 mca. Y el caudal que circulará por ésta, en esas condiciones, será de aproximadamente 1 l/s.

$$H_{bomba} = 645 - 633 = 12 \text{ mca}$$

Propiedad	Valor
*ID Embalse	2
Coordenada-X	668902.32
Coordenada-Y	4325392.39
Descripción	
Etiqueta	
*Altura Total	645
Patrón de Altura	
Calidad Inicial	
Fuente de Calidad	
Caudal Neto Entrante	0.99
Cota	645.00
Presión	0.00
Calidad	0.00

Ilustración 42: Caudal que debe aportar la bomba en Los Calderones

Por tanto, una vez obtenido el punto de funcionamiento ($H=12$ mca, $Q= 1$ l/s) se procede a la búsqueda de la bomba del mismo modo que la anterior. El grupo de presión seleccionado es el modelo **CRE 3-2 A-A-A-E-HQQE - 98389684**, que consiste en una bomba centrífuga vertical multietapa de fundición con descarga y aspiración en línea. El motor monofásico también dispone de un convertidor de frecuencia y un controlador PI para adaptar la velocidad de giro y de este modo el rendimiento de la bomba.



Ilustración 43: CRE 3-2 A-A-A-E-HQQE - 98389684

La curva de rendimiento y de potencia de la bomba instalada se muestra a continuación para su punto de trabajo ($Q= 1$ l/s, $H=12$ m). El resto de parámetros, al igual que los de la bomba anterior, se muestran en los anexos.

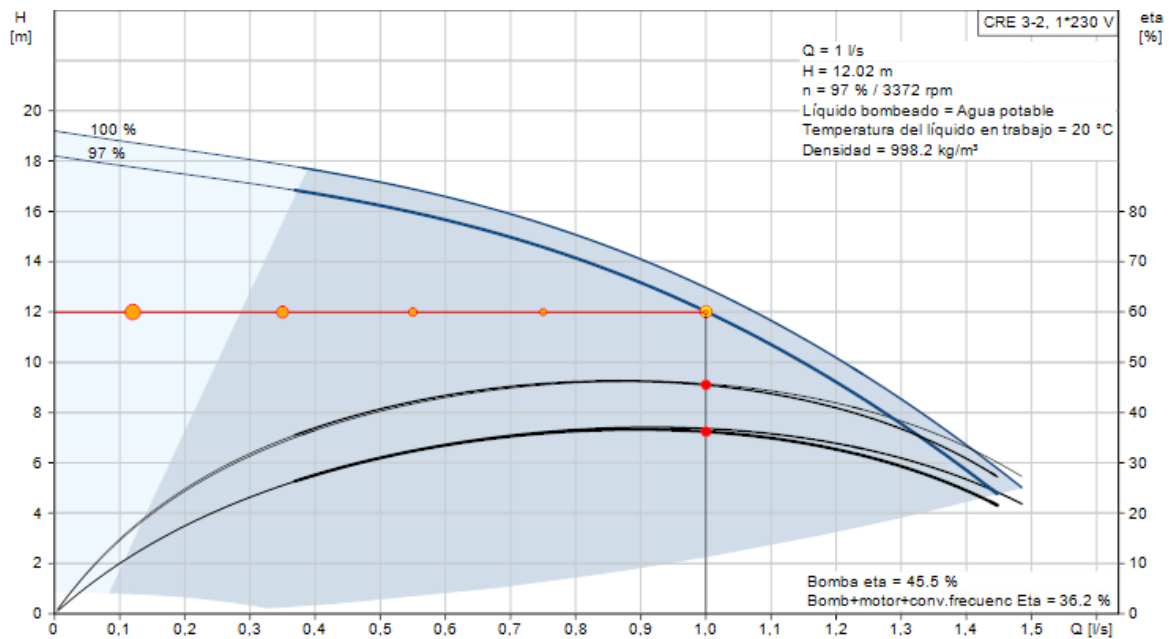


Ilustración 44: Curva de rendimiento de la bomba instalada en La Solana

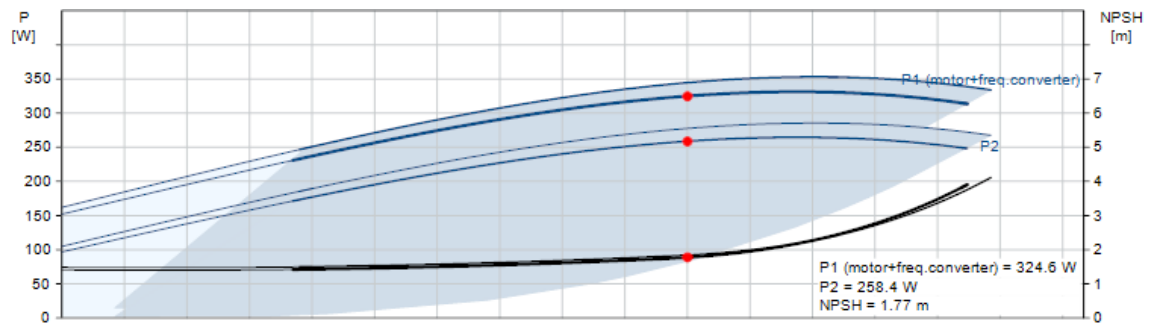
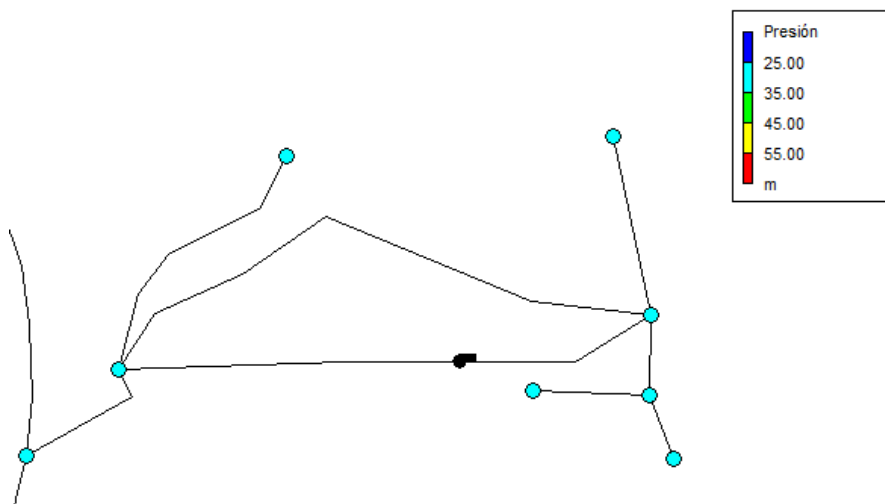


Ilustración 45: Curva de potencia de la bomba instalada en La Solana

Finalmente, la zona del modelo con la nueva bomba instalada resultaría la mostrada en el **Mapa 32**, donde las presiones de los nudos, para las condiciones más críticas, superan ahora la presión mínima de servicio de 25 mca cuando la bomba trabaja a su máxima potencia, es decir, con una velocidad relativa de 1. La bomba tiene instalado un variador de frecuencia, por lo que, en función de la demanda, girará a una determinada velocidad para proporcionar más o menos energía al sistema, permitiendo un mayor ahorro energético.



Mapa 26: Instalación de la bomba en La Solana en EPANET

6.3. Simulación de la red con las mejoras instaladas

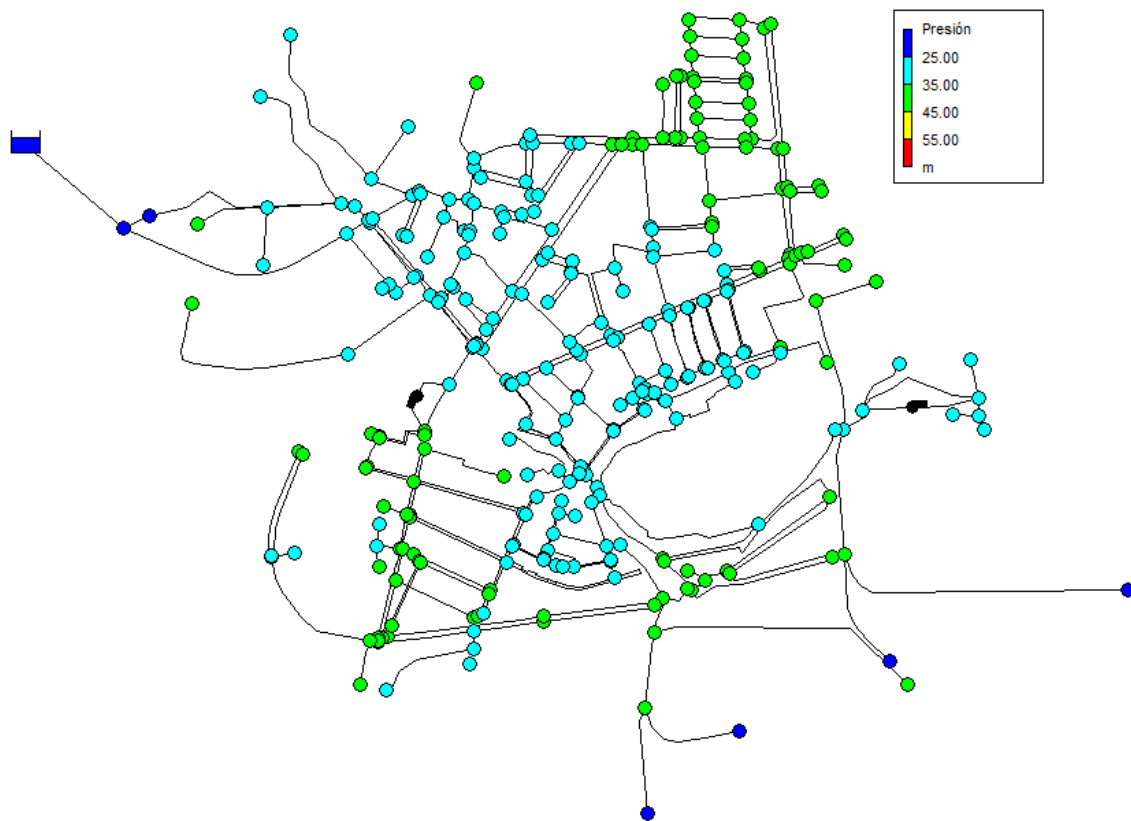
Una vez realizadas las dos mejoras y eliminado la estación de bombeo principal, el modelo de EPANET queda como se muestra en el siguiente mapa. Por las simulaciones realizadas anteriormente se conoce el intervalo de caudales entre los cuales se sitúa el punto de inflexión para el cual la red pasa de tener presiones superiores a 25 mca a manifestar la necesidad de la conexión de la bomba en la zona de trabajo. Con el objetivo de conocer dicho punto de inflexión, se han realizado una serie de iteraciones, que no se muestran, que permiten conocer de forma exacta, el caudal mínimo para el cual deben estar trabajando ambas bombas. De este modo, se sabe que la bomba instalada en Los Calderones deberá estar en marcha en todo momento. Por otro lado, se comprueba que la bomba en La Solana lo hará cuando el volumen inyectado en la red sea superior a los 25 l/s. Ambas bombas girarán a mayor velocidad a medida que se incremente el volumen inyectado en la red.



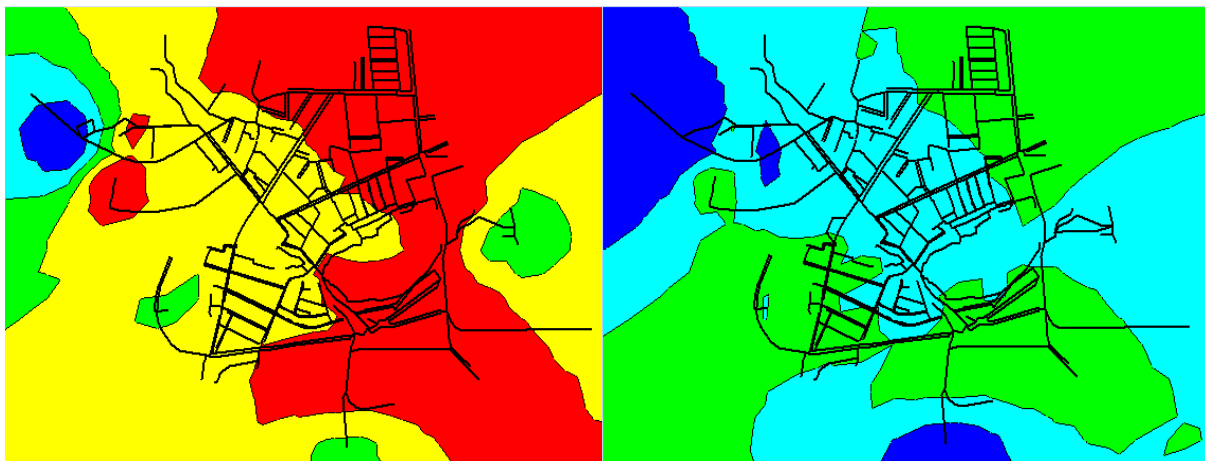
Mapa 27: Modelo final con las mejoras incluidas

A partir del modelo final obtenido se va a simular la condición de máxima demanda que tiene lugar durante la hora punta en los meses de verano para comparar la nueva situación (2 bombas instaladas) con lo que ocurría anteriormente cuando se ponía en marcha la estación de bombeo principal en esas mismas condiciones. El escenario se corresponde, por lo indicado anteriormente, con un caudal total inyectado de 61 l/s.

El **mapa 34** muestra las presiones en los puntos de consumo, y se aprecia como en todos ellos se alcanza la presión mínima deseable sin llegar a excederse demasiado, a excepción de un reducido número de puntos, cuyas presiones rondan los 46 mca.



Mapa 28: Presiones en los nudos del modelo final para $Q=61$ l/s



Mapa 29: Mapa de presiones para $Q=61$ l/s con la bomba central conectada a la izquierda y las mejoras realizadas a la derecha

Las dos imágenes muestran el mismo escenario en hora punta en verano. La imagen de la derecha incluye las mejoras realizadas en los barrios de La Solana y Los Calderones con sus respectivas bombas, mientras que la imagen de la izquierda se ha realizado estando la estación de bombeo principal conectada. Como se observa en los dos mapas, las presiones en toda la red disminuyen notablemente cuando se incluyen las mejoras. De este modo, se consigue reducir el volumen de fugas, que a largo plazo deriva en elevados costes de inspección y sustitución de tuberías.

Se puede concluir que las mejoras, centrándose únicamente en las zonas críticas donde las presiones alcanzan valores muy bajos, aportan alivio al resto de la red y generan un estado de presiones más equilibrado y homogéneo.

6.4. Estudio de viabilidad económica

El análisis económico y la comparación de las 3 bombas (la actual, la bomba de La Solana y la bomba de Los Calderones) se va a realizar teniendo en cuenta la potencia absorbida por cada una de ellas durante el periodo de trabajo al que deben someterse. El estudio de la potencia absorbida por la bomba actual se va a llevar a cabo durante el intervalo de trabajo comprendido entre las 07:00 y las 00:00 h, por conocerse que durante ese periodo de tiempo la bomba se encuentra conectada, y aunque no se asegura que esté trabajando continuamente durante esas 17 horas, se realizará el análisis en función de ese tiempo, por falta de datos. El intervalo de trabajo de las dos nuevas bombas se establecerá en función de los resultados obtenidos en el apartado 5 de simulaciones, donde se realiza un seguimiento del comportamiento de la red y las presiones en función de la demanda, ya que no necesariamente deben trabajar durante el mismo periodo de tiempo, permitiendo no solo un ahorro energético debido al uso de bombas de una menor potencia, sino también, a la reducción del tiempo de consumo.

Por otro lado, el cálculo del precio de consumo energético mensual se va a realizar a partir del precio de un solo día, por ser el único día del que se dispone información. Por lo que se va a asumir, de forma aproximada, que el consumo energético será constante a lo largo de un mes. Para conocer el precio del kWh en función de la hora (hora punta u hora valle) y de la época del año (verano o invierno) se consultará el tríptico de tarifas de Iberdrola. Cada bomba tendrá una potencia y tarifa contratada en función de su consumo, y dichas tarifas se mostrarán a continuación para cada bomba. Por otro lado, para conocer la potencia que se podría contratar para cada una de las nuevas bombas, se revisarán las potencias normalizadas de Iberdrola y se seleccionará ésta en función de la máxima potencia que consuma la bomba.

INTENSIDAD (A)	MONOFÁSICOS		TRIFÁSICOS	
	220v	230v	3*220/380v	3*230/400V
1,5	0,330	0,3450	0,987	1,039
3	0,660	0,690	1,975	2,078
3,5	0,770	0,805	2,304	2,425
5	1,100	1,150	3,291	3,464
7,5	1,650	1,725	4,936	5,196
10	2,200	2,300	6,582	6,928
15	3,300	3,450	9,873	10,392
20	4,400	4,600	13,164	13,856
25	5,500	5,750	16,454	17,321
30	6,600	6,900	19,745	20,785
35	7,700	8,050	23,036	24,249
40	8,800	9,200	26,327	27,713
45	9,900	10,350	29,618	31,177
50	11,000	11,500	32,909	34,641
63	13,860	14,490	41,465	43,648

Ilustración 46: Valores normalizados de potencia (Iberdrola, 2018)

Centrándonos en la parte que nos concierne, se describe el proceso seguido para la elaboración del estudio de viabilidad. De primeras se ha introducido en el modelo la curva de modulación creada a partir del volumen inyectado en la red durante los dos días de verano e invierno, que se toman como días tipo, para, a continuación, realizar un seguimiento de varios parámetros de la bomba durante las 17 horas de trabajo (velocidad relativa, presión de consigna a la salida, y altura y caudal bombeado para cada hora). Con esta información se ha podido calcular la potencia y el rendimiento de trabajo en función de la hora, y como consecuencia, el coste de la energía consumida por la bomba durante su funcionamiento. Este procedimiento se ha repetido para todas las bombas con el objetivo de realizar la comparación entre ellas.

Cabe señalar dos aspectos sobre las tablas que se mostraran a continuación. Por un lado, se debe de tener en cuenta que la pequeña variación existente entre el caudal real, obtenido a partir de la lectura del contador a la salida del depósito, y el que muestra EPANET puede deberse a que para el cálculo de los coeficientes de modulación no se tenían valores exactos del volumen inyectado y se tuvieron que sacar a ojo a partir de las **Ilustraciones 27 y 28**. Por otro lado, hay que indicar que en el cálculo de la potencia se tiene en cuenta el rendimiento total de la bomba, por lo que, el rendimiento volumétrico mostrado en la tabla se verá multiplicado por el rendimiento mecánico del motor, que toma un valor de 0,8.

6.4.1. Coste energético de la bomba actual

La tarifa contratada actualmente es la Tarifa 3.0A, que establece el precio del kWh en función de la hora del día (discriminación horaria), diferenciando entre horas punta, horas llano y horas valle. En la **Tabla 14**, el precio para cada hora está calculado en función del tipo de hora y el precio dependiendo de si es hora valle, punta o llano.

POTENCIA CONTRATADA (kW)	PERÍODO PUNTA	PERÍODO LLANO	PERÍODO VALLE
TÉRMINO DE POTENCIA (€/kW AÑO)	42,203054	25,601311	18,211416
TÉRMINO DE ENERGÍA (€/kWh)	0,110571	0,092887	0,065842

Ilustración 47: Precios Tarifa 3.0A 2018 (Iberdrola, 2018)

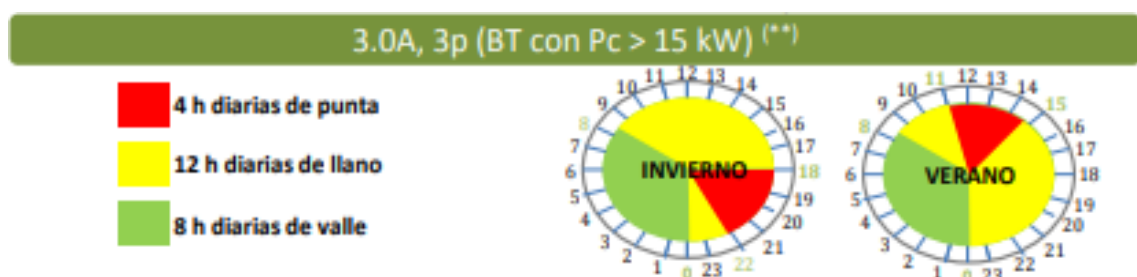


Ilustración 48: Diferencia de horas en la tarifa 3.0A (Iberdrola, 2018)

Hora	Q real (l/s)	Q _{EPANET} (l/s)	P _{consigna} (mca)	α	H _b (mca)	η (%)	P (kW)	E (kWh)
7:00	36,11	36,04	25,09	0,56	14,15	71,11	8,79	8,79
8:00	44,44	44,59	25,05	0,62	16,64	62,61	14,53	14,53
9:00	47,22	47,3	24,17	0,63	12,59	58,00	12,59	12,59
10:00	47,22	47,3	24,17	0,63	12,59	58,00	12,59	12,59
11:00	52,77	52,7	27,94	0,71	18,12	59,31	19,74	19,74
12:00	61,11	61,26	28,02	0,82	23,87	58,58	30,61	30,61
13:00	48,61	48,65	25,07	0,65	14,94	58,36	15,27	15,27
14:00	48,61	48,65	25,07	0,65	14,94	58,36	15,27	15,27
15:00	47,22	47,3	24,17	0,63	13,95	58,00	13,95	13,95
16:00	48,61	48,65	25,07	0,65	14,94	58,36	15,27	15,27
17:00	47,22	47,3	24,17	0,63	13,95	58,00	13,95	13,95
18:00	47,22	47,3	24,17	0,63	13,95	58,00	13,95	13,95
19:00	50,00	50	25,99	0,67	15,97	58,70	16,68	16,68
20:00	50,00	50	25,99	0,67	15,97	58,70	16,68	16,68
21:00	50,00	50	25,99	0,67	15,97	58,70	16,68	16,68
22:00	52,77	52,7	27,94	0,71	18,12	59,31	19,74	19,74
23:00	48,61	48,65	25,07	0,65	14,94	58,36	15,27	15,27
24:00	41,66	45,95	24,18	0,62	13,86	59,48	13,13	13,13

Tabla 13: Consumo energético de la bomba actual durante 1 día de verano

Potencia máxima	Energía total consumida
30,61 kW	284,72 kWh

Tabla 14: Potencia máxima y energía total consumida en 1 día de verano

Como se observa en la **Tabla 15**, la bomba actual consume alrededor de 284,72 kWh durante las 17 h que trabaja cada día de verano, originando un coste energético en torno a los 23,76 € diarios, y 736 € mensuales, sin tener en cuenta el precio fijo de potencia contratada (50 kW), que asciende a los 110,01 € mensuales. Obviamente, como se comentaba anteriormente, el coste energético diario y mensual variará en función de la demanda, pero por falta de datos, se ha

asumido que la bomba consume la misma potencia cada día. Y este hecho, se asumirá para el resto de casos para las diferentes bombas.

ENERGÍA	CONCEPTO	COSTE
Potencia facturada	50kW x 3,55€/kWdía x 31 días	110,01 €
Energía facturada	P 80,899 kWh x 0,110571€/kWh x 31 días	277,14 €
	L 152,089 kWh x 0,065842€/kWh x 31 días	310,31 €
	V 51,729 kWh x 0,092887€/kWh x 31 días	148,8 €
Coste total al mes		846,26 €

Tabla 15: Factura mensual de verano (bomba actual)

Cabe mencionar que esta factura y las siguientes no incluyen el impuesto sobre la electricidad (5,112%), el IVA y el coste de otros servicios. Es una factura mensual orientativa que permitirá comparar los costes energéticos generados por cada una de las bombas. Para calcular el coste durante los meses de invierno, se va a realizar la misma tabla teniendo en cuenta que las horas valle, punta y llano varían como se muestra en la **Ilustración 48**.

Hora	Q real (l/s)	Q _{EPANET} (l/s)	P _{consigna} (mca)	α	H _b (mca)	H (%)	P (kW)	E (kWh)
7:00	22,78	22,77	15,07	0,31	3,53	60,45	1,63	1,63
8:00	26,11	25,88	15,86	0,35	4,43	59,73	2,35	2,35
9:00	36,11	35,86	19,12	0,48	8,18	58,57	6,14	6,14
10:00	38,61	38,36	19,91	0,51	9,11	57,79	7,41	7,41
11:00	36,67	36,49	19,49	0,49	8,58	58,94	6,51	6,51
12:00	34,17	33,99	18,72	0,46	7,67	59,80	5,34	5,34
13:00	36,11	35,86	19,12	0,48	8,18	58,57	6,14	6,14
14:00	34,17	33,99	18,72	0,46	7,67	59,80	5,34	5,34
15:00	34,17	33,99	18,72	0,46	7,67	59,80	5,34	5,34
16:00	33,33	33,06	17,89	0,44	6,80	57,91	4,76	4,76
17:00	38,61	38,36	19,91	0,51	9,11	57,79	7,41	7,41
18:00	37,22	37,11	19,86	0,5	8,99	59,31	6,89	6,89

19:00	36,11	35,86	19,12	0,48	8,18	58,57	6,14	6,14
20:00	32,78	32,43	18,18	0,44	7,05	60,08	4,66	4,66
21:00	34,44	34,3	18,17	0,46	7,54	58,79	5,39	5,39
22:00	36,67	36,49	19,49	0,49	8,58	58,94	6,51	6,51
23:00	36,67	36,49	19,49	0,49	8,58	58,94	6,51	6,51
24:00	33,33	33,06	17,89	0,44	6,80	57,91	4,76	4,76

Tabla 16: Consumo energético de la bomba actual durante 1 día de invierno

Potencia máxima	Energía total consumida
7,42 kW	99,29 kWh

Tabla 17: Potencia máxima y energía total consumida en 1 día de invierno

De este modo, la factura mensual de la bomba conectada durante invierno, podría calcularse como:

ENERGÍA	CONCEPTO	COSTE
Potencia facturada	50kW x 3,55€/kWdía x 31 días	110,01 €
Energía facturada	P 23,098 kWh x 0,110571€/kWh x 31 días	79,05 €
	L 69,804 kWh x 0,065842€/kWh x 31 días	142,60 €
	V 6,391 kWh x 0,092887€/kWh x 31 días	15,5 €
Coste total al mes		347,16 €

Tabla 18: Factura mensual de invierno (bomba actual)

Tomando 3 meses de verano y 9 meses de invierno, se puede hacer una aproximación del coste energético anual de la estación de bombeo actual, que asciende a los 5.663,22 €, **Tabla 20**.

Coste de un mes de verano	846,26 €
Coste de un mes de invierno	347,16 €
Coste anual	5.663,22 €

Tabla 19: Coste energético anual simplificado de la bomba actual

6.4.2. Coste energético de la bomba instalada como mejora en La Solana

Por lo visto en el apartado 5.2 de simulaciones, y aunque no está indicado, se han realizado varias iteraciones entre los dos primeros escenarios para conocer el caudal total inyectado en la red que provocaría la necesidad de poner en marcha la bomba instalada en La Solana, siendo éste de 25 l/s. Una vez superado, las presiones en los nudos de la zona comenzarán su descenso hasta valores inferiores a 25 mca. Por los datos de caudales inyectados que se tienen para un día de invierno y de verano, se sabe que la bomba necesitará trabajar 24 h durante los meses de verano, y un intervalo comprendido entre las 08:00-0:00 h durante los meses de invierno. A pesar de que se ha calculado la altura aportada por la bomba para esos periodos, se ha comprobado que durante las horas nocturnas la altura que debe aportar la bomba es muy reducida (<5 mca), y se establece, por tanto, que para las situaciones en las que la altura de la bomba sea inferior a 4 mca, la bomba podría estar generalmente parada y podría ponerse en marcha, si fuera necesario, por algún pico de demanda o bajo los requerimientos de los usuarios. Por esta razón, la **Tabla 21**, se calcula únicamente desde las 08:00 h hasta las 22:00 h para los meses de verano; y a pesar de que ésta se desconecte en horas donde la presión en la acometida es inferior a los 25 mca, se debe aclarar que esa presión es una presión de referencia fijada por nosotros, pudiendo ser inferior en la zona (sin bajar de 20 mca), debido al número de plantas de los edificios construidos en ella. Este hecho se considerará también para el caso de la bomba instalada en Los Calderones, que presenta edificios de incluso una menor altura.

Por otro lado, y como se observa en las siguientes tablas, la potencia máxima que absorbe la bomba entre los meses de invierno y verano es de 3,04 kW. De este modo, la tarifa que podría contratarse sería la 2.0A [Pc<10 kW], que sin tener discriminación horaria (precio dependiente de la estación del año y de la hora) supone los costes mostrados en la siguiente Ilustración. Para calcular la potencia que debería contratarse se tiene en cuenta la intensidad y la tensión requerida por el motor trifásico de la bomba (9,95 A, 400 V) en la **Ilustración 46**, donde se muestran las potencias normalizadas de Iberdrola. La potencia contratada elegida es de 6,928 kW.

COR FIJO ANUAL	TP (€/kW AÑO)	TE (€/kWh) PUNTA	TE (€/kWh) VALLE
Electricidad 2.0A	38,043426		0,145760

Ilustración 49: Precios Tarifa 2.0A 2018 (Iberdrola, 2018)

Hora (h)	Q real (l/s)	Q _{EPANET} (l/s)	Q (l/s) bomba	P de consigna (mca)	α	Hb (mca)	η (%)	P (KW)	E (kWh)
8:00	47,22	47,3	9,83	33	0,62	5	67,08	0,81	0,81
9:00	47,22	47,3	9,83	33	0,62	5	67,08	0,81	0,81
10:00	52,78	52,7	10,95	35,14	0,78	8,05	71,63	1,51	1,51
11:00	61,11	61,26	12,73	35,9	1	14,19	72,94	3,04	3,04

12:00	48,61	48,65	10,11	33,95	0,66	5,31	68,75	0,96	0,96
13:00	48,61	48,65	10,11	33,95	0,66	5,31	68,75	0,96	0,96
14:00	47,22	47,3	9,83	33	0,62	5	67,08	0,81	0,81
15:00	48,61	48,65	10,11	33,95	0,66	5,31	68,75	0,96	0,96
16:00	47,22	47,3	9,83	33	0,62	5	67,08	0,81	0,81
17:00	47,22	47,3	9,83	33	0,62	5	67,08	0,81	0,81
18:00	50	50	10,39	34,56	0,7	6,67	70,00	1,21	1,21
19:00	50	50	10,39	34,56	0,7	6,67	70,00	1,21	1,21
20:00	50	50	10,39	34,56	0,7	6,67	70,00	1,21	1,21
21:00	52,78	52,7	10,95	35,14	0,78	8,05	71,63	1,51	1,51
22:00	48,61	48,65	10,11	33,95	0,66	5,31	68,75	0,96	0,96

Tabla 20: Consumo energético de la bomba instalada en La Solana durante 1 día de verano

Potencia máxima	Energía total consumida
3,04 kW	18,25 kWh

Tabla 21: Potencia máx. y energía consumida en 1 día de verano por la bomba de La Solana

La bomba consumiría tan solo 18,25 kWh trabajando durante un día de verano. Esto conlleva a un coste energético en torno a los 2,66 € diarios, y 82,47 € mensuales (sin tener en cuenta el precio fijo de potencia contratada (6,928 kW)). A continuación se muestra el coste total mensual que produciría la bomba instalada en La Solana durante los meses de verano.

ENERGÍA	CONCEPTO	COSTE
Potencia facturada	6,928 kW x 1 mes x 3,17 €/mes	21,96 €
Energía facturada	18,25 kWh x 0,145760 €/kWh x 31 días	82,47 €
Coste total al mes		104,43 €

Tabla 22: Factura simplificada mensual de verano (bomba instalada en Los Calderones)

Por otro lado, a pesar de la necesidad de bombeo durante las 08:00-0:00 h en los meses de invierno, tras realizar los cálculos pertinentes para el cálculo del coste energético de la bomba y teniendo en cuenta lo mencionado con anterioridad, se llega a la conclusión de que ésta podría no ponerse en marcha en condiciones normales, con excepción de los picos de demanda y otros requerimientos, ya que la altura máxima que la bomba aporta en la condición más crítica es de tan solo 1,23 mca.

Para terminar, se calcula aproximadamente y de forma muy simplificada (sin incluir el IVA, los impuestos y otros costes) el coste anual que supone el funcionamiento de la bomba instalada en La Solana, donde, solo se tiene en cuenta los 3 meses de verano (comprendido entre el 15 de junio y el 15 de septiembre) y el coste fijo de la potencia contratada durante los 9 meses de invierno.

Precio de un mes de verano	104,43 €
Precio de un mes de invierno	21,96 €
Precio anual	510,93 €

Tabla 234: Coste energético anual simplificado de la bomba de La Solana

6.4.3. Coste energético de la bomba instalada en Los Calderones

Por lo visto en el apartado 6.3, se conoce que la bomba de Los Calderones debe ponerse en marcha cuando el volumen inyectado en la red es superior a 22 l/s. Desafortunadamente, este caudal es superado a todas las horas durante los meses de invierno y verano, por lo que la bomba tendría la obligación de estar bombeando 24 h durante todo el año. Sin embargo, por lo comentado anteriormente, se considerarán únicamente las horas en las que la altura aportada por la bomba alcanza los 4 mca.

Por otro lado, y como se observa en las siguientes tablas, la potencia máxima que absorbe la bomba entre los meses de invierno y verano es de 0,23 kW. Por lo que la tarifa de Iberdrola que podría contratarse sería nuevamente la 2.0A [Pc<10 kW], que sin tener discriminación horaria (precio dependiente de la estación del año y de la hora) supone los costes ya mostrados en la **Ilustración 49**. Del mismo modo, para conocer la potencia a contratar, se consulta la tabla de potencias normalizadas de Iberdrola, mostrada en la **Ilustración 46**. Sabiendo que el motor de la bomba es monofásico, y tiene una corriente nominal de 2,3 A y que la tensión normalizada en España es de 230 V para sistemas monofásicos, la potencia que se debería de contratar es de 0,390 kW. A partir de de la tarifa seleccionada, se calculan los costes mensuales de la bomba.

Hora (h)	Q real (l/s)	Q _{EPANET} (l/s)	Q (l/s) bomba	P de consigna (mca)	α	Hb (mca)	η (%)	P (kW)	E (kWh)
10:00	52,78	52,7	0,86	21,53	0,64	4,22	30,77	0,14	0,14
11:00	61,11	61,26	0,99	21,65	0,71	5,18	46,70	0,23	0,23
12:00	48,61	48,65	0,79	21,64	0,81	6,66	46,70	0,14	0,14
13:00	48,61	48,65	0,79	21,64	0,81	6,66	35,88	0,14	0,14
14:00	47,22	47,3	0,77	21,56	0,61	3,88	46,70	0,10	0,10
15:00	48,61	48,65	0,79	21,64	0,81	6,66	35,88	0,14	0,14

16:00	47,22	47,3	0,77	21,56	0,61	3,88	35,88	0,10	0,10
17:00	47,22	47,3	0,77	21,56	0,61	3,88	36,78	0,10	0,10
18:00	50,00	50	0,81	21,7	0,65	4,60	36,78	0,12	0,12
19:00	50,00	50	0,81	21,7	0,65	4,60	36,78	0,12	0,12
20:00	50,00	50	0,81	21,7	0,65	4,60	35,74	0,12	0,12
21:00	52,78	52,7	0,86	21,68	0,68	4,80	40,94	0,14	0,14
22:00	48,61	48,65	0,79	21,97	0,68	4,87	40,94	0,12	0,12

Tabla 2524: Consumo energético de la bomba instalada en Los Calderones durante 1 día de verano

Potencia máxima	Energía total consumida
0,23 kW	1,73 kWh

Tabla 256: Potencia máx.y energía consumida en 1 día de verano por la bomba de Los Calderones

Como se observa en la **Tabla 26**, la bomba consumiría tan solo 1,73 kW durante un día de verano, provocando un coste energético en torno a los 0,25 € diarios, y 7,80 € mensuales (sin tener en cuenta el precio fijo de potencia contratada (0,39 kW)). A continuación se muestra el coste total mensual que produciría la bomba instalada en Los Calderones.

ENERGÍA	CONCEPTO	COSTE
Potencia facturada	0,39 kW x 1 mes x 3,17€/mes	1,24 €
Energía facturada	1,73 kWh x 0,145760€/kWh x 31 días	7,80 €
Coste total al mes		9,04 €

Tabla 27: Factura simplificada mensual de verano (bomba instalada en Los Calderones)

Del mismo modo que ocurría para los meses de invierno con la otra bomba, la altura máxima aportada por la bomba de Los Calderones en su hora más crítica, no alcanza ni los 3 mca. Por lo que se omite la tabla del coste energético de la bomba y se establece que no sería necesaria la conexión de ésta, salvo para casos puntuales de demanda.

Por último, y como se ha realizado con anterioridad, se calcula aproximadamente y de forma simplificada, el coste anual de la bomba tomando 3 meses de verano y 9 meses de invierno (coste de la potencia contratada).

Coste de un mes de verano	9,04 €
Coste de un mes de invierno	1,24 €
Coste anual	38,28 €

Tabla 28: Coste energético anual de la bomba instalada en Los Calderones

6.4.4. Conclusiones sobre el análisis energético

Si se suma el precio anual del coste energético de las dos nuevas bombas y se compara con el coste energético anual actual se comprueba el enorme ahorro energético que supone instalar dos bombas de menor potencia. El ahorro asciende a unos 5.113,19 €, que se correspondería con un ahorro del 90%.

Todos los cálculos realizados durante este apartado representan valores representativos, ya que, como se decía, por falta de información se ha establecido que el consumo energético diario se mantiene constante, algo que no es real. Para el cálculo de las facturas tampoco se han tenido en cuenta los impuestos de electricidad, el IVA y otros costes. Pero a pesar de todo, estos resultados nos permiten tener una previsión de los costes energéticos si se quisieran instalar las mejoras. De este modo, se concluye que las mejoras propuestas no sólo consiguen aumentar la presión únicamente en las zonas que lo precisan, proporcionando un equilibrio de presiones y una red más homogénea, sino que, también, permiten disminuir el coste de la factura eléctrica en un 90%.

Coste anual de las mejoras		Coste anual Situación actual
La Solana	510,93 €	5.663,22 €
Los Calderones	38,28 €	
TOTAL	549,21 €	

Tabla 26: Comparación de los costes anuales simplificados

7. CONCLUSIONES

Mediante el presente Trabajo Fin de Grado se ha podido llevar a cabo el modelo matemático de simulación de la red de abastecimiento de Ayora. Durante este largo proceso, se han encontrado dificultades a la hora de la recopilación de datos, debido a la falta de información que se tiene de la red. Por lo que, la creación de un modelo asemejado lo más posible a la realidad ha sido todo un desafío que se cree haber superado en cierto modo, y aunque se tiene consciencia de las limitaciones del modelo, se ha conseguido el objetivo principal de proporcionar al ayuntamiento de Ayora una herramienta con la cual poder trabajar y mejorar su servicio, a la vez que la misma. Algunas medidas que se pueden realizar para la mejora del modelo serían aquellas que mediante la recopilación de los datos de consumos permitieran crear patrones de demanda mucho más reales a los establecidos en este proyecto, puesto que a modo de simplificación y por falta de la información proporcionada por la lectura de los contadores de los abonados a la red, se ha realizado un reparto equitativo entre los 308 nudos de la media del caudal inyectado a la red durante un año, sin tener en cuenta la diferencia de demanda que puede existir entre unas y otras zonas con sus correspondientes nudos. Por lo que disponer de la lectura mensual o trimestral de los contadores de las casas podría permitir una definición de demanda mucho más exacta y real en cada uno de los nudos. Además, sería conveniente llevar a cabo un estudio de la elevación existente en las calles del municipio para verificar que la cota a la que se han situado los nudos coincide con la real, y en caso de que no lo fuera, modificarla, ya que un fallo en la cota puede generar que las presiones sean más o menos bajas. Como última propuesta para la mejora del modelo y de la red hidráulica en general, se podrían habilitar algunos puntos de medida de presión a lo largo de la red para verificar que la presión que se tiene en el modelo corresponde con lo que se tiene en la realidad o saber a cuanto dista de ésta.

Durante el análisis realizado en la red, mediante la simulación de determinados escenarios, se han encontrado elevadas diferencias de presión entre distintas zonas, ya que parte de la población se encontraba dentro del rango de presiones aceptables, mientras que algunas zonas, estaban por debajo de la presión mínima de servicio. Cuando se ha conectado la bomba actual que abastece al pueblo, se ha podido apreciar como las presiones en las zonas que no necesitaban un aumento de presión alcanzaban valores extremadamente altos y generaban una situación de alto riesgo en la red. Este hecho conlleva a plantear una mejora que permita aislar las zonas de bajas presiones del resto de la red, para que, al instalar en ellas grupos de bombeo de menor potencia, consigan elevar su presión sin comprometer al resto de la red.

Por otro lado, en el análisis general realizado durante la hora punta y la hora valle no se han localizado elevadas pérdidas de carga y altas velocidades en las tuberías. Pero por lo comentado anteriormente, en la realidad, dichas velocidades y pérdidas unitarias serían mucho mayores, puesto que el reparto equitativo de demandas que se ha realizado, no tiene en cuenta que la demanda puede concentrarse más en unas zonas que en otras.

Como plan de mejoras se ha propuesto la instalación de dos bombas en las dos zonas de baja presión. Tras su instalación, se ha verificado que cumplieran con su deber de aumentar la presión, y que el coste energético que generasen se redujera notablemente frente a la situación actual. La respuesta positiva permite concluir que se han cumplido los objetivos marcados anteriormente, ya que no solo se ha recopilado información sobre los elementos hidráulicos que componen la red



y se ha modelado ésta en EPANET, creando una herramienta útil para los técnicos del Ayuntamiento, sino que, también se han podido encontrar determinados puntos débiles en la red, comprobando que las mejoras propuestas, presupuestadas en 32.460,14 €, suponen un acierto a nivel energético, funcional, y económico.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Arregui de la Cruz, F. J.; Cabrera Rochera, E.; Cobacho Jordán, R.; Gómez Sellés, E.; Soriano Olivares, J. (2017). *Apuntes de mecánica de fluidos*. Valencia: *Universitat Politècnica de València*
- *Catálogo Grundfos (2018)*. Recuperado el 28 de mayo de 2018.de GRUNDFOS: <https://product-selection.grundfos.com>
- *Catálogo Likitech (2016)*. Recuperado el 17 de mayo de 2018 de Bombas Likitech: <http://www.likitech.com/catalogos.php>
- Catálogo TUYPER grupo (2017). Recuperado el 12 de marzo de 2018: http://www.tuyper.es/opencms/export/sites/tuyper/galeria_descarga/productos/02_tuberiaPE/02presion/01Catalogo_PRESION_PE.pdf
- Catastro (2018). Recuperado el 10 de mayo: http://www.catastro.meh.es/esp/referencia_catastral_2.asp
- Google Earth. (2015): Foto de satélite de Ayora (Valencia).
- Google Maps (2018): Fotos de algunos elementos de la red. Recuperado el 2 de marzo de 2018.
- Instituto Nacional de Estadística: Padrón Municipal de habitantes de Ayora. Recuperado el 2 de marzo de 2018. <http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2903>.
- Pérez, L. B., & del Puerto, P. V. (2008). Aspectos técnicos de las tuberías de polietileno. *Tecnología del Agua.*, (28), 44
- Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica. Recuperado el 15 de marzo de 2018.
- Referencia Catastral. Recuperado el 20 de marzo de 2018: <https://www1.sedecatastro.gob.es/CYCBienInmueble/OVCBusqueda.aspx?from=>
- Rossman, L. A. (2001). *Epanet 2 Manual de usuario*. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Tríptico Iberdrola: Tarifa de precios. Recuperado el 2 de junio del 2018. https://www.iberdrola.es/02sica/gc/prod/eu_ES/hogares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf
- UNE-EN 12201-5,(2012): *Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua y saneamiento con presión. Polietileno (PE). Parte 5: Aptitud al uso del sistema*. Recuperado el 23 de marzo de 2018.



ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DE EPANET CON BOMBA ACTUAL

- A. CAUDAL, VELOCIDAD Y PÉRDIDAS UNITARIAS DE HORA PUNTA EN VERANO
- B. CAUDAL, VELOCIDAD Y PÉRDIDAS UNITARIAS DE HORA VALLE EN INVIERNO

ANEXO 2. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS

- A. CURVA CARACTERISTICA Y DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA INSTALADA ACTUALMENTE
- B. CURVA CARACTERISTICA Y DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA INSTALADA EN LA SOLANA
- C. CURVA CARACTERISTICA Y DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA INSTALADA EN LOS CALDERONES

ANEXO 3. CÁLCULO DEL COSTE ENERGÉTICO DE LA BOMBA

- A. EJEMPLO DEL CÁLCULO DEL COSTE ENERGETICO PARA LA BOMBA INSTALADA ACTUALMENTE EN EL ESCENARIO DE VERANO

ANEXO 1. RESULTADOS DE EPANET CON BOMBA ACTUAL

A. CAUDAL, VELOCIDAD Y PÉRDIDAS UNITARIAS DE HORA PUNTA EN VERANO

	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.				
ID Línea	LPS	m/s	m/km				
				Tubería p26	0.20	0.07	0.18
				Tubería p27	20.11	0.84	4.06
Tubería p1	-0.20	0.07	0.18	Tubería p28	0.59	0.21	1.21
Tubería p2	-0.40	0.09	0.20	Tubería p29	0.20	0.07	0.18
Tubería p3	-33.34	1.08	5.67	Tubería p30	0.20	0.07	0.18
Tubería p4	-4.17	0.57	4.06	Tubería p31	19.32	0.80	3.75
Tubería p5	-1.85	0.25	0.91	Tubería p32	0.59	0.08	0.10
Tubería p6	-2.51	0.51	4.30	Tubería p33	0.20	0.03	0.01
Tubería p7	-29.37	0.95	4.45	Tubería p34	0.20	0.07	0.17
Tubería p8	-2.05	0.42	2.95	Tubería p35	18.53	0.77	3.47
Tubería p9	-0.20	0.07	0.18	Tubería p36	1.39	0.49	5.68
Tubería p10	-2.45	0.50	4.10	Tubería p37	0.20	0.07	0.17
Tubería p11	0.00	0.00	0.00	Tubería p38	16.95	0.70	2.93
Tubería p12	-2.65	0.08	0.05	Tubería p39	1.23	0.25	1.15
Tubería p13	-32.08	1.04	5.26	Tubería p40	15.52	0.65	2.48
Tubería p14	24.47	1.02	5.88	Tubería p41	-0.20	0.07	0.18
Tubería p15	0.20	0.01	0.00	Tubería p42	-0.20	0.01	0.00
Tubería p16	-60.59	0.86	2.19	Tubería p43	0.99	0.35	3.05
Tubería p17	-0.20	0.07	0.18	Tubería p44	0.20	0.07	0.17
Tubería p18	-0.20	0.07	0.17	Tubería p45	0.59	0.21	1.21
Tubería p19	-0.59	0.01	0.00	Tubería p46	0.20	0.07	0.18
Tubería p20	60.19	0.85	2.17	Tubería p47	0.20	0.07	0.18
Tubería p21	59.40	0.84	2.11	Tubería p48	0.83	0.29	2.21
Tubería p22	3.37	0.68	7.43	Tubería p49	15.13	0.63	2.36
Tubería p23	20.91	0.87	4.36	Tubería p50	-0.20	0.07	0.18
Tubería p24	-0.59	0.21	1.21	Tubería p51	15.76	0.66	2.55
Tubería p25	0.20	0.07	0.18	Tubería p52	15.36	0.64	2.43
Tubería p53	0.20	0.07	0.17	Tubería p80	-1.12	0.07	0.06
Tubería p54	-0.20	0.07	0.17	Tubería p81	-2.18	0.14	0.19
Tubería p55	14.97	0.62	2.32	Tubería p82	-3.50	0.15	0.16
Tubería p56	-0.20	0.04	0.03	Tubería p83	-0.68	0.13	0.35
Tubería p57	-0.33	0.04	0.03	Tubería p84	0.88	0.05	0.03
Tubería p58	14.57	0.61	2.20	Tubería p85	0.99	0.39	3.94
Tubería p59	-0.18	0.03	0.02	Tubería p86	0.20	0.08	0.22
Tubería p60	0.30	0.04	0.04	Tubería p87	-0.20	0.08	0.22
Tubería p61	-0.02	0.00	0.00	Tubería p88	-0.59	0.23	1.55
Tubería p62	-0.07	0.02	0.01	Tubería p89	0.20	0.08	0.22
Tubería p63	0.03	0.00	0.00	Tubería p90	-0.07	0.00	0.00

Tubería p64	0.07	0.01	0.01	Tubería p91	-0.20	0.04	0.04
Tubería p65	-0.14	0.02	0.01	Tubería p92	-0.20	0.04	0.04
Tubería p66	-0.27	0.04	0.03	Tubería p93	-0.46	0.09	0.19
Tubería p67	-0.23	0.03	0.02	Tubería p94	-0.86	0.17	0.60
Tubería p68	-0.01	0.00	0.00	Tubería p95	-0.20	0.04	0.04
Tubería p69	-0.45	0.06	0.07	Tubería p96	-1.25	0.07	0.06
Tubería p70	-0.46	0.06	0.08	Tubería p97	-0.20	0.07	0.18
Tubería p71	-0.01	0.00	0.00	Tubería p98	-1.65	0.58	7.86
Tubería p72	-0.64	0.09	0.14	Tubería p99	11.68	0.49	1.46
Tubería p73	-0.83	0.11	0.22	Tubería p100	9.93	0.41	1.08
Tubería p74	-0.99	0.13	0.29	Tubería p101	-4.69	0.19	0.27
Tubería p75	-0.66	0.09	0.14	Tubería p102	5.05	0.21	0.31
Tubería p76	-0.86	0.12	0.23	Tubería p103	4.51	0.19	0.25
Tubería p77	-1.11	0.15	0.36	Tubería p104	1.55	0.20	0.56
Tubería p78	-0.01	0.00	0.00	Tubería p105	0.87	0.11	0.20
Tubería p79	-0.05	0.01	0.00	Tubería p106	0.20	0.03	0.01
Tubería p107	0.47	0.10	0.21	Tubería p134	-0.31	0.06	0.10
Tubería p108	0.48	0.10	0.22	Tubería p135	0.07	0.01	0.01
Tubería p109	0.63	0.08	0.12	Tubería p136	-0.08	0.02	0.00
Tubería p110	0.34	0.04	0.04	Tubería p137	-0.04	0.01	0.01
Tubería p111	0.90	0.11	0.21	Tubería p138	2.47	0.10	0.09
Tubería p112	-13.53	0.56	1.91	Tubería p139	1.31	0.05	0.03
Tubería p113	14.79	0.61	2.27	Tubería p140	0.96	0.06	0.04
Tubería p114	-0.41	0.08	0.15	Tubería p141	0.14	0.03	0.02
Tubería p115	-0.32	0.06	0.09	Tubería p142	-0.20	0.01	0.00
Tubería p116	-0.18	0.03	0.02	Tubería p144	0.91	0.06	0.04
Tubería p117	-0.07	0.01	0.01	Tubería p145	0.20	0.08	0.22
Tubería p118	0.20	0.04	0.04	Tubería p146	0.20	0.03	0.01
Tubería p119	-0.47	0.10	0.21	Tubería p147	0.32	0.02	0.00
Tubería p120	1.51	0.31	1.68	Tubería p148	-0.14	0.01	0.00
Tubería p121	0.84	0.17	0.58	Tubería p149	-0.02	0.00	0.00
Tubería p122	0.30	0.06	0.10	Tubería p150	0.57	0.02	0.00
Tubería p123	0.34	0.07	0.12	Tubería p151	0.31	0.11	0.38
Tubería p124	-0.30	0.06	0.09	Tubería p152	0.06	0.00	0.00
Tubería p125	0.69	0.16	0.54	Tubería p153	5.19	0.29	0.69
Tubería p126	0.20	0.04	0.05	Tubería p154	4.47	0.25	0.53
Tubería p127	-2.39	0.33	1.45	Tubería p155	4.40	0.25	0.51
Tubería p128	0.86	0.11	0.18	Tubería p156	2.90	0.19	0.33
Tubería p129	-0.26	0.05	0.08	Tubería p157	-0.20	0.07	0.17
Tubería p130	0.93	0.11	0.21	Tubería p158	-2.51	0.16	0.25
Tubería p131	0.42	0.05	0.05	Tubería p159	2.35	0.15	0.23
Tubería p132	0.14	0.02	0.00	Tubería p160	-0.12	0.02	0.01
Tubería p133	2.53	0.11	0.10	Tubería p161	-0.04	0.01	0.00
Tubería p162	2.27	0.15	0.21	Tubería p190	-1.98	0.08	0.06
Tubería p163	3.85	0.22	0.40	Tubería p191	0.40	0.02	0.00

Tubería p164	0.20	0.08	0.26	Tubería p192	0.20	0.01	0.00
Tubería p165	0.59	0.04	0.02	Tubería p193	-0.50	0.10	0.23
Tubería p167	0.20	0.07	0.18	Tubería p194	-0.99	0.06	0.05
Tubería p168	0.70	0.09	0.14	Tubería p195	0.53	0.11	0.26
Tubería p169	0.24	0.09	0.25	Tubería p196	0.20	0.04	0.04
Tubería p170	0.20	0.07	0.18	Tubería p197	-0.20	0.07	0.17
Tubería p171	-0.15	0.03	0.02	Tubería p198	-0.66	0.13	0.33
Tubería p172	1.78	0.70	11.74	Tubería p199	-1.06	0.20	0.77
Tubería p173	-0.59	0.23	1.55	Tubería p200	-0.08	0.02	0.01
Tubería p174	0.20	0.08	0.22	Tubería p201	0.11	0.02	0.01
Tubería p175	0.20	0.08	0.22	Tubería p202	-0.40	0.08	0.17
Tubería p176	0.99	0.39	3.94	Tubería p203	0.77	0.11	0.19
Tubería p177	0.20	0.08	0.22	Tubería p204	0.58	0.12	0.30
Tubería p178	0.59	0.23	1.56	Tubería p205	32.75	1.06	5.48
Tubería p179	0.20	0.08	0.22	Tubería p206	13.32	0.42	0.96
Tubería p180	0.20	0.08	0.22	Tubería p207	19.23	0.62	1.99
Tubería p181	1.39	0.49	5.68	Tubería p208	16.85	0.55	1.56
Tubería p182	0.20	0.07	0.18	Tubería p209	7.50	0.38	1.04
Tubería p183	0.99	0.20	0.78	Tubería p210	9.29	0.47	1.55
Tubería p184	-0.20	0.07	0.17	Tubería p211	6.21	0.31	0.74
Tubería p185	0.59	0.21	1.21	Tubería p212	5.28	0.27	0.55
Tubería p186	-0.20	0.07	0.18	Tubería p213	9.15	0.53	2.15
Tubería p187	0.20	0.07	0.18	Tubería p214	1.47	0.30	1.61
Tubería p188	2.57	0.11	0.09	Tubería p215	0.81	0.17	0.55
Tubería p189	0.20	0.07	0.18	Tubería p216	0.46	0.09	0.20
Tubería p217	1.18	0.24	1.07	Tubería p244	0.23	0.05	0.06
Tubería p218	2.88	0.39	2.05	Tubería p245	-0.19	0.04	0.03
Tubería p219	2.69	0.61	6.39	Tubería p246	1.97	0.13	0.16
Tubería p220	0.59	0.21	1.21	Tubería p247	1.58	0.10	0.11
Tubería p221	-0.20	0.07	0.18	Tubería p248	1.38	0.08	0.06
Tubería p222	-0.20	0.07	0.18	Tubería p249	1.18	0.08	0.07
Tubería p223	-0.12	0.02	0.02	Tubería p250	0.78	0.05	0.03
Tubería p224	0.62	0.04	0.00	Tubería p251	0.20	0.01	0.00
Tubería p225	0.14	0.03	0.00	Tubería p252	0.23	0.01	0.00
Tubería p226	0.06	0.00	0.00	Tubería p253	0.21	0.04	0.05
Tubería p227	0.31	0.02	0.00	Tubería p254	0.19	0.01	0.00
Tubería p228	-0.02	0.00	0.00	Tubería p255	0.13	0.03	0.00
Tubería p229	-0.35	0.02	0.01	Tubería p256	0.07	0.00	0.00
Tubería p230	-0.69	0.04	0.00	Tubería p257	0.18	0.04	0.03
Tubería p231	-1.03	0.06	0.04	Tubería p258	-0.18	0.04	0.03
Tubería p232	-1.40	0.08	0.07	Tubería p259	0.14	0.03	0.02
Tubería p233	-1.78	0.10	0.11	Tubería p260	0.14	0.03	0.02
Tubería p234	-2.21	0.13	0.16	Tubería p261	0.16	0.03	0.02
Tubería p235	2.56	0.15	0.21	Tubería p262	0.90	0.18	0.66
Tubería p236	-4.73	0.28	0.63	Tubería p263	1.09	0.22	0.93

Tubería p237	-5.09	0.30	0.73	Tubería p264	-0.91	0.18	0.67
Tubería p238	-6.19	0.36	1.04	Tubería p265	-0.02	0.00	0.00
Tubería p239	-7.48	0.44	1.48	Tubería p266	0.87	0.18	0.61
Tubería p240	0.13	0.03	0.01	Tubería p267	0.65	0.23	1.42
Tubería p241	0.13	0.03	0.01	Tubería p268	0.52	0.11	0.25
Tubería p242	-0.01	0.00	0.00	Tubería p269	0.67	0.14	0.39
Tubería p243	0.24	0.05	0.06	Tubería p270	0.59	0.21	1.21
Tubería p271	-0.20	0.07	0.18	Tubería p298	-0.31	0.04	0.04
Tubería p272	0.20	0.07	0.18	Tubería p299	0.59	0.08	0.12
Tubería p273	-0.12	0.04	0.06	Tubería p300	0.20	0.03	0.01
Tubería p274	-0.32	0.07	0.11	Tubería p301	-0.20	0.03	0.01
Tubería p275	-0.22	0.04	0.05	Tubería p302	-1.49	0.20	0.61
Tubería p276	-1.23	0.15	0.34	Tubería p303	-1.69	0.23	0.76
Tubería p277	-2.18	0.27	0.97	Tubería p304	-0.20	0.08	0.22
Tubería p278	0.76	0.17	0.63	Tubería p305	-1.39	0.11	0.15
Tubería p279	0.20	0.04	0.05	Tubería p306	-3.27	0.17	0.23
Tubería p280	0.36	0.08	0.17	Tubería p307	0.99	0.08	0.09
Tubería p281	-0.17	0.02	0.01	Tubería p308	0.20	0.02	0.00
Tubería p282	-0.27	0.03	0.02	Tubería p309	0.59	0.21	1.20
Tubería p283	0.20	0.08	0.22	Tubería p310	0.20	0.07	0.18
Tubería p284	0.20	0.02	0.00	Tubería p311	0.20	0.07	0.18
Tubería p285	0.13	0.03	0.01	Tubería p312	-0.20	0.08	0.26
Tubería p286	0.36	0.07	0.13	Tubería p313	-0.01	0.00	0.00
Tubería p287	5.08	0.29	0.67	Tubería p314	-0.20	0.04	0.00
Tubería p288	-0.05	0.00	0.00	Tubería p315	-0.41	0.08	0.16
Tubería p289	0.74	0.15	0.48	Tubería p316	-0.38	0.08	0.15
Tubería p290	0.20	0.07	0.18	Tubería p317	-0.46	0.09	0.20
Tubería p291	-1.34	0.06	0.03	Tubería p318	0.64	0.13	0.36
Tubería p292	-0.77	0.10	0.19	Tubería p319	-0.02	0.00	0.00
Tubería p293	-0.70	0.09	0.16	Tubería p320	-1.24	0.25	1.15
Tubería p294	-0.27	0.04	0.03	Tubería p321	0.51	0.10	0.24
Tubería p295	-0.77	0.10	0.19	Tubería p322	0.31	0.06	0.11
Tubería p296	-1.24	0.17	0.44	Tubería p323	0.12	0.02	0.01
Tubería p297	-1.72	0.23	0.80	Tubería p324	-1.95	0.40	2.69
Tubería p325	1.81	0.71	12.10	Tubería p352	3.13	0.16	0.21
Tubería p326	0.87	0.18	0.62	Tubería p353	2.00	0.10	0.10
Tubería p327	-0.11	0.02	0.01	Tubería p354	1.61	0.08	0.06
Tubería p328	0.82	0.17	0.57	Tubería p355	-0.04	0.01	0.00
Tubería p329	0.52	0.10	0.25	Tubería p356	5.21	0.26	0.53
Tubería p330	-0.20	0.04	0.04	Tubería p357	4.97	0.25	0.49
Tubería p331	0.12	0.02	0.01	Tubería p358	-0.20	0.07	0.18
Tubería p332	-0.15	0.03	0.02	Tubería p359	-4.58	0.23	0.42
Tubería p333	13.70	0.44	1.01	Tubería p360	0.20	0.07	0.18
Tubería p334	13.51	0.56	1.91	Tubería p361	0.93	0.19	0.70
Tubería p335	6.56	0.33	0.82	Tubería p362	0.23	0.05	0.06

Tubería p336	0.58	0.12	0.30	Tubería p363	0.50	0.10	0.23
Tubería p337	-0.20	0.04	0.03	Tubería p364	0.32	0.07	0.11
Tubería p338	0.18	0.04	0.02	Tubería p365	0.20	0.04	0.04
Tubería p339	-0.57	0.12	0.29	Tubería p366	-0.02	0.00	0.00
Tubería p340	0.56	0.11	0.28	Tubería p367	0.07	0.01	0.01
Tubería p341	0.26	0.05	0.08	Tubería p368	-0.29	0.06	0.09
Tubería p342	0.09	0.02	0.01	Tubería p369	1.89	0.74	13.16
Tubería p343	0.07	0.01	0.01	Tubería p370	-2.66	1.04	25.05
Tubería p344	-3.78	0.19	0.30	Tubería p371	0.16	0.06	0.15
Tubería p345	0.59	0.21	1.21	Tubería p372	0.20	0.08	0.22
Tubería p346	-0.20	0.07	0.18	Tubería p373	0.20	0.08	0.23
Tubería p347	0.20	0.07	0.18	Tubería p374	-0.20	0.08	0.22
Tubería p348	6.75	0.34	0.86	Tubería p375	-0.40	0.08	0.15
Tubería p349	0.20	0.07	0.18	Tubería p376	-0.74	0.15	0.47
Tubería p350	6.35	0.32	0.77	Tubería p377	-3.96	1.55	53.65
Tubería p351	3.50	0.18	0.26	Tubería p378	4.36	1.71	64.48
				Tubería p379	0.20	0.08	0.23

B. CAUDAL, VELOCIDAD Y PÉRDIDAS UNITARIAS DE HORA VALLE EN INVIERNO

	Caudal	Velocidad	Pérd.				
			Unit.				
ID Línea	LPS	m/s	m/km				
				Tubería p26	0.07	0.03	0.02
				Tubería p27	7.29	0.30	0.61
Tubería p1	-0.07	0.03	0.02	Tubería p28	0.22	0.08	0.21
Tubería p2	-0.14	0.03	0.02	Tubería p29	0.07	0.03	0.02
Tubería p3	-12.16	0.39	0.85	Tubería p30	0.07	0.03	0.02
Tubería p4	-1.48	0.20	0.62	Tubería p31	7.00	0.29	0.56
Tubería p5	-0.65	0.09	0.14	Tubería p32	0.22	0.03	0.01
Tubería p6	-0.90	0.18	0.65	Tubería p33	0.07	0.01	0.00
Tubería p7	-10.76	0.35	0.67	Tubería p34	0.07	0.03	0.02
Tubería p8	-0.73	0.15	0.45	Tubería p35	6.71	0.28	0.52
Tubería p9	-0.07	0.03	0.02	Tubería p36	0.50	0.18	0.90
Tubería p10	-0.87	0.18	0.62	Tubería p37	0.07	0.03	0.02
Tubería p11	0.00	0.00	0.00	Tubería p38	6.14	0.26	0.44
Tubería p12	-0.94	0.03	0.01	Tubería p39	0.43	0.09	0.18
Tubería p13	-11.72	0.38	0.80	Tubería p40	5.63	0.23	0.38
Tubería p14	8.86	0.37	0.87	Tubería p41	-0.07	0.03	0.02
Tubería p15	0.07	0.00	0.00	Tubería p42	-0.07	0.00	0.00
Tubería p16	-22.03	0.31	0.33	Tubería p43	0.36	0.13	0.50
Tubería p17	-0.07	0.03	0.02	Tubería p44	0.07	0.03	0.02
Tubería p18	-0.07	0.03	0.02	Tubería p45	0.22	0.08	0.21
Tubería p19	-0.22	0.00	0.00	Tubería p46	0.07	0.03	0.02
Tubería p20	21.89	0.31	0.32	Tubería p47	0.07	0.03	0.02
Tubería p21	21.60	0.31	0.32	Tubería p48	0.29	0.10	0.33

Tubería p22	1.21	0.25	1.13	Tubería p49	5.49	0.23	0.36
Tubería p23	7.58	0.32	0.65	Tubería p50	-0.07	0.03	0.02
Tubería p24	-0.22	0.08	0.20	Tubería p51	5.71	0.24	0.39
Tubería p25	0.07	0.03	0.02	Tubería p52	5.56	0.23	0.37
Tubería p53	0.07	0.03	0.02	Tubería p80	-0.41	0.03	0.01
Tubería p54	-0.07	0.03	0.02	Tubería p81	-0.79	0.05	0.03
Tubería p55	5.42	0.23	0.35	Tubería p82	-1.27	0.05	0.03
Tubería p56	-0.07	0.01	0.01	Tubería p83	-0.25	0.05	0.06
Tubería p57	-0.13	0.02	0.01	Tubería p84	0.32	0.02	0.00
Tubería p58	5.27	0.22	0.34	Tubería p85	0.36	0.14	0.64
Tubería p59	-0.06	0.01	0.01	Tubería p86	0.07	0.03	0.03
Tubería p60	0.12	0.02	0.00	Tubería p87	-0.07	0.03	0.03
Tubería p61	-0.02	0.00	0.00	Tubería p88	-0.22	0.08	0.26
Tubería p62	-0.03	0.01	0.00	Tubería p89	0.07	0.03	0.03
Tubería p63	0.02	0.00	0.00	Tubería p90	-0.02	0.00	0.00
Tubería p64	0.03	0.01	0.00	Tubería p91	-0.07	0.01	0.01
Tubería p65	-0.06	0.01	0.00	Tubería p92	-0.07	0.01	0.01
Tubería p66	-0.11	0.01	0.01	Tubería p93	-0.17	0.03	0.02
Tubería p67	-0.07	0.01	0.00	Tubería p94	-0.31	0.06	0.10
Tubería p68	-0.01	0.00	0.00	Tubería p95	-0.07	0.01	0.01
Tubería p69	-0.15	0.02	0.01	Tubería p96	-0.46	0.03	0.01
Tubería p70	-0.17	0.02	0.00	Tubería p97	-0.07	0.03	0.02
Tubería p71	-0.01	0.00	0.00	Tubería p98	-0.60	0.21	1.23
Tubería p72	-0.23	0.03	0.02	Tubería p99	4.25	0.18	0.23
Tubería p73	-0.30	0.04	0.04	Tubería p100	3.61	0.15	0.17
Tubería p74	-0.36	0.05	0.05	Tubería p101	-1.70	0.07	0.04
Tubería p75	-0.23	0.03	0.02	Tubería p102	1.83	0.08	0.05
Tubería p76	-0.31	0.04	0.04	Tubería p103	1.62	0.07	0.04
Tubería p77	-0.40	0.05	0.06	Tubería p104	0.57	0.07	0.09
Tubería p78	-0.01	0.00	0.00	Tubería p105	0.32	0.04	0.04
Tubería p79	-0.01	0.00	0.00	Tubería p106	0.07	0.01	0.00
Tubería p107	0.17	0.04	0.03	Tubería p134	-0.10	0.02	0.01
Tubería p108	0.18	0.04	0.03	Tubería p135	0.02	0.00	0.00
Tubería p109	0.24	0.03	0.01	Tubería p136	-0.05	0.01	0.00
Tubería p110	0.14	0.02	0.01	Tubería p137	-0.01	0.00	0.00
Tubería p111	0.34	0.04	0.04	Tubería p138	0.87	0.04	0.01
Tubería p112	-4.92	0.20	0.30	Tubería p139	0.47	0.02	0.00
Tubería p113	5.36	0.22	0.35	Tubería p140	0.32	0.02	0.00
Tubería p114	-0.16	0.03	0.02	Tubería p141	0.05	0.01	0.01
Tubería p115	-0.13	0.02	0.01	Tubería p142	-0.09	0.01	0.00
Tubería p116	-0.07	0.01	0.01	Tubería p144	0.32	0.02	0.01
Tubería p117	-0.04	0.01	0.00	Tubería p145	0.07	0.03	0.03
Tubería p118	0.07	0.01	0.00	Tubería p146	0.07	0.01	0.00
Tubería p119	-0.19	0.04	0.03	Tubería p147	0.10	0.01	0.00
Tubería p120	0.56	0.11	0.29	Tubería p148	-0.02	0.00	0.00

Tubería p121	0.30	0.06	0.10	Tubería p149	0.01	0.00	0.00
Tubería p122	0.10	0.02	0.01	Tubería p150	0.25	0.01	0.00
Tubería p123	0.13	0.03	0.01	Tubería p151	0.13	0.05	0.06
Tubería p124	-0.10	0.02	0.01	Tubería p152	0.05	0.00	0.00
Tubería p125	0.25	0.06	0.09	Tubería p153	1.90	0.11	0.11
Tubería p126	0.07	0.02	0.01	Tubería p154	1.62	0.09	0.09
Tubería p127	-0.88	0.12	0.24	Tubería p155	1.61	0.09	0.08
Tubería p128	0.31	0.04	0.03	Tubería p156	1.02	0.07	0.05
Tubería p129	-0.09	0.02	0.01	Tubería p157	-0.07	0.03	0.02
Tubería p130	0.33	0.04	0.03	Tubería p158	-0.87	0.06	0.04
Tubería p131	0.16	0.02	0.01	Tubería p159	0.84	0.05	0.04
Tubería p132	0.04	0.00	0.00	Tubería p160	-0.05	0.01	0.01
Tubería p133	0.90	0.04	0.02	Tubería p161	-0.04	0.01	0.00
Tubería p162	0.81	0.05	0.03	Tubería p190	-0.72	0.03	0.01
Tubería p163	1.38	0.08	0.07	Tubería p191	0.14	0.01	0.00
Tubería p164	0.07	0.03	0.03	Tubería p192	0.07	0.00	0.00
Tubería p165	0.22	0.01	0.00	Tubería p193	-0.20	0.04	0.04
Tubería p167	0.07	0.03	0.02	Tubería p194	-0.36	0.02	0.01
Tubería p168	0.27	0.03	0.02	Tubería p195	0.20	0.04	0.04
Tubería p169	0.11	0.04	0.04	Tubería p196	0.07	0.01	0.01
Tubería p170	0.07	0.03	0.02	Tubería p197	-0.07	0.03	0.02
Tubería p171	-0.04	0.01	0.00	Tubería p198	-0.23	0.04	0.04
Tubería p172	0.65	0.25	1.82	Tubería p199	-0.37	0.07	0.12
Tubería p173	-0.22	0.08	0.26	Tubería p200	-0.03	0.01	0.00
Tubería p174	0.07	0.03	0.03	Tubería p201	0.04	0.01	0.00
Tubería p175	0.07	0.03	0.03	Tubería p202	-0.14	0.03	0.00
Tubería p176	0.36	0.14	0.63	Tubería p203	0.26	0.03	0.03
Tubería p177	0.07	0.03	0.03	Tubería p204	0.19	0.04	0.03
Tubería p178	0.22	0.08	0.26	Tubería p205	11.95	0.39	0.82
Tubería p179	0.07	0.03	0.03	Tubería p206	4.87	0.15	0.12
Tubería p180	0.07	0.03	0.03	Tubería p207	7.01	0.23	0.31
Tubería p181	0.50	0.18	0.90	Tubería p208	6.14	0.20	0.25
Tubería p182	0.07	0.03	0.02	Tubería p209	2.74	0.14	0.17
Tubería p183	0.36	0.07	0.13	Tubería p210	3.37	0.17	0.25
Tubería p184	-0.07	0.03	0.02	Tubería p211	2.26	0.11	0.12
Tubería p185	0.22	0.08	0.20	Tubería p212	1.91	0.10	0.08
Tubería p186	-0.07	0.03	0.02	Tubería p213	3.33	0.19	0.32
Tubería p187	0.07	0.03	0.02	Tubería p214	0.53	0.11	0.26
Tubería p188	0.94	0.04	0.02	Tubería p215	0.28	0.06	0.09
Tubería p189	0.07	0.03	0.02	Tubería p216	0.18	0.04	0.03
Tubería p217	0.42	0.09	0.17	Tubería p244	0.10	0.02	0.01
Tubería p218	1.04	0.14	0.32	Tubería p245	-0.06	0.01	0.01
Tubería p219	0.97	0.22	0.99	Tubería p246	0.74	0.05	0.03
Tubería p220	0.22	0.08	0.20	Tubería p247	0.61	0.04	0.02
Tubería p221	-0.07	0.03	0.02	Tubería p248	0.54	0.03	0.01

Tubería p222	-0.07	0.03	0.02	Tubería p249	0.47	0.03	0.01
Tubería p223	-0.03	0.01	0.00	Tubería p250	0.32	0.02	0.00
Tubería p224	0.21	0.01	0.03	Tubería p251	0.07	0.00	0.00
Tubería p225	0.06	0.01	0.00	Tubería p252	0.10	0.01	0.00
Tubería p226	0.02	0.00	0.00	Tubería p253	0.09	0.02	0.02
Tubería p227	0.10	0.01	0.00	Tubería p254	0.07	0.00	0.00
Tubería p228	-0.02	0.00	0.00	Tubería p255	0.05	0.01	0.00
Tubería p229	-0.14	0.01	0.00	Tubería p256	0.03	0.00	0.00
Tubería p230	-0.26	0.02	0.04	Tubería p257	0.06	0.01	0.01
Tubería p231	-0.38	0.02	0.01	Tubería p258	-0.05	0.01	0.01
Tubería p232	-0.50	0.03	0.00	Tubería p259	0.05	0.01	0.01
Tubería p233	-0.64	0.04	0.02	Tubería p260	0.05	0.01	0.00
Tubería p234	-0.83	0.05	0.03	Tubería p261	0.04	0.01	0.00
Tubería p235	0.93	0.05	0.04	Tubería p262	0.32	0.07	0.11
Tubería p236	-1.75	0.10	0.10	Tubería p263	0.39	0.08	0.15
Tubería p237	-1.86	0.11	0.12	Tubería p264	-0.31	0.06	0.10
Tubería p238	-2.26	0.13	0.17	Tubería p265	0.01	0.00	0.00
Tubería p239	-2.72	0.16	0.23	Tubería p266	0.30	0.06	0.06
Tubería p240	0.05	0.01	0.00	Tubería p267	0.23	0.08	0.23
Tubería p241	0.05	0.01	0.00	Tubería p268	0.20	0.04	0.04
Tubería p242	0.00	0.00	0.00	Tubería p269	0.23	0.05	0.06
Tubería p243	0.12	0.02	0.01	Tubería p270	0.22	0.08	0.20
Tubería p271	-0.07	0.03	0.02	Tubería p298	-0.11	0.01	0.00
Tubería p272	0.07	0.03	0.02	Tubería p299	0.22	0.03	0.02
Tubería p273	-0.06	0.02	0.02	Tubería p300	0.07	0.01	0.00
Tubería p274	-0.13	0.03	0.01	Tubería p301	-0.07	0.01	0.00
Tubería p275	-0.07	0.01	0.01	Tubería p302	-0.54	0.07	0.10
Tubería p276	-0.43	0.05	0.05	Tubería p303	-0.61	0.08	0.13
Tubería p277	-0.80	0.10	0.16	Tubería p304	-0.07	0.03	0.03
Tubería p278	0.29	0.07	0.12	Tubería p305	-0.50	0.04	0.03
Tubería p279	0.07	0.02	0.01	Tubería p306	-1.19	0.06	0.03
Tubería p280	0.15	0.03	0.02	Tubería p307	0.36	0.03	0.01
Tubería p281	-0.05	0.01	0.00	Tubería p308	0.07	0.01	0.00
Tubería p282	-0.08	0.01	0.00	Tubería p309	0.22	0.08	0.19
Tubería p283	0.07	0.03	0.03	Tubería p310	0.07	0.03	0.02
Tubería p284	0.07	0.01	0.00	Tubería p311	0.07	0.03	0.02
Tubería p285	0.06	0.01	0.01	Tubería p312	-0.07	0.03	0.03
Tubería p286	0.15	0.03	0.02	Tubería p313	-0.01	0.00	0.00
Tubería p287	1.84	0.10	0.11	Tubería p314	-0.07	0.01	0.00
Tubería p288	-0.02	0.00	0.00	Tubería p315	-0.16	0.03	0.02
Tubería p289	0.29	0.06	0.09	Tubería p316	-0.13	0.03	0.02
Tubería p290	0.07	0.03	0.02	Tubería p317	-0.17	0.03	0.02
Tubería p291	-0.48	0.02	0.00	Tubería p318	0.22	0.05	0.06
Tubería p292	-0.28	0.04	0.03	Tubería p319	-0.01	0.00	0.00
Tubería p293	-0.25	0.03	0.02	Tubería p320	-0.45	0.09	0.19

Tubería p294	-0.09	0.01	0.00	Tubería p321	0.19	0.04	0.04
Tubería p295	-0.28	0.04	0.03	Tubería p322	0.12	0.02	0.01
Tubería p296	-0.44	0.06	0.07	Tubería p323	0.05	0.01	0.00
Tubería p297	-0.61	0.08	0.13	Tubería p324	-0.72	0.15	0.44
Tubería p325	0.65	0.25	1.83	Tubería p352	1.13	0.06	0.03
Tubería p326	0.31	0.06	0.10	Tubería p353	0.72	0.04	0.02
Tubería p327	-0.04	0.01	0.00	Tubería p354	0.57	0.03	0.01
Tubería p328	0.29	0.06	0.10	Tubería p355	-0.01	0.00	0.00
Tubería p329	0.18	0.04	0.03	Tubería p356	1.88	0.10	0.08
Tubería p330	-0.07	0.01	0.01	Tubería p357	1.80	0.09	0.08
Tubería p331	0.04	0.01	0.00	Tubería p358	-0.07	0.03	0.02
Tubería p332	-0.05	0.01	0.00	Tubería p359	-1.66	0.08	0.07
Tubería p333	4.98	0.16	0.16	Tubería p360	0.07	0.03	0.02
Tubería p334	4.91	0.20	0.29	Tubería p361	0.35	0.07	0.12
Tubería p335	2.38	0.12	0.12	Tubería p374	-0.07	0.03	0.03
Tubería p336	0.21	0.04	0.05	Tubería p375	-0.14	0.03	0.02
Tubería p337	-0.07	0.01	0.01	Tubería p376	-0.26	0.05	0.08
Tubería p338	0.07	0.01	0.00	Tubería p377	-1.44	0.56	7.88
Tubería p339	-0.21	0.04	0.05	Tubería p378	1.58	0.62	9.40
Tubería p340	0.21	0.04	0.04	Tubería p379	0.07	0.03	0.03
Tubería p341	0.10	0.02	0.02				
Tubería p342	0.03	0.01	0.00				
Tubería p343	0.03	0.01	0.00				
Tubería p344	-1.37	0.07	0.05				
Tubería p345	0.22	0.08	0.20				
Tubería p346	-0.07	0.03	0.02				
Tubería p347	0.07	0.03	0.02				
Tubería p348	2.46	0.12	0.14				
Tubería p349	0.07	0.03	0.02				
Tubería p350	2.32	0.12	0.12				
Tubería p351	1.27	0.06	0.06				

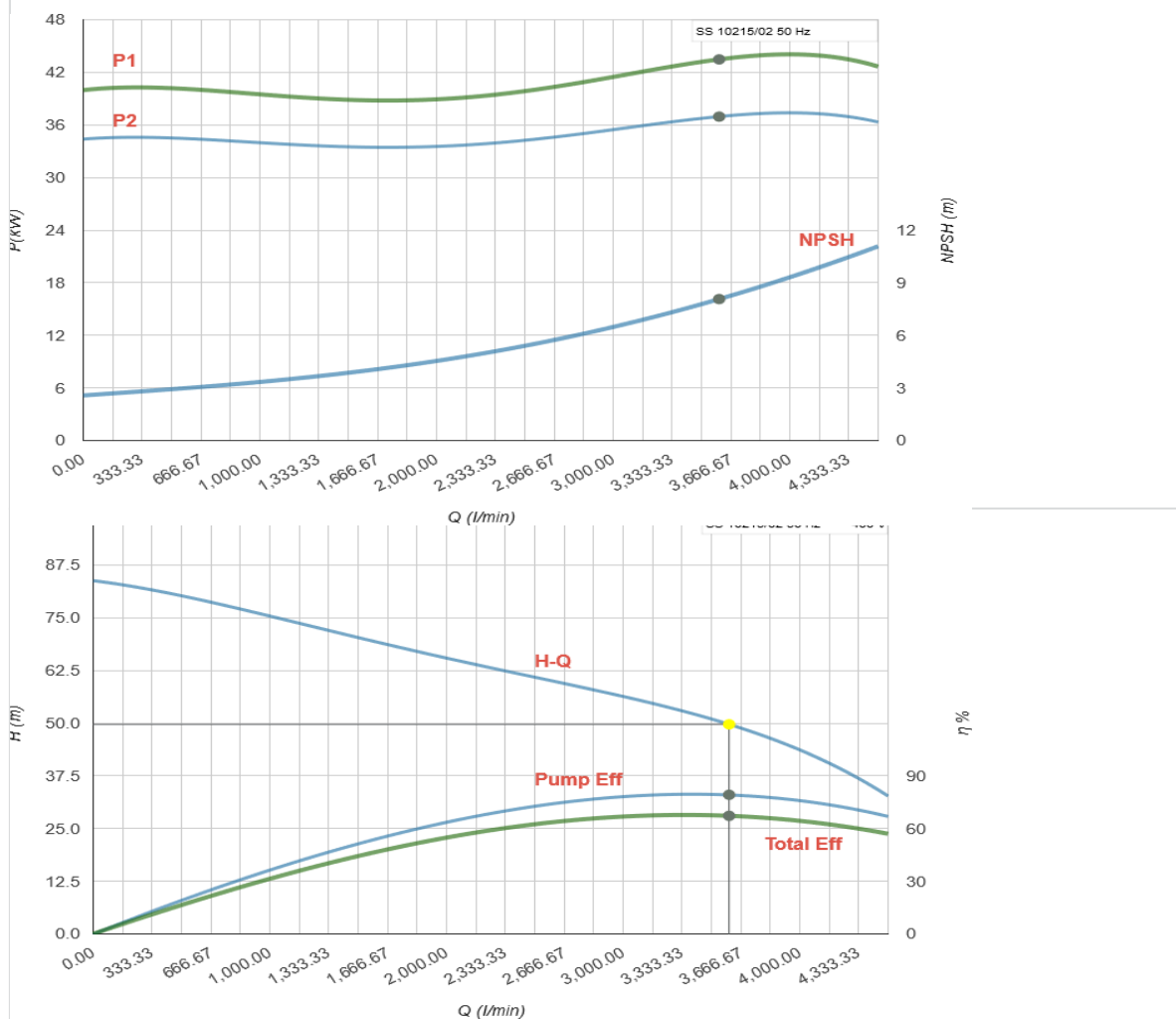
ANEXO 2. PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS

A. CURVA CARACTERISTICA Y DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA INSTALADA ACTUALMENTE

Duty Point

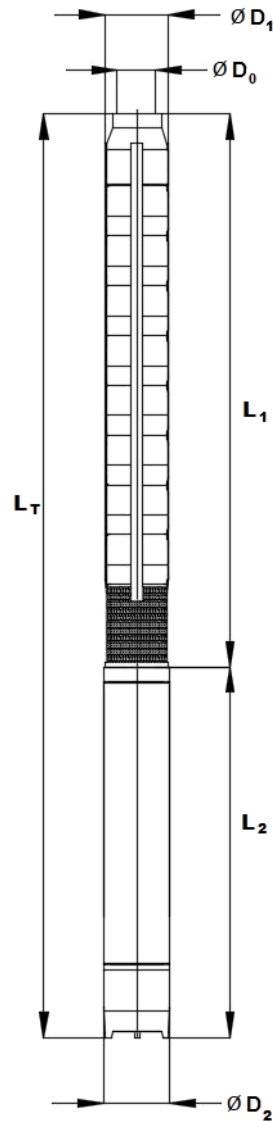
Flow	Head	NPSHr	Shaft Power (P2)	Motor Input Power (P1)	Pump Eff %	Total Eff %
3600 l/min	49.72 m	8.07 m	36.95 kW	43.48 kW	79,22	67,31

Pump Curves



Pump		Electrical Data	
Model	SS 10215	Model	8 K 50 HP
Stage	02	Rated Power (kW)	37 kW
Nominal Diameter	10"	Rated Power (HP)	50 HP
Material	Stainless Steel	Nominal Speed	2900 rpm
Frequency	50 Hz	Nominal Voltage (V)	380-400-415
Required Duty Point		Frequency	50 Hz
Flow	3600 l/min	Current (A)	73.76
Head	49 m	Protection Class	IP 68
Duty Point		Number of Phase	3
Flow	3600 l/min	Number of Pole	2
Head	49.72 m	Cos ϕ	0.86
Pump Efficiency %	79.22	Shaft Power (P2)	36.95 kW
Motor Efficiency %	84.96	Motor Input Power (P1)	43.48 kW
Total Efficiency %	67.31	η Motor %	84.96
Actual Speed	2919	Shaft Seal	
Pump Power (P2)	36.95 kW	Type	Mechanical Seal
Motor Input Power (P1)	43.48 kW	Material	Cer/Car
NPSHr	8.07 m	Materials	
Voltage (V)	400	Shaft	Stainless Steel (AISI 304)
Other		Impeller	Stainless Steel (AISI 304)
Shaft Diameter	45.00 mm	Discharge	Stainless Steel (AISI 304)
Max.Sand Quantity	50.00 g/m ³	Diffuser	Stainless Steel (AISI 304)
Max.Sand dimension	2.00 mm	Suction Strainer	Stainless Steel (AISI 304)
Rotation	CCW	Fluid Data	
Connection	NEMA Standard	Fluid	Water
Fluid Data		Density	1000 kg/m ³
Fluid	Water	Kinematic Viscosity	1 cSt
Density	1000 kg/m ³	Temperature	20°
Kinematic Viscosity	1 cSt		
Temperature	20°		

Dimensions and Weights

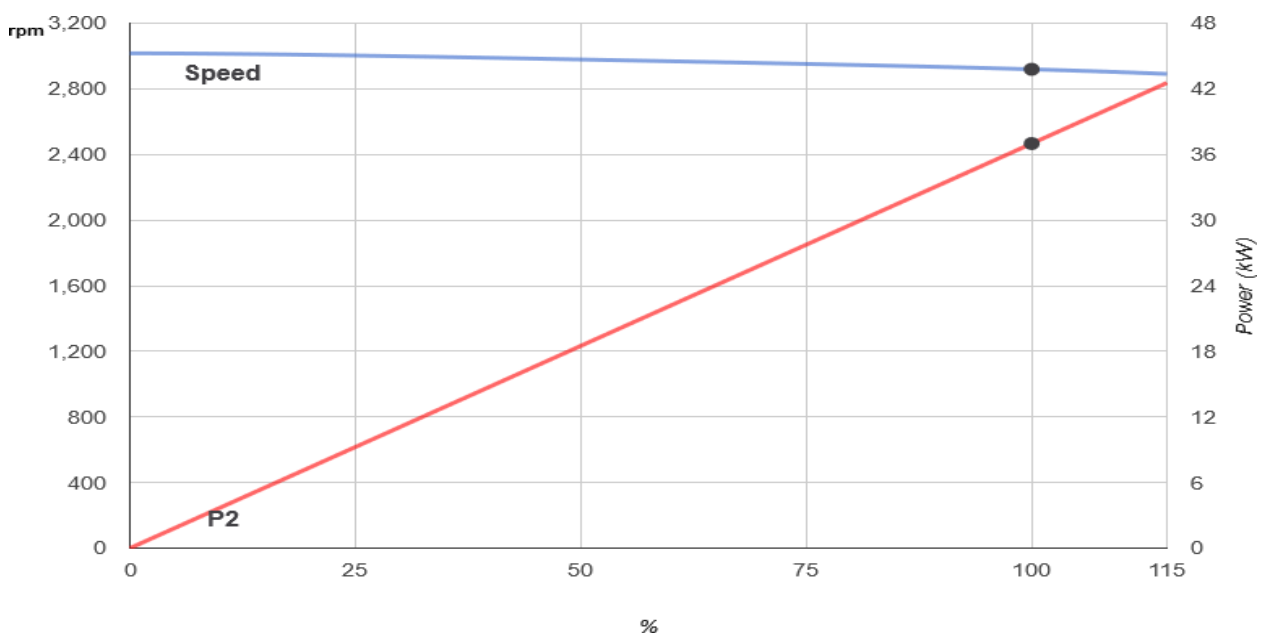
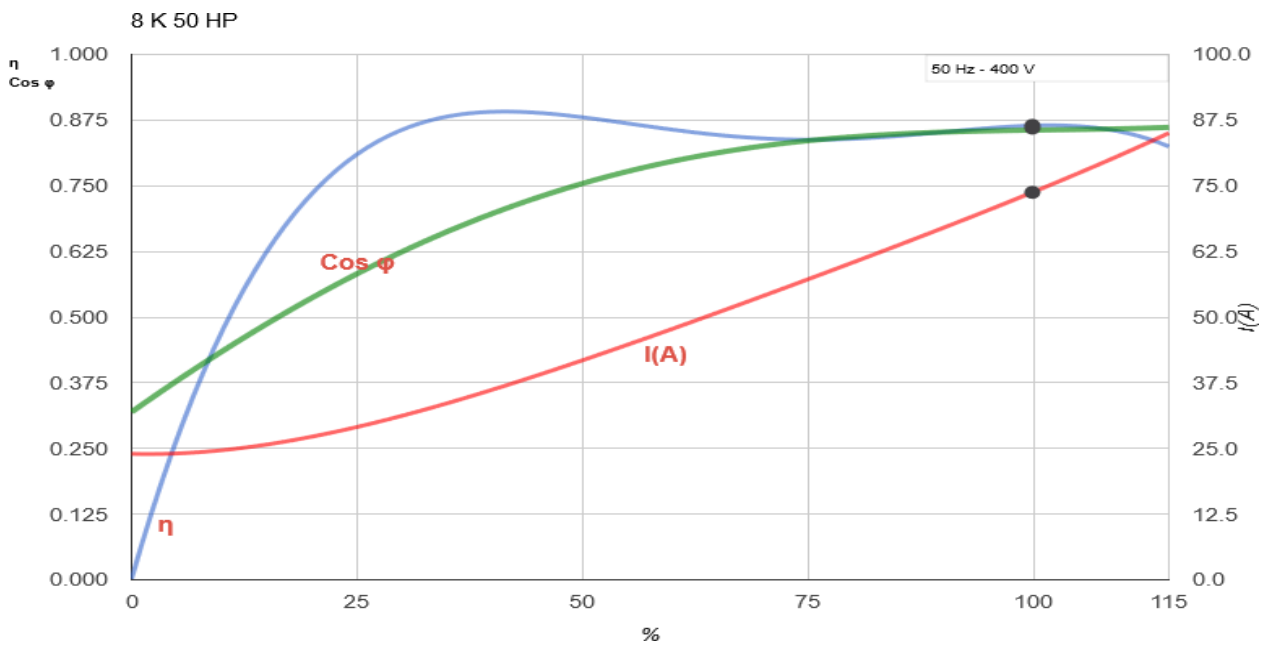


D1 (mm)	232
D2 (mm)	195
D0 (inch)	6 "
L1 (mm)	952
L2 (mm)	1050
Lt (mm)	2002
Weight of Motor (kg)	143
Weight of Pump (kg)	60.7
Total Weight (kg)	203.7

Motor Duty Point

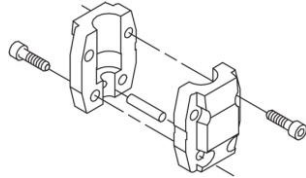
Shaft Power (P2)	Motor Input Power (P1)	Motor Load Rate	Current (A)	Cos ϕ	Motor Eff %	Speed
36.95 kW	43.48 kW	1.00	73.76	0.86	84.96	2919

Motor Curves



B. CURVA CARACTERISTICA Y DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA INSTALADA EN LA SOLANA

		Empresa: Creado Por: Teléfono: Datos: 03/06/2018
Posición	Contar	Descripción
	1	<p>CRE 45-1-1 A-F-A-E-HQQE</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Código: 99072009</p> <p>Bomba centrífuga vertical multietapa con puertos de aspiración y descarga al mismo nivel (en línea) para hacer posible su instalación en sistemas monotubo horizontales. El cabezal de la bomba y la base están fabricados en fundición; todas las demás piezas destinadas al contacto con el líquido están fabricadas en acero inoxidable. Un cierre mecánico de cartucho garantiza la máxima fiabilidad, permite llevar a cabo la manipulación de forma segura y facilita el acceso y el mantenimiento. La transmisión de potencia tiene lugar por medio de un acoplamiento dividido. La conexión de las tuberías se lleva a cabo por medio de bridas DIN.</p> <p>La bomba está equipada con un motor síncrono de imanes permanentes de 3 fases, refrigerado por ventilador. El motor incluye un convertidor de frecuencia y un controlador PI en la caja de conexiones. Ello facilita el control variable y continuo de la velocidad del motor, lo cual, a su vez, permite adaptar el rendimiento a un determinado conjunto de requisitos.</p> <p>Más información acerca del producto</p> <p>Se puede conectar un sensor externo si el control del funcionamiento de la bomba debe tener lugar, por ejemplo, en función del caudal, la presión diferencial o la temperatura.</p> <p>Un panel de control situado en la caja de conexiones del motor facilita el establecimiento del punto de ajuste necesario, así como la configuración de la bomba en los modos "Mín.", "Máx." o "Parada". El indicador Grundfos Eye del panel de control proporciona información visual acerca del estado de la bomba:</p> <ul style="list-style-type: none"> - "Encendido": El motor se encuentra en funcionamiento (indicadores luminosos de color verde girando) o en reposo (indicadores luminosos de color verde estáticos). - "Advertencia": El motor continúa en funcionamiento (indicadores luminosos de color amarillo girando) o se ha detenido (indicadores luminosos de color amarillo estáticos). - "Alarma": El motor se ha detenido (indicadores luminosos de color rojo intermitentes). <p>La comunicación con la bomba es posible por medio del accesorio de control remoto Grundfos GO Remote. El accesorio de control remoto, además, facilita el ajuste y la lectura de parámetros como el "Valor actual", la "Velocidad", la "Potencia de entrada" y el "Consumo energético" total.</p> <p>Las piezas de acero, fundición y aluminio poseen un revestimiento con base de epoxi creado por electrodeposición catódica (CED). Como parte del proceso de pintura por inmersión de alta calidad conocido como CED, se crea un campo eléctrico alrededor de los productos que garantiza la deposición de las partículas sobre una capa de la superficie delgada y muy controlada. Una de las partes más importantes de dicho proceso es el pretratamiento. El proceso completo se compone de las siguientes etapas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Limpieza basada en agentes alcalinos. 2) Fosfatización de zinc. 3) Electrodeposición catódica. 4) Secado hasta obtener un grosor de capa seca de 18-22 µm. <p>El código de color del producto acabado es NCS 9000/RAL 9005.</p> <p>Bomba</p> <p>Un acoplamiento dividido estándar conecta la bomba al eje del motor. Dos cubiertas protectoras lo mantienen dentro del cabezal de la bomba/soporte del motor.</p>

GRUNDFOS **Empresa:**
Creado Por:
Teléfono:**Datos:** 03/06/2018

La bomba está equipada con un cierre de junta tórica equilibrado con sistema de transmisión rígida de par. Este tipo de cierre forma parte de una unidad de cartucho, lo cual convierte la sustitución en una tarea segura y sencilla. Al ser equilibrado, este tipo de cierre resulta adecuado para aplicaciones de alta presión. El diseño del cartucho también protege el eje de la bomba frente a su posible desgaste, gracias a una junta tórica dinámica situada entre el eje de la bomba y el cierre mecánico.

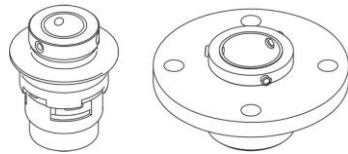
Cierre primario:

- Material del anillo del cierre giratorio: Carburo de silicio (SiC)
- Material del asiento estacionario: Carburo de silicio (SiC)

Esta combinación de materiales se usa en casos en los que es preciso conferir al equipo una mayor resistencia a la corrosión. La elevada dureza de esta combinación de materiales proporciona una magnífica resistencia contra las partículas abrasivas.

Material del cierre secundario: EPDM (caucho de etileno-propileno)

El EPDM posee una excelente resistencia al agua caliente. El EPDM no es apto para el uso con aceites minerales.



El cierre mecánico se mantiene retenido en el cabezal de la bomba por medio de una cubierta y tornillos. Su sustitución es posible sin necesidad de desmontar el motor.

Las cámaras y los impulsores están fabricados en lámina de acero inoxidable. Las cámaras cuentan con un anillo de collar de PTFE que proporciona mayor hermeticidad y eficiencia. Los impulsores poseen superficies lisas y la forma de los álabes garantiza una gran eficiencia.

Motor

El motor es totalmente cerrado, cuenta con refrigeración por ventilador y sus principales dimensiones se ajustan a las normas IEC y DIN. El motor está montado con una brida dotada de orificios libres (FF).

Designación de montaje del motor según la norma IEC 60034-7: IM B 5 (Código I)/IM 3001 (Código II).


Las tolerancias eléctricas satisfacen los requisitos establecidos por la norma IEC 60034.

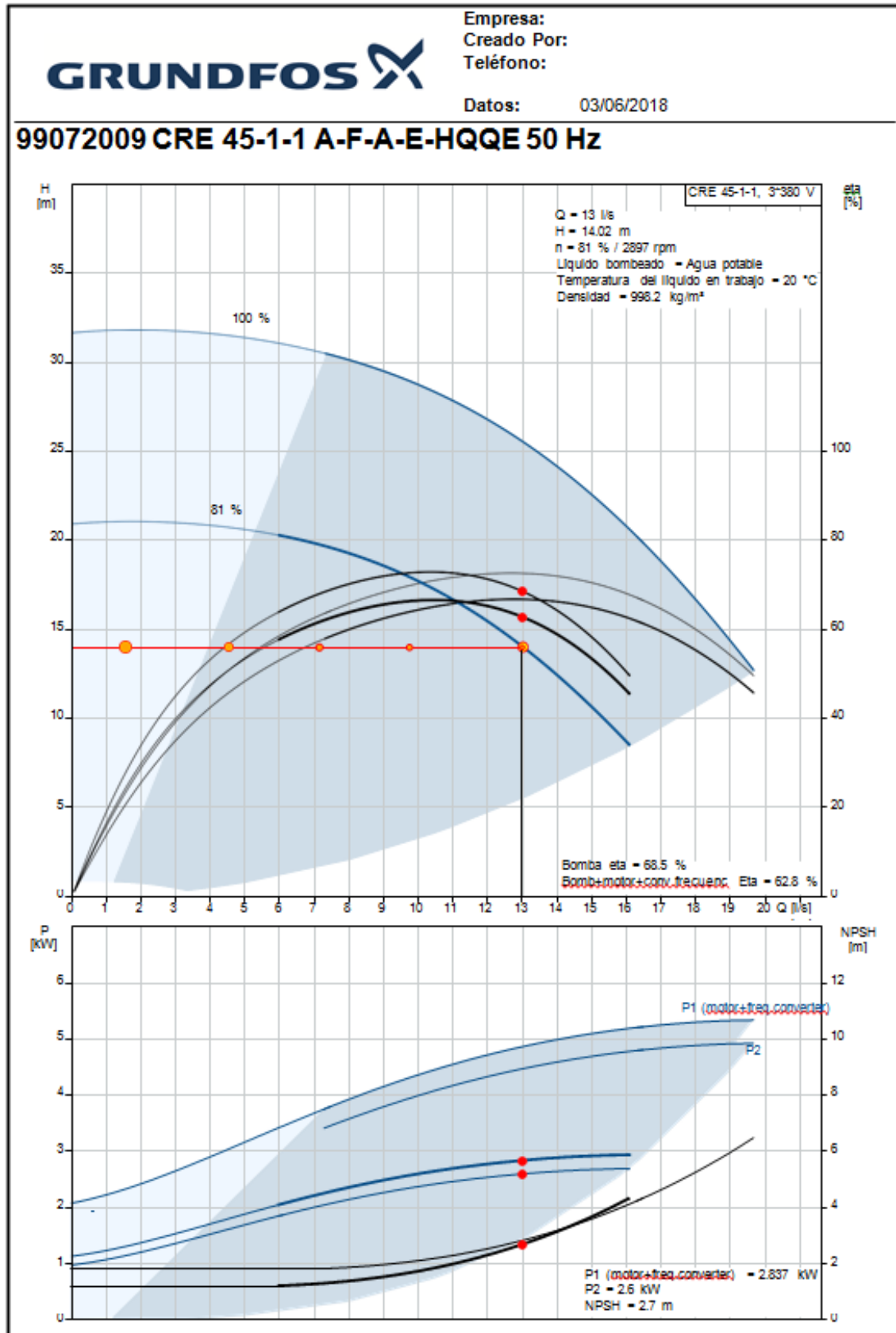
El nivel de eficiencia del motor de acuerdo con la norma IEC 60034-30-2 es IE5.

El motor no precisa protección externa. La unidad de control del motor incorpora protección contra los aumentos de temperatura lentos y rápidos (como aquellos que tienen lugar en condiciones de sobrecarga constante y atasco).

Datos técnicos

Líquido:
Líquido bombeado: Agua potable
Rango de temperatura del líquido: -30 .. 120 °C
Liquid temperature during operation: 20 °C
Densidad: 998.2 kg/m³
Viscosidad cinemática: 1 mm²/s

Posición	Contar	Descripción
		<p>Empresa: Creado Por: Teléfono:</p> <p>Datos: 03/06/2018</p>
		<p>GRUNDFOS </p>
		<p>Técnico: Velocidad para datos de bomba: 3526 rpm Caudal real calculado: 13 l/s Caudal nominal: 15 l/s Altura resultante de la bomba: 14.02 m Pump orientation: Vertical Shaft seal arrangement: Single Code for shaft seal: HQQE Approvals on nameplate: CE, EAC, ACS Curve tolerance: ISO9906:2012 3B</p> <p>Materiales: Base: Cast iron EN 1563 EN-GJS-500-7 ASTM A536 80-55-06 Impulsor: Stainless steel Impeller: EN 1.4301 Impulsor: AISI 304 Bearing: SIC Support bearing: Graflon</p> <p>Instalación: Temperatura ambiental máxima: 50 °C Presión de trabajo máxima: 16 bar Presión máxima a la temp. declarada: 16 bar / 120 °C 16 bar / -30 °C</p> <p>Type of connection: DIN Size of inlet connection: DN 80 Size of outlet connection: DN 80 Pressure rating for pipe connection: PN40 Flange size for motor: FF265</p> <p>Datos eléctricos: Motor standard: IEC Tipo de motor: 132SE Clase eficiencia IE: IE5 Potencia nominal - P2: 5.5 kW Potencia (P2) requerida por la bomba: 5.5 kW Frecuencia de alimentación: 50 Hz Tensión nominal: 3 x 380-500 V Corriente nominal: 10,3-8,20 A Requested voltage: 400 V Rated current at this voltage: 9.95 A Cos phi - Factor de potencia: 0,92-0,88 Velocidad nominal: 360-4000 rpm Eficiencia: 92,7% Rendimiento del motor a carga total: 92.7 % Grado de protección (IEC 34-5): IP55 Clase de aislamiento (IEC 85): F</p> <p>Paneles control: Frequency converter: Built-in Pressure sensor: N</p> <p>Otros: Minimum efficiency index, MEI ≥: 0.7 Net weight: 96 kg Gross weight: 119 kg Shipping volume: 0.309 m3</p>



Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 03/06/2018

Descripción	Valor
Información general:	
Producto:	CRE 45-1-1 A-F-A-E-HQQE
Código:	99072009
Número EAN:	5712606202546
Precio:	8.038,00 EUR €
Técnico:	
Velocidad para datos de bomba:	3526 rpm
Caudal real calculado:	13 l/s
Caudal nominal:	15 l/s
Altura resultante de la bomba:	14.02 m
Stages:	1
Impellers:	1
Number of reduced-diameter impellers:	1
Low NPSH:	N
Pump orientation:	Vertical
Shaft seal arrangement:	Single
Code for shaft seal:	HQQE
Approvals on nameplate:	CE, EAC, ACS
Curve tolerance:	ISO9906:2012 3B
Pump version:	A
Model:	B
Materiales:	
Base:	Cast iron EN 1563 EN-GJS-500-7 ASTM A536 80-55-06
Impulsor:	Stainless steel
Impeller:	EN 1.4301
Impulsor:	AISI 304
Material code:	A
Code for rubber:	E
Bearing:	SIC
Support bearing:	Graffon
Instalación:	
Temperatura ambiental máxima:	50 °C
Presión de trabajo máxima:	16 bar
Presión máxima a la temp. declarada:	16 bar / 120 °C
	16 bar / -30 °C
Type of connection:	DIN
Connect code:	F
Size of inlet connection:	DN 80
Size of outlet connection:	DN 80
Pressure rating for pipe connection:	PN 40
Flange size for motor:	FF265
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua potable
Rango de temperatura del líquido:	-30 a 120 °C
Liquid temperature during operation:	20 °C
Densidad:	998.2 kg/m ³
Viscosidad cinemática:	1 mm ² /s
Datos eléctricos:	
Motor standard:	IEC
Tipo de motor:	132SE
Clase eficiencia IE:	IE5
Potencia nominal - P2:	5.5 kW
Potencia (P2) requerida por la bomba:	5.5 kW
Frecuencia de alimentación:	50 Hz

CRE 45-1-1, 3"380 V

Q = 13 l/s
H = 14.02 m
n = 81 % / 2897 rpm
Líquido bombeado = Agua potable
Temperatura del líquido en trabajo = 20 °C
Densidad = 998.2 kg/m³

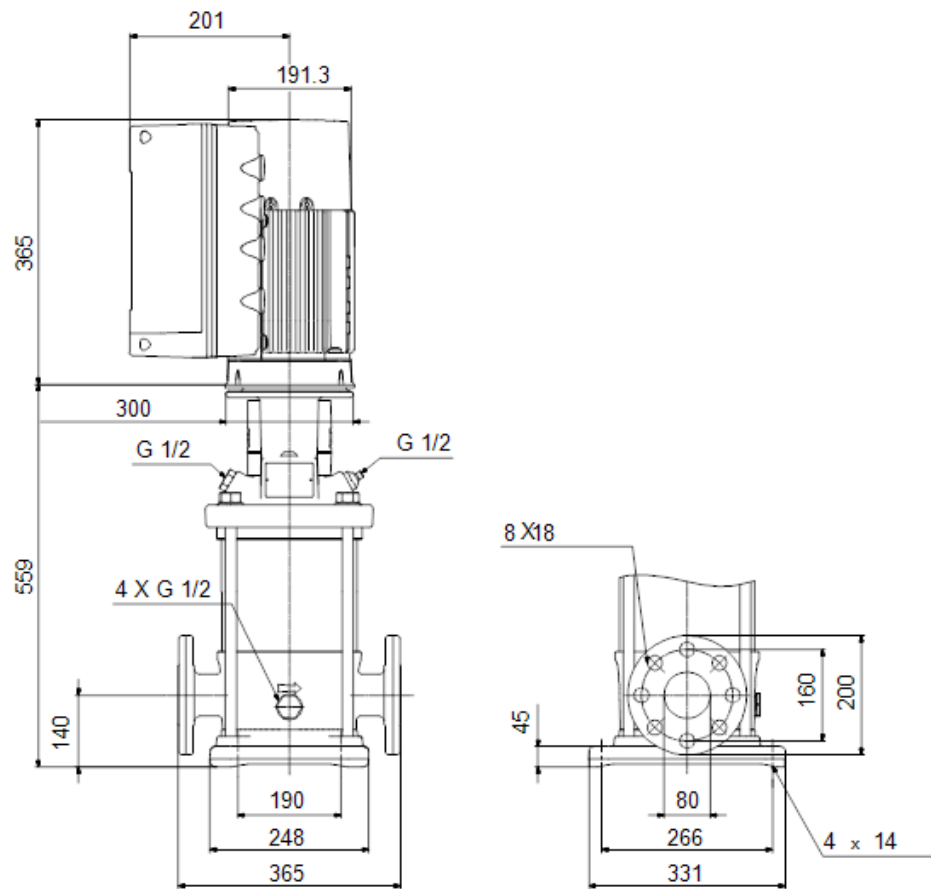
Bomba eta = 66.5 %
Bomba+motor+conv.invertidor, Eta = 62.8 %

P1 (motor+inverter) = 2.837 kW
P2 = 2.8 kW
NPSH = 2.7 m

Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

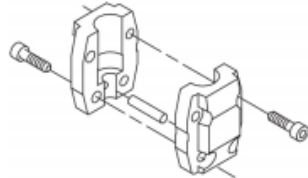
Datos: 03/06/2018

Descripción	Valor
Tensión nominal:	3 x 380-500 V
Corriente nominal:	10,3-8,20 A
Requested voltage:	400 V
Rated current at this voltage:	9.95 A
Cos phi - Factor de potencia:	0,92-0,88
Velocidad nominal:	360-4000 rpm
Eficiencia:	92,7%
Rendimiento del motor a carga total:	92.7 %
Grado de protección (IEC 34-5):	IP55
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Protección del motor:	Sí
Motor N°:	98971051
Paneles control:	
Control panel:	Standard
Módulo función:	FM300 (avanzado)
Frequency converter:	Built-in
Pressure sensor:	N
Otros:	
Minimum efficiency index, MEI ≥:	0.7
Net weight:	96 kg
Gross weight:	119 kg
Shipping volume:	0.309 m3
Danish VVS No.:	386007061
Country of origin:	DK
Custom tariff no.:	84137075



C. CURVA CARACTERISTICA Y DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA INSTALADA EN LOS CALDERONES

		Empresa: Creado Por: Teléfono: Datos: 03/06/2018
Posición	Contar	Descripción
	1	<p>CRE 3-2 A-A-A-E-HQE</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Código: 98389684</p> <p>Bomba centrífuga vertical multietapa con puertos de aspiración y descarga al mismo nivel (en línea) para hacer posible su instalación en sistemas monotubo horizontales. El cabezal de la bomba y la base están fabricados en fundición; todas las demás piezas destinadas al contacto con el líquido están fabricadas en acero inoxidable. Un cierre mecánico de cartucho garantiza la máxima fiabilidad, permite llevar a cabo la manipulación de forma segura y facilita el acceso y el mantenimiento. La transmisión de potencia tiene lugar por medio de un acoplamiento dividido. La conexión de las tuberías se lleva a cabo por medio de bridas ovaladas con rosca Rp interna.</p> <p>La bomba está equipada con un motor síncrono de imanes permanentes de 1 fases, refrigerado por ventilador. El motor incluye un convertidor de frecuencia y un controlador PI en la caja de conexiones. Ello facilita el control variable y continuo de la velocidad del motor, lo cual, a su vez, permite adaptar el rendimiento a un determinado conjunto de requisitos.</p> <p>Más información acerca del producto</p> <p>Se puede conectar un sensor externo si el control del funcionamiento de la bomba debe tener lugar, por ejemplo, en función del caudal, la presión diferencial o la temperatura.</p> <p>Un panel de control situado en la caja de conexiones del motor facilita el establecimiento del punto de ajuste necesario, así como la configuración de la bomba en los modos "Min.", "Máx." o "Parada". El indicador Grundfos Eye del panel de control proporciona información visual acerca del estado de la bomba:</p> <ul style="list-style-type: none"> - "Encendido": El motor se encuentra en funcionamiento (indicadores luminosos de color verde girando) o en reposo (indicadores luminosos de color verde estáticos). - "Advertencia": El motor continúa en funcionamiento (indicadores luminosos de color amarillo girando) o se ha detenido (indicadores luminosos de color amarillo estáticos). - "Alarma": El motor se ha detenido (indicadores luminosos de color rojo intermitentes). <p>La comunicación con la bomba es posible por medio del accesorio de control remoto Grundfos GO Remote. El accesorio de control remoto, además, facilita el ajuste y la lectura de parámetros como el "Valor actual", la "Velocidad", la "Potencia de entrada" y el "Consumo energético" total.</p> <p>Las piezas de acero, fundición y aluminio poseen un revestimiento con base de epoxi creado por electrodeposición catódica (CED). Como parte del proceso de pintura por inmersión de alta calidad conocido como CED, se crea un campo eléctrico alrededor de los productos que garantiza la deposición de las partículas sobre una capa de la superficie delgada y muy controlada. Una de las partes más importantes de dicho proceso es el pretratamiento. El proceso completo se compone de las siguientes etapas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Limpieza basada en agentes alcalinos. 2) Fosfatación de zinc. 3) Electrodeposición catódica. 4) Secado hasta obtener un grosor de capa seca de 18-22 µm. <p>El código de color del producto acabado es NCS 9000/RAL 9005.</p> <p>Bomba</p> <p>Un acoplamiento dividido estándar conecta la bomba al eje del motor. Dos cubiertas protectoras lo mantienen dentro del cabezal de la bomba/sopORTE del motor.</p>

GRUNDFOS **Empresa:**
Creado Por:
Teléfono:**Datos:** 03/06/2018

La bomba está equipada con un cierre de junta tórica equilibrado con sistema de transmisión rígida de par. Este tipo de cierre forma parte de una unidad de cartucho, lo cual convierte la sustitución en una tarea segura y sencilla. Al ser equilibrado, este tipo de cierre resulta adecuado para aplicaciones de alta presión. El diseño del cartucho también protege el eje de la bomba frente a su posible desgaste, gracias a una junta tórica dinámica situada entre el eje de la bomba y el cierre mecánico.

Cierre primario:

- Material del anillo del cierre giratorio: Carburo de silicio (SiC)
- Material del asiento estacionario: Carburo de silicio (SiC)

Esta combinación de materiales se usa en casos en los que es preciso conferir al equipo una mayor resistencia a la corrosión. La elevada dureza de esta combinación de materiales proporciona una magnífica resistencia contra las partículas abrasivas.

Material del cierre secundario: EPDM (caucho de etileno-propileno)

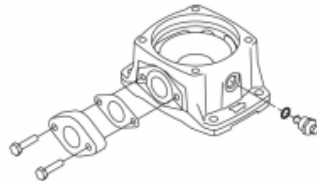
El EPDM posee una excelente resistencia al agua caliente. El EPDM no es apto para el uso con aceites minerales.



El cierre mecánico se encuentra atornillado al cabezal de la bomba.

Las cámaras y los impulsores están fabricados en lámina de acero inoxidable. Las cámaras cuentan con un anillo de collar de PTFE que proporciona mayor hermeticidad y eficiencia. Los impulsores poseen superficies lisas y la forma de los álabes garantiza una gran eficiencia.

La base está fabricada en fundición. Las bridas ovaladas se encuentran atornilladas a la base. El lado de descarga de la base posee un tapón de drenaje y una válvula de derivación combinados. La bomba se fija al cemento insertando cuatro pernos en la placa de base.



Motor

El motor es totalmente cerrado, cuenta con refrigeración por ventilador y sus principales dimensiones se ajustan a las normas IEC y DIN. El motor está montado con una brida dotada de orificios roscados (FT).

Designación de montaje del motor según la norma IEC 60034-7: IM B 14 (Código I)/IM 3601 (Código II).

Las tolerancias eléctricas satisfacen los requisitos establecidos por la norma IEC 60034.

El nivel de eficiencia del motor de acuerdo con la norma IEC 60034-30-2 es IE5.

GRUNDFOS Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 03/06/2018

El motor no precisa protección externa. La unidad de control del motor incorpora protección contra los aumentos de temperatura lentos y rápidos (como aquellos que tienen lugar en condiciones de sobrecarga constante y atasco).

Datos técnicos

Líquido:
Líquido bombeado: Agua potable
Rango de temperatura del líquido: -20 .. 120 °C
Liquid temperature during operation: 20 °C
Densidad: 998.2 kg/m³
Viscosidad cinemática: 1 mm²/s

Técnico:

Velocidad para datos de bomba: 3410 rpm
Caudal real calculado: 1 l/s
Caudal nominal: 0.9722 l/s
Altura resultante de la bomba: 12.02 m
Pump orientation: Vertical
Shaft seal arrangement: Single
Code for shaft seal: HQQE
Approvals on nameplate: CE, EAC, ACS
Curve tolerance: ISO9906:2012 3B

Materiales:

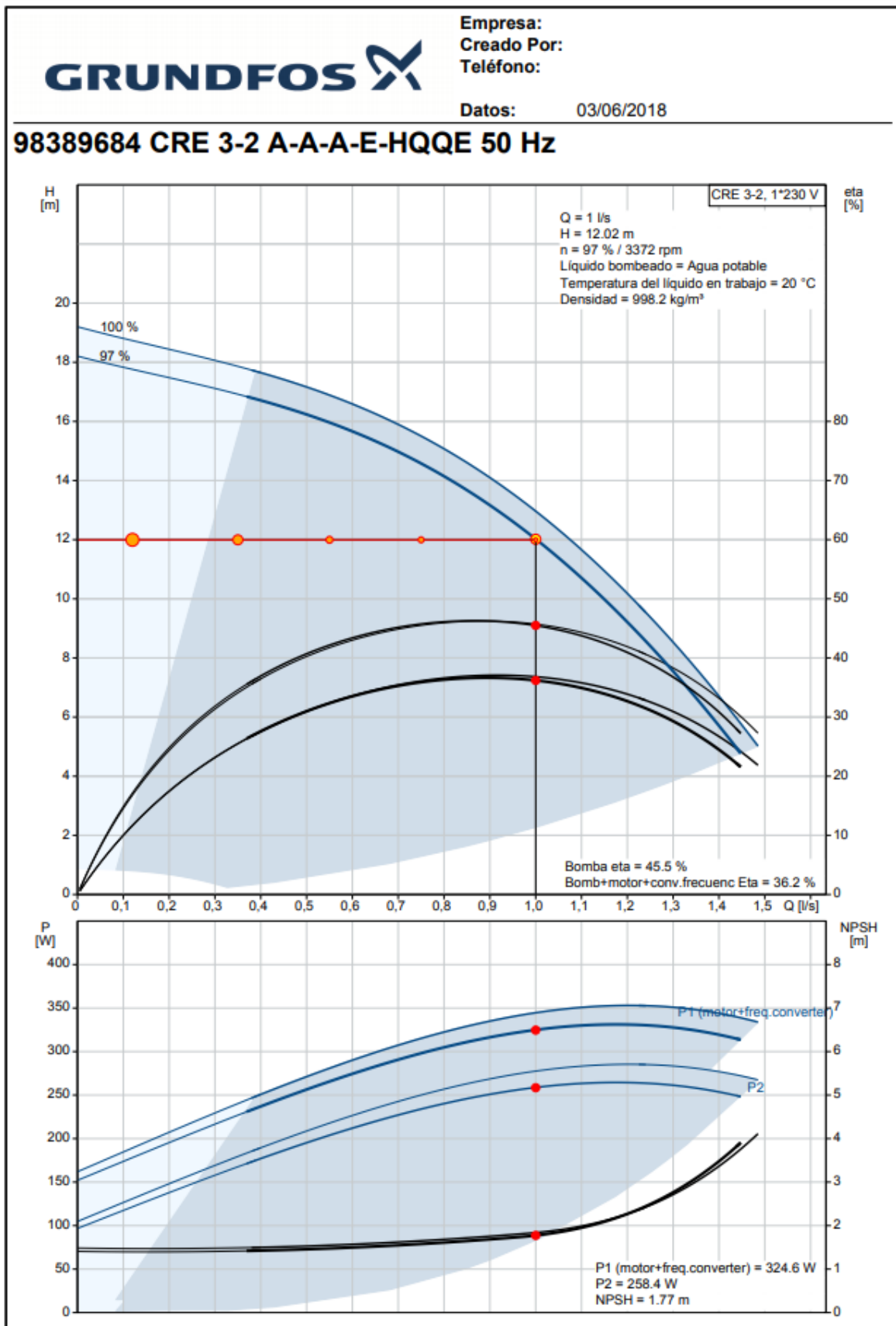
Base: Cast iron
EN 1561 EN-GJL-200
ASTM A48-25B
Impulsor: Stainless steel
Impeller: EN 1.4301
Impulsor: AISI 304
Bearing: SIC

Instalación:

Temperatura ambiental máxima: 50 °C
Presión de trabajo máxima: 16 bar
Presión máxima a la temp. declarada: 16 bar / 120 °C
16 bar / -20 °C
Type of connection: Oval / Rp
Dimensión aspiración: 1 inch
Dimensión descarga: 1 inch
Pressure rating for pipe connection: PN 16
Flange size for motor: FT85

Datos eléctricos:

Motor standard: IEC
Tipo de motor: 71A
Clase eficiencia IE: IE5
Potencia nominal - P2: 0.37 kW
Potencia (P2) requerida por la bomba: 0.37 kW
Frecuencia de alimentación: 50 Hz
Tensión nominal: 1 x 200-240 V
Corriente nominal: 2,40-2,10 A
Requested voltage: 230 V
Rated current at this voltage: 2.17 A
Cos phi - Factor de potencia: 0,96
Velocidad nominal: 360-4000 rpm
Eficiencia: 84,0%
Rendimiento del motor a carga total: 84.0 %

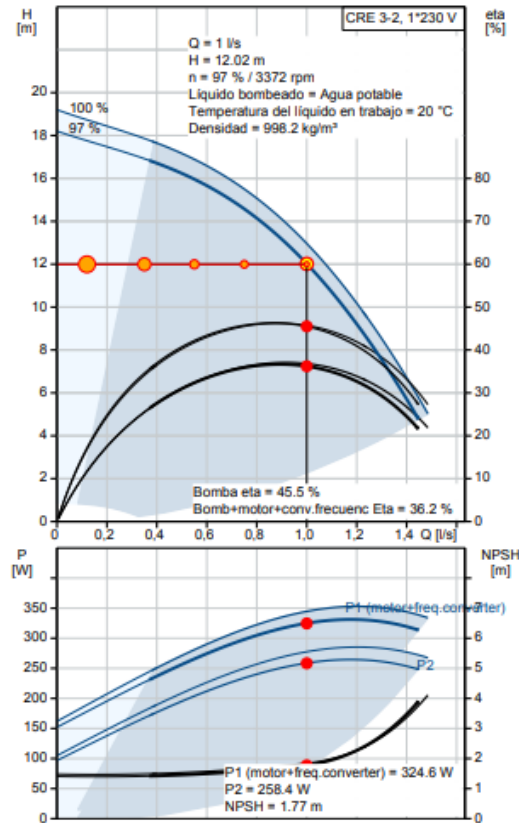




Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 03/06/2018

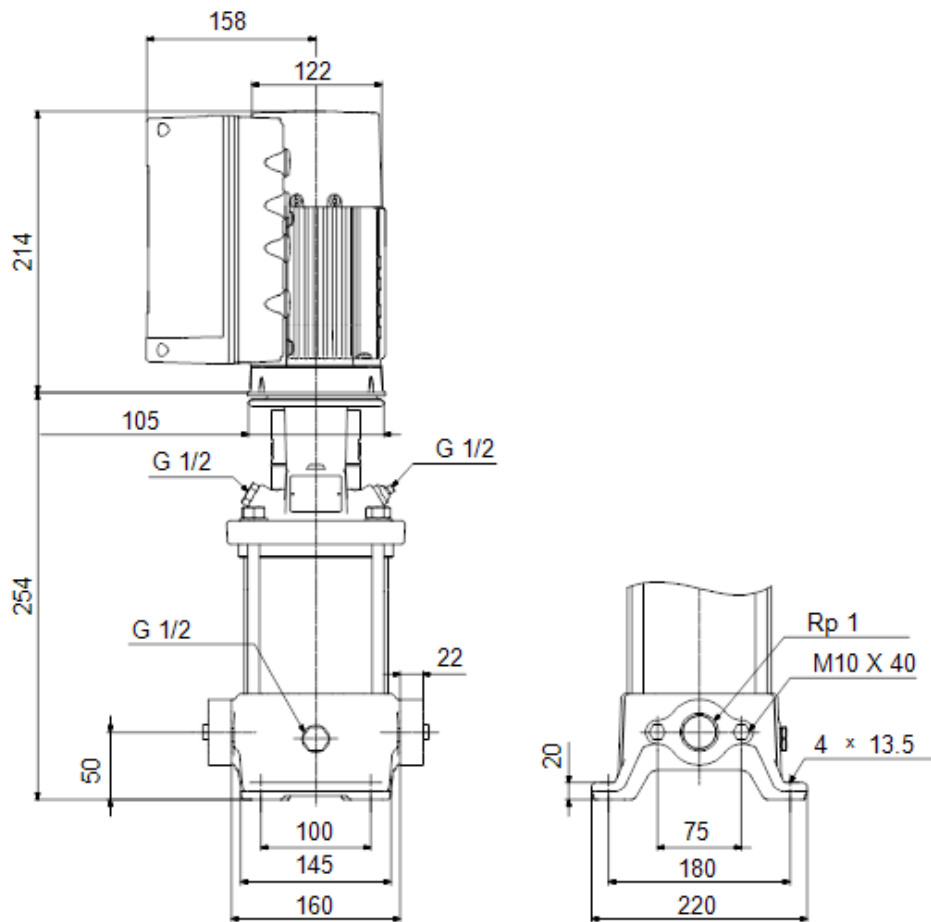
Descripción	Valor
Información general:	
Producto::	CRE 3-2 A-A-A-E-HQQE
Código::	98389684
Número EAN::	5711494182220
Precio:	2.012,00 EUR €
Técnico:	
Velocidad para datos de bomba:	3410 rpm
Caudal real calculado:	1 l/s
Caudal nominal:	0.9722 l/s
Altura resultante de la bomba:	12.02 m
Stages:	3
Impellers:	2
Low NPSH:	N
Pump orientation:	Vertical
Shaft seal arrangement:	Single
Code for shaft seal:	HQQE
Approvals on nameplate:	CE, EAC, ACS
Curve tolerance:	ISO9906:2012 3B
Pump version:	A
Model:	A
Materiales:	
Base:	Cast iron
	EN 1561 EN-GJL-200
	ASTM A48-25B
Impulsor:	Stainless steel
Impeller:	EN 1.4301
Impulsor:	AISI 304
Material code:	A
Code for rubber:	E
Bearing:	SIC
Instalación:	
Temperatura ambiental máxima:	50 °C
Presión de trabajo máxima:	16 bar
Presión máxima a la temp. declarada:	16 bar / 120 °C
	16 bar / -20 °C
Type of connection:	Oval / Rp
Connect code:	A
Dimensión aspiración:	1 inch
Dimensión descarga:	1 inch
Pressure rating for pipe connection:	PN 16
Flange size for motor:	FT85
Líquido:	
Líquido bombeado:	Agua potable
Rango de temperatura del líquido:	-20 .. 120 °C
Liquid temperature during operation:	20 °C
Densidad:	998.2 kg/m ³
Viscosidad cinemática:	1 mm ² /s
Datos eléctricos:	
Motor standard:	IEC
Tipo de motor:	71A
Clase eficiencia IE:	IE5
Potencia nominal - P2:	0.37 kW
Potencia (P2) requerida por la bomba:	0.37 kW
Frecuencia de alimentación:	50 Hz
Tensión nominal:	1 x 200-240 V
Corriente nominal:	2,40-2,10 A
Requested voltage:	230 V
Rated current at this voltage:	2.17 A



GRUNDFOS Empresa:
Creado Por:
Teléfono:

Datos: 03/06/2018

Descripción	Valor
Cos phi - Factor de potencia:	0,96
Velocidad nominal:	360-4000 rpm
Eficiencia:	84,0%
Rendimiento del motor a carga total:	84.0 %
Grado de protección (IEC 34-5):	IP55
Clase de aislamiento (IEC 85):	F
Protección del motor:	SI
Motor N°:	98190190
Paneles control:	
Control panel:	Standard
Módulo función:	FM300 (avanzado)
Frequency converter:	Built-in
Pressure sensor:	N
Otros:	
Minimum efficiency index, MEI ≥:	0.7
Net weight:	21 kg
Gross weight:	23.9 kg
Shipping volume:	0.143 m3
Country of origin:	HU
Custom tariff no.:	84137075



ANEXO 3. CÁLCULO DEL COSTE ENERGÉTICO DE LA BOMBA

B. EJEMPLO DEL CÁLCULO DEL COSTE ENERGETICO PARA LA BOMBA INSTALADA ACTUALMENTE EN EL ESCENARIO DE VERANO

Se muestra únicamente el procedimiento realizado para la obtención de las tablas mostradas en la memoria para el cálculo del coste energético de cada una de las bombas, ya que, el procedimiento ha sido el mismo para todas ellas.

- Cálculo de los coeficientes A y C de la curva de la bomba Q-H

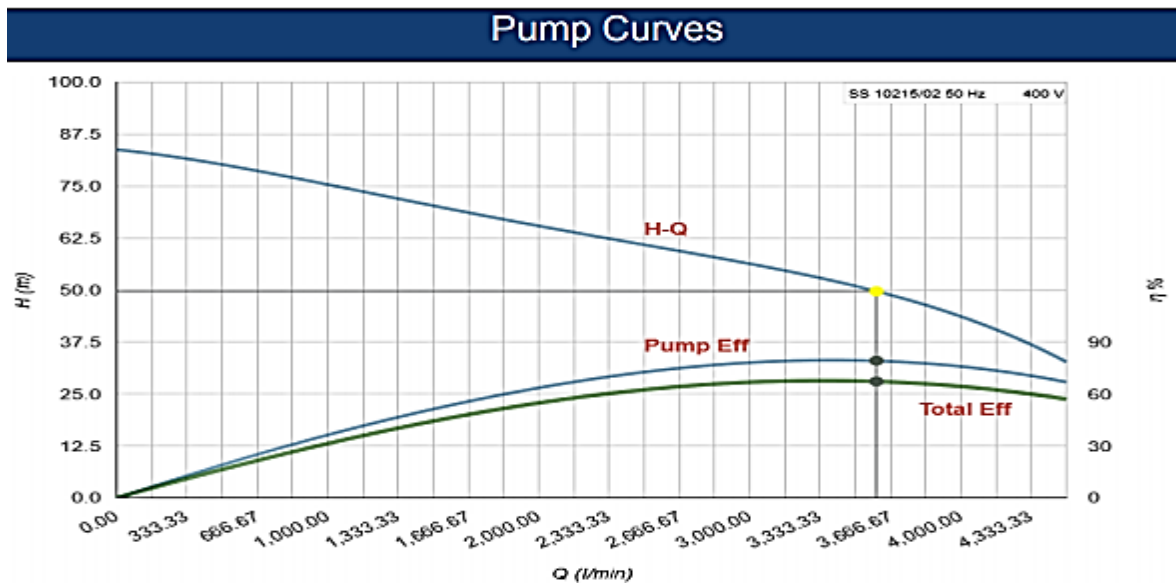


Ilustración 1: Curvas de la bomba actual (Catálogos)

La curva de la bomba del catálogo se exporta a Excel mediante la definición los puntos que se ven en la siguiente tabla. Obteniendo la **Ilustración 2**.

Q (l/s)	H (mca)
0	82
15	75
30	68
45	58
60	49
75	35

Tabla 1: Puntos de la curva Q-H de la bomba actual

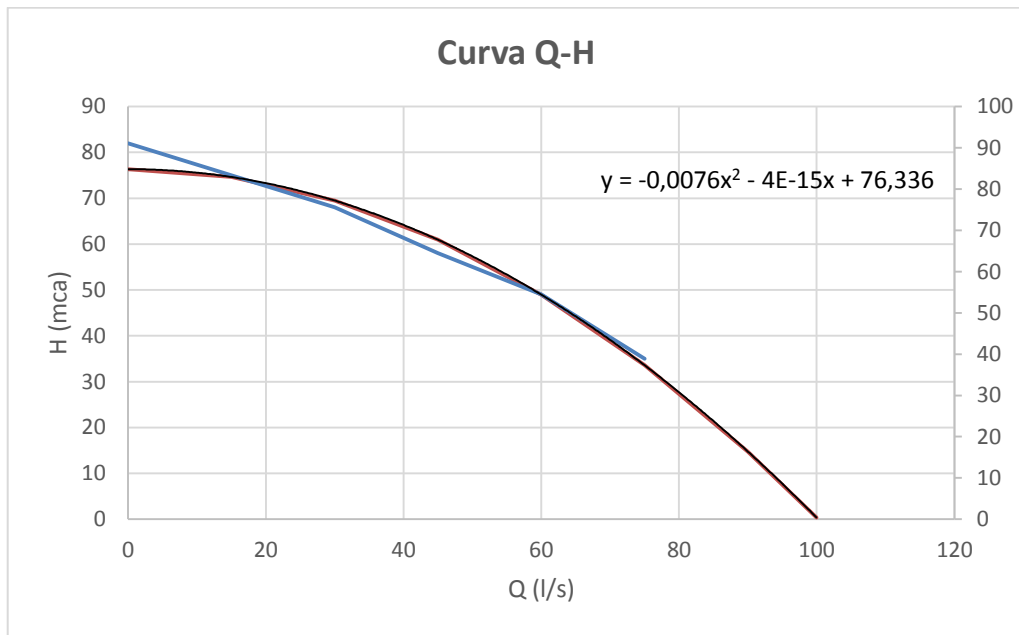


Ilustración 2: Curva de la bomba actual (Excel)

Sabiendo que la ecuación de la curva característica de una bomba es la siguiente:

$$H^{(m)} = A \cdot \alpha^2 + B \cdot \alpha \cdot Q + C \cdot Q^2 \quad (1)$$

(La curva para la cual se han calculado los puntos trabaja con $\alpha = 1$)

Comparándola con la parábola obtenida:

$$y(m) = -0,0076x^2 - 4E-15x + 76,336 \quad (2)$$

Se obtienen los siguientes coeficientes:

$$\begin{aligned} A &= 76,336 \\ C &= -0,0076 \end{aligned}$$

Y podría escribirse la ecuación de nuestra bomba como (el término de B se omite por su insignificante valor):

$$H^{(m)} = 76,336 - 0,0076 \cdot Q^2 \quad (3)$$

- Cálculo de los coeficientes D y E de la curva de la bomba Q-H

A partir de la Ilustración 1, donde se muestra la curva de rendimiento de la bomba, se calculan los coeficientes D y E del mismo modo se ha hecho anteriormente para los coeficientes A y B.

Q (l/s)	Rendimiento
0	0
15	39,52
30	65,1
45	76,72
60	74,4
75	58,12
90	27,9
100	0

Tabla 2: Puntos de la curva Q-η de la bomba actual

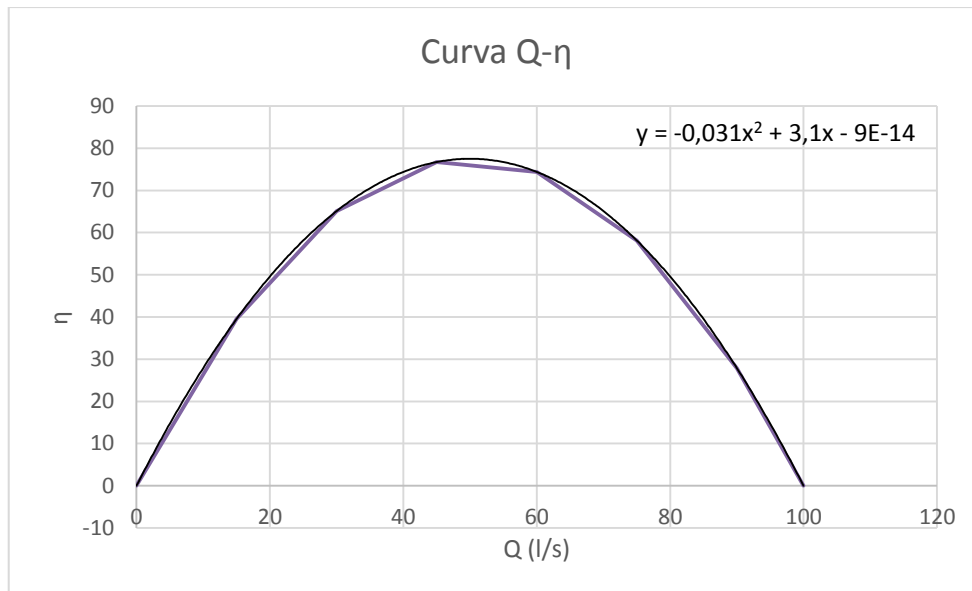


Ilustración 3: Ilustración 2: Curva de rendimiento de la bomba actual (Excel)

Sabiendo que la curva de rendimiento de una bomba se rige por la siguiente ecuación:

$$\eta (\%) = x = \frac{D}{\alpha} \cdot Q + \frac{E}{\alpha^2} \cdot Q^2 \quad (4)$$

(La curva para la cual se han calculado los puntos trabaja con $\alpha = 1$)

Comparándola con la parábola obtenida:

$$y = -0,031x^2 + 3,1x - 9E-14 \quad (5)$$

Se obtienen los siguientes coeficientes:

$$D = 3,1$$
$$E = -0,031$$

Y podría escribirse la ecuación del rendimiento de la bomba como (el término de B se omite por su insignificante valor):

$$\eta (\%) = 3,1 \cdot Q - 0,031 \cdot Q^2 \quad (6)$$

Una vez obtenidos los coeficientes de las curvas que definen el comportamiento de la bomba, se procede al cálculo del rendimiento y potencia de la bomba a partir de los caudales, presiones y velocidades relativas de la bomba obtenidas en las simulaciones de EPANET.

Para el entendimiento de la siguiente tabla, se explica cómo se han obtenido cada uno de sus componentes:

- Q real: Proviene de los datos aportados por el Ayuntamiento sobre los volúmenes inyectados en la red a cada hora durante los meses de invierno y verano. (Consultar Ilustración 27 y 28 de la memoria).
- Qepanet: Son los caudales conseguidos en el programa EPANET, muy próximos al valor real (Q real).
- Psalida: Se ha obtenido midiendo la presión a la salida de la bomba en el programa de EPANET.
- α : Es la velocidad relativa de la bomba a la que se ha puesto a girar para asegurar una presión constante a la salida de la misma, además de conseguir que todos los nudos de la red estuvieran por encima de la presión mínima de servicio. Se ha obtenido el valor a partir del programa de EPANET.
- Hb: Es la altura que aporta la bomba según las circunstancias. Se ha obtenido a partir del programa de EPANET, y se ha validado introduciendo los valores de Qepanet en la ecuación de la curva Q-H calculada anteriormente (Ecuación 1). Por lo que se ha tenido que multiplicar por los correspondientes (α) de las distintas horas.
- Rendimiento (η): Para el cálculo del rendimiento ha bastado con introducir el valor de Qepanet(l/s) en la ecuación obtenida anteriormente, ecuación (6).
- Potencia: La potencia de la bomba se ha calculado a partir de la ecuación (8):

$$P(W) = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta/100} \quad (8)$$

Con $\gamma = \text{Peso específico del agua} = 9810 \text{ N/m}^3$, Qepanet en m^3/s , H de la bomba de epanet en m y rendimiento en %.

- Energía (kW/h): Coincide con la potencia.
- Precio del kW/h: Obtenido a partir de las tarifas de Iberdrola.

- €: Coste del kW en función de la energía y del precio del kW a esa hora.

		VERANO									
		REAL	EPANET								
T (h)	Q (L/S)	Q (L/S)	Psalida (mca)	α	Hb (mca)	H (%)	Potencia (KW)	Energía (Kw/h)	€	Precio KWH (€)	
1	36,11	36,04	-	-	-	-		-	-		
2	34,72	34,68	-	-	-	-		-	-		
3	36,11	36,04	-	-	-	-		-	-		
4	33,33	33,33	-	-	-	-		-	-		
5	33,33	33,33	-	-	-	-		-	-		
6	33,33	33,33	-	-	-	-		-	-		
7	36,11	36,04	25,09	0,56	14,15	71,11	8,79	8,79	0,817	0,093	
8	44,44	44,59	25,05	0,62	16,64	62,61	14,53	14,53	1,350	0,093	
9	47,22	47,3	24,17	0,63	12,59	58,00	12,59	12,59	0,829	0,066	
10	47,22	47,3	24,17	0,63	12,59	58,00	12,59	12,59	0,829	0,066	
11	52,77	52,7	27,94	0,71	18,12	59,31	19,74	19,74	2,183	0,111	
12	61,11	61,26	2,8	0,82	23,87	58,58	30,61	30,61	3,385	0,111	
13	48,61	48,65	25,07	0,65	14,94	58,36	15,27	15,27	1,689	0,111	
14	48,61	48,65	25,07	0,65	14,94	58,36	15,27	15,27	1,689	0,111	
15	47,22	47,3	24,17	0,63	13,95	58,00	13,95	13,95	0,918	0,066	
16	48,61	48,65	25,07	0,65	14,94	58,36	15,27	15,27	1,005	0,066	
17	47,22	47,3	24,17	0,63	13,95	58,00	13,95	13,95	0,918	0,066	
18	47,22	47,3	24,17	0,63	13,95	58,00	13,95	13,95	0,918	0,066	
19	50,00	50	25,99	0,67	15,97	58,70	16,68	16,68	1,098	0,066	
20	50,00	50	25,99	0,67	15,97	58,70	16,68	16,68	1,098	0,066	
21	50,00	50	25,99	0,67	15,97	58,70	16,68	16,68	1,098	0,066	
22	52,77	52,7	27,94	0,71	18,12	59,31	19,74	19,74	1,300	0,066	
23	48,61	48,65	25,07	0,65	14,94	58,36	15,27	15,27	1,419	0,093	
24	41,66	45,95	24,18	0,62	13,86	59,48	13,13	13,13	1,220	0,093	

Tabla 3: Tabla creada para la obtención del coste energético de la bomba

A partir del sumatorio de la columna € de la tabla se obtiene el coste diario total de la bomba trabajando durante las 17h.

Coste total diario	23,76
--------------------	-------



PRESUPUESTO

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

INSTALACIÓN DE DOS GRUPOS DE BOMBEO EN ARMARIO PREFABRICADO DE HORMIGÓN - AYORA

CAPÍTULOS

	IMPORTE	%del Presupuesto
C01 DEMOLICIONES Y RECOMPOSICIONES MONTAJE TUBERÍAS	259,52€	
C02 MOVIMIENTO DE TIERRAS	315,39€	
C03 ALBAÑILERÍA, HORMIGONES Y PREFABRICADOS	5.632,29€	
C04 EQUIPOS DE BOMBEO, TUBERIAS Y OTROS ELEMENTOS	21.218,10€	
C05 MONTAJE	1.079,34€	
C06 GESTIÓN DE RESIDUOS	156,16€	
C07 VARIOS	420,58€	
C08 SEGURIDAD Y SALUD	3.378,76€	
Total Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	32.460,14€	
13% Gastos Generales	4219,8182	
6% Beneficio Industrial	1947,6084	
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	38.627,57	
21% IVA	8111,7897	
Presupuesto Base de Licitación (PBL)	46.739,36	

El presupuesto total asciende a CUARENTA Y SEIS MIL SETECIENTOS TRENTA Y NUEVE EUROS con TRENTA Y SEIS CÉNTIMOS.

INSTALACIÓN DE DOS GRUPOS DE BOMBEO EN ARMARIO PREFABRICADO DE HORMIGÓN - AYORA

Presupuesto

Código	NatC	Ud	Resumen	CanPres	Pres	ImpPres
C01	Capítulo 1		DEMOLICIONES Y RECOMPOSICIONES MONTAJE TUBERÍAS			259,52
DA02010	Partida	M2	DEMOLICION ACERAS DEMOLICIÓN DE ACERAS (DE BALDOSA HIDRÁULICA, HORMIGÓN, ASFALTO...), CON CORTE LIMPIO Y RECTO DE LOS BORDES DE ZANJA, INCLUSO BASE DE HORMIGÓN Y RETIRADA DE ESCOMBROS A VERTEDERO.	8,00	11,47	91,76
DA11010	Partida	M2	RECOMPOSICION DE ACERAS RECOMPOSICIÓN DE ACERAS (DE BALDOSA HIDRÁULICA, CEMENTO, ASFALTO...) INCLUSO BASE DE HORMIGÓN Y MORTERO DE AGARRE.	8,00	20,97	167,76
Total C01				1,00	259,52	259,52
C02	Capítulo 2		MOVIMIENTO DE TIERRAS			315,39
DA21025	Partida	M3	EXCAV. MAQUINA ZANJA EN TIERRA EXCAVACIÓN CON MEDIOS MECÁNICOS DE ZANJA EN TIERRA, CON UNA TOLERANCIA DE RASANTEO DE +/- 5 CM.	6,40	19,05	121,92
DA21420	Partida	M3	TAPADO ZANJA CON ARENA TAPADO Y REGADO DE ZANJA CON APORTACIÓN DE ARENA O ÁRIDO FINO, EN LECHO, LATERALES Y LOMO DE TUBERÍA (RECUBRIENDO ÉSTA AL MENOS 15 CM. POR ENCIMA DE LA GENERATRIZ).	6,40	16,36	104,70
DA21621	Partida	M3	CARGA Y TRANSPORTE PRODUCT. EXCAV. VERT. CARGA Y TRANSPORTE DE PRODUCTOS PROCEDENTES DE LA EXCAVACIÓN, A VERTEDERO A CUALQUIER DISTANCIA INCLUYENDO CANON DE VERTIDO.	6,40	13,87	88,77
Total C02				1,00	315,39	315,39

C03	Capítulo	ALBAÑILERÍA, HORMIGONES Y PREFABRICADOS			5.632,29	
DA21450	Partida	M2	PREPARACIÓN SUPERFICIE PARA CASETA DE HORMIGÓN. DESBROCE, LIMPIEZA, RETIRADA DE RESIDUOS	20,94	3,59	75,17
DA21451	Partida	M3	BASE DE HORMIGÓN EN MASA HM-20//B/20//I DE 25 CM. DE ESPESOR MÁXIMO.	5,23	205,00	1.072,15
DA21452	Partida	M2	MALLAZO DE REDONDO Ø8 15X15 CM.	15,26	22,93	349,91
DA21453	Partida	UD	CASETA PREFABRICADA DE HORMIGÓN	2,00	2.067,53	4.135,06

ARMARIO PREFABRICADO DE HORMIGON MODELO C.T. PARA ALOJAMIENTO DE (ESTACION DE BOMBEO, ARMARIOS ELECTRICOS, CONVERTIDORES DE CAUDALIMETRO Y ANALIZADOR DE CLORO), DESAGUE INCLUIDO, CON PUERTA METALICA Y CIERRE DE SEGURIDAD, CON REJILLAS DE VENTILACION NATURAL, Y EQUIPAMIENTO PARA PASO DE TUBOS Y CABLEADO, DE UNAS DIMENSIONES DE 3.95 X 2.65 M. Y 3.04 M. DE ALTURA, INCLUIDO EL TRANSPORTE Y COLOCADO SOBRE SOLERA DE HORMIGON (NO INCLUIDA).

Total C03				1,00	5.632,29	5.632,29
------------------	--	--	--	------	----------	----------

C04	Capítulo	EQUIPOS DE BOMBEO, TUBERIAS Y OTROS ELEMENTOS			21.316,60	
TU0037	Partida	UD	GRUPO DE BOMBEO GRUNDFOS CRE 45-1-1 A-F-A-E-HQQE	2,00	8.038,00	16.076,00
			INCLUYE BANCADA, CUADRO ELÉCTRICO, COLECTORES, VALVULERÍA			
TU0038	Partida	UD	GRUPO DE BOMBEO GRUNDFOS CRE 3-2 A-A-E-HQQE	2,00	2.012,00	4.024,00
			INCLUYE BANCADA, CUADRO ELÉCTRICO, COLECTORES, VALVULERÍA			
TU0039	Partida	M	TUBERIA DE P.E. 100 DN 90 MM.	6,00	3,85	23,10
TU0040	Partida	M	TUBERIA DE P.E. 100 DN 125 MM.	6,00	9,75	58,50
PZ0577	Partida	UD	VÁLVULA DE COMPUERTA DE C.E. Ø80 MM.	2,00	234,50	469,00
PZ0578	Partida	UD	VÁLVULA DE COMPUERTA DE C.E. Ø125 MM.	2,00	283,75	567,50
Total C04				1,00	21.218,10	21.218,10

C05		Capítulo	MONTAJE	1.079,34		
DE11420	Partida	UD	MONTAJE VALV. COMPUERTA Ø 80-125 MONTAJE VÁLVULA COMPUERTA, DIÁMETRO 80-100 MM.	4,00	155,63	622,52
DE02180	Partida	ML	MONTAJE TUB. PE Ø 90 DESCARGA, ACARREO, COLOCACIÓN Y MONTAJE DE TUBERÍA DE PE DIÁMETRO 90 MM.	6,00	31,34	188,04
DE02181	Partida	ML	MONTAJE TUB. PE Ø 125 DESCARGA, ACARREO, COLOCACIÓN Y MONTAJE DE TUBERÍA DE PE DIÁMETRO 200 MM.	6,00	35,58	213,48
DE02210	Partida	N	MONTAJE CASETA PREFABRICADA HORMIGON DESCARGA, COLOCACIÓN Y MONTAJE DE TUBERÍAS, CONEXIONES ELÉCTRICAS.	2,00	27,65	55,30
Total C05				1,00	768,08	768,08
C06		Capítulo	GESTIÓN DE RESIDUOS	156,16		
DA64002	Partida	M3	GESTION RESIDUOS INERTES TIPO TIERRAS GESTIÓN DE LOS RESIDUOS INERTES TIPO TIERRAS (LER 17 05 04), PROCEDENTES DE LA EXCAVACIÓN SIN INCLUIR RECOGIDA, CARGA, TRANSPORTE Y VERTIDO, SÓLO INCLUYE VALORIZACIÓN EN SU CASO INCLUYENDO ELIMINACIÓN EN VERTEDERO DE INERTES AUTORIZADO POR LA CONSELLERIA DE MEDIO AMBIENTE, AGUA, URBANISMO Y TERRITORIO, POR MEDIO DE GESTOR AUTORIZADO.	12,50	6,40	80,00
DA64004	Partida	M3	GESTION RESIDUOS INERTES TIPO HORMIGÓN GESTIÓN DE LOS RESIDUOS INERTES TIPO ACERA, BORDILLO, ADOQUÍN, HORMIGÓN (LER 17 01 01), PROCEDENTES DE LA DEMOLICIÓN, SIN INCLUIR RECOGIDA, CARGA, TRANSPORTE Y VERTIDO, SÓLO INCLUYE VALORIZACIÓN EN SU CASO INCLUYENDO ELIMINACIÓN EN VERTEDERO DE INERTES AUTORIZADO POR LA CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE, AGUA, URBANISMO Y TERRITORIO, POR MEDIO DE GESTOR AUTORIZADO.	8,00	9,52	76,16
Total C06				1,00	156,16	156,16

C07		Capítulo	VARIOS	420,58		
DO02110	Partida	PA	AVISO Y CERRADA	2,00	60,59	121,18
			AVISO Y CERRADA DEL SERVICIO, MANIOBRANDO LAS VALVULAS NECESARIAS PARA AISLAR Y AFECTAR LA MENOR ZONA POSIBLE.			
VA0012	Partida	UD	VACIADO DE TUBERÍAS EN ZONA CERRADA	2,00	17,78	35,56
			VACIADO DE TUBERIA EN ZONA DE CERRADA			
DN02210	Partida	UD	VALLA RIGIDA P/METALICOS 2.40 M.	4,00	5,08	20,32
			VALLA DE PIES METALICOS, DE 2.40 M.			
DN02235	Partida	UD	SEÑAL TRAFICO C/SOPORTE	4,00	60,88	243,52
			SEÑAL NORMALIZADA DE TRÁFICO, CON SOPORTE METALICO, INCLUSO COLOCACION.			
Total C07				1,00	420,58	420,58
C08		Capítulo	SEGURIDAD Y SALUD	3.378,76		
DSEGSALUD	Partida	Ud	DOTACIÓN PARA EL PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD	1,00	3.378,76	3.378,76
Total Presupuesto de Ejecución Material (PEM)				1,00	32.460,14	32.460,14

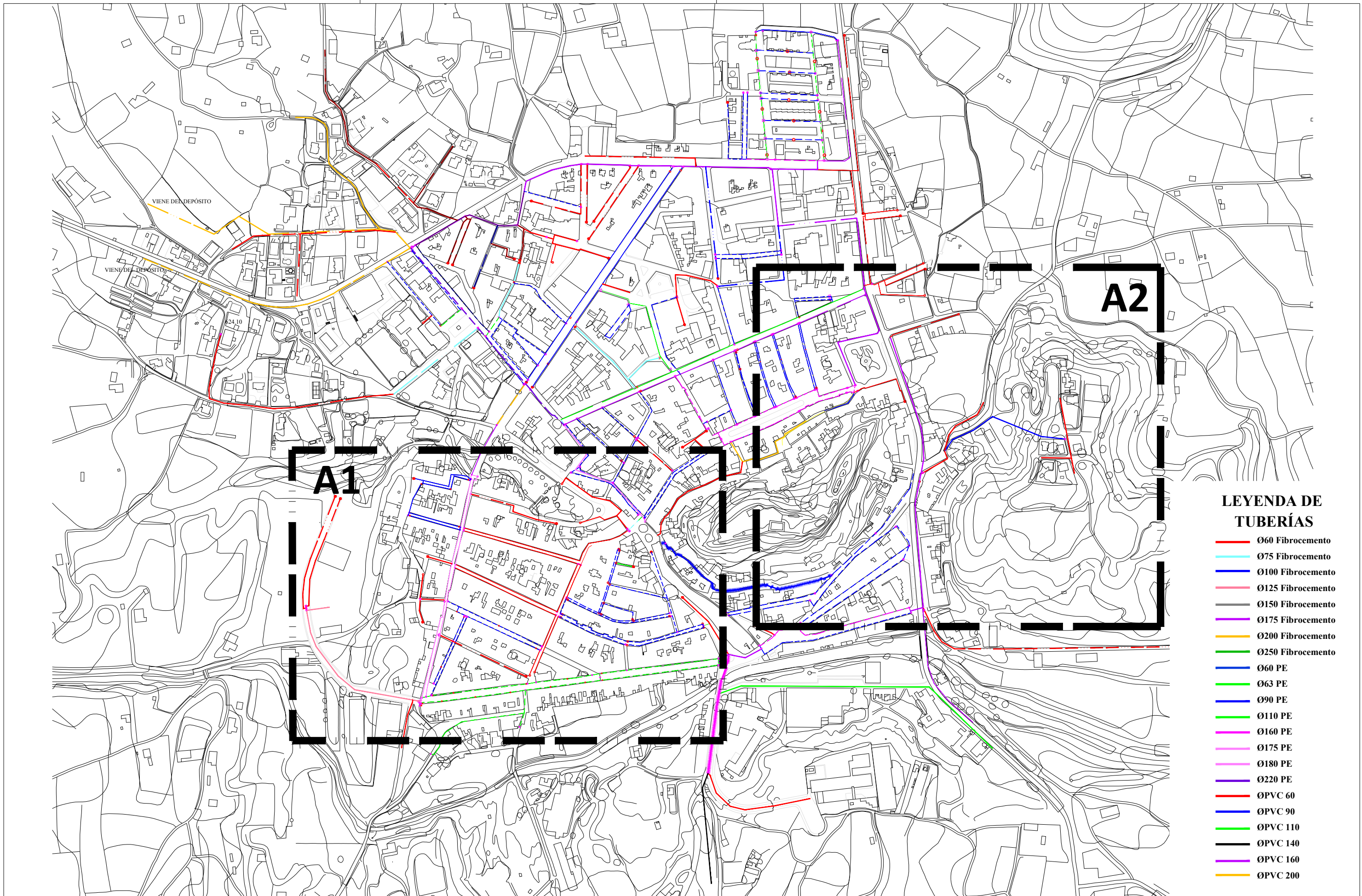


PLANOS



ÍNDICE DE PLANOS

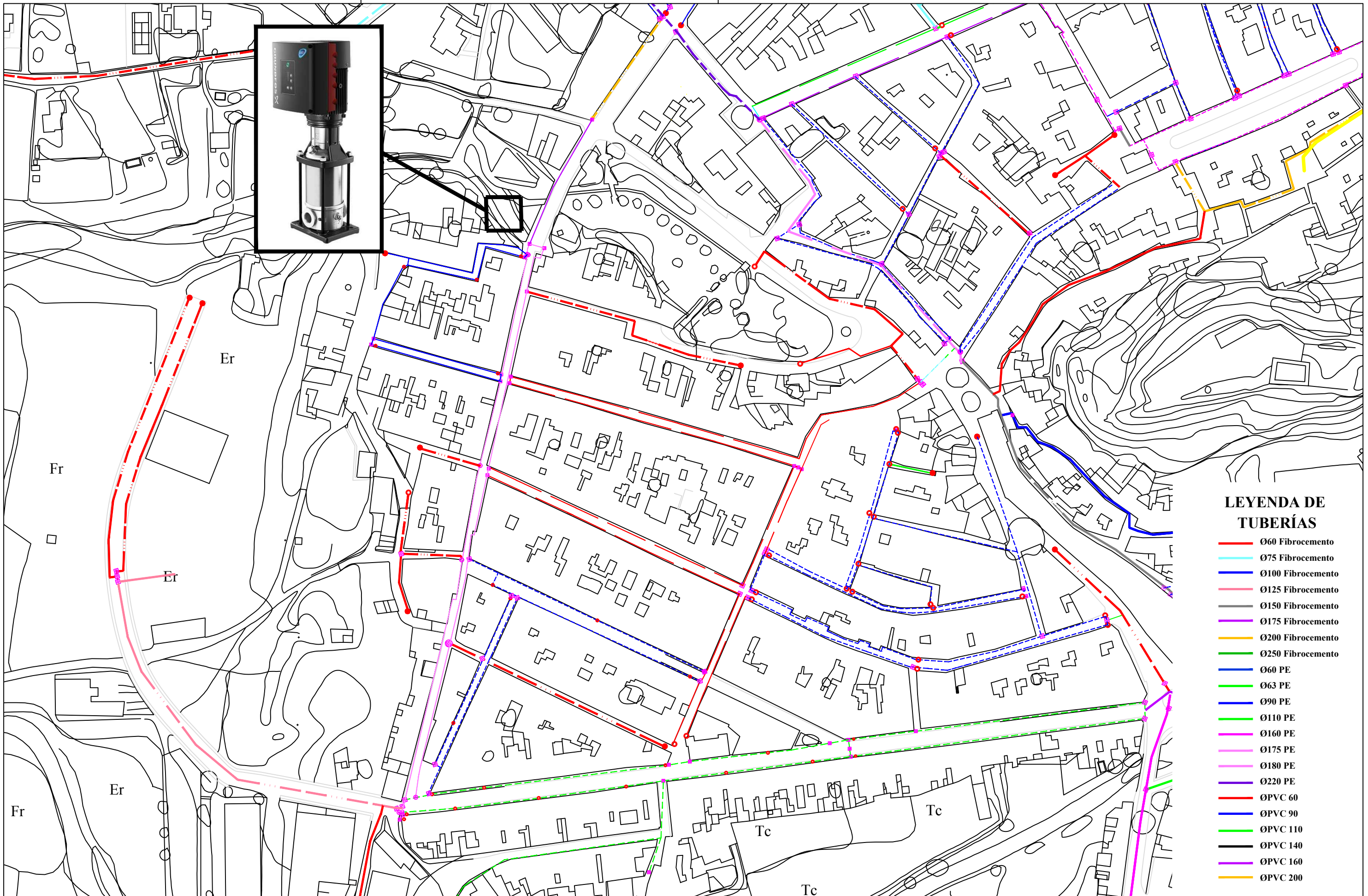
1. RED HIDRAULICA DE AYORA
2. RED HIDRAULICA DE AYORA (SECTOR A1)
3. RED HIDRAULICA DE AYORA (SECTOR A2)
4. ESTACIÓN DE BOMBEO INSTALADA EN LA SOLANA



LEYENDA DE TUBERÍAS

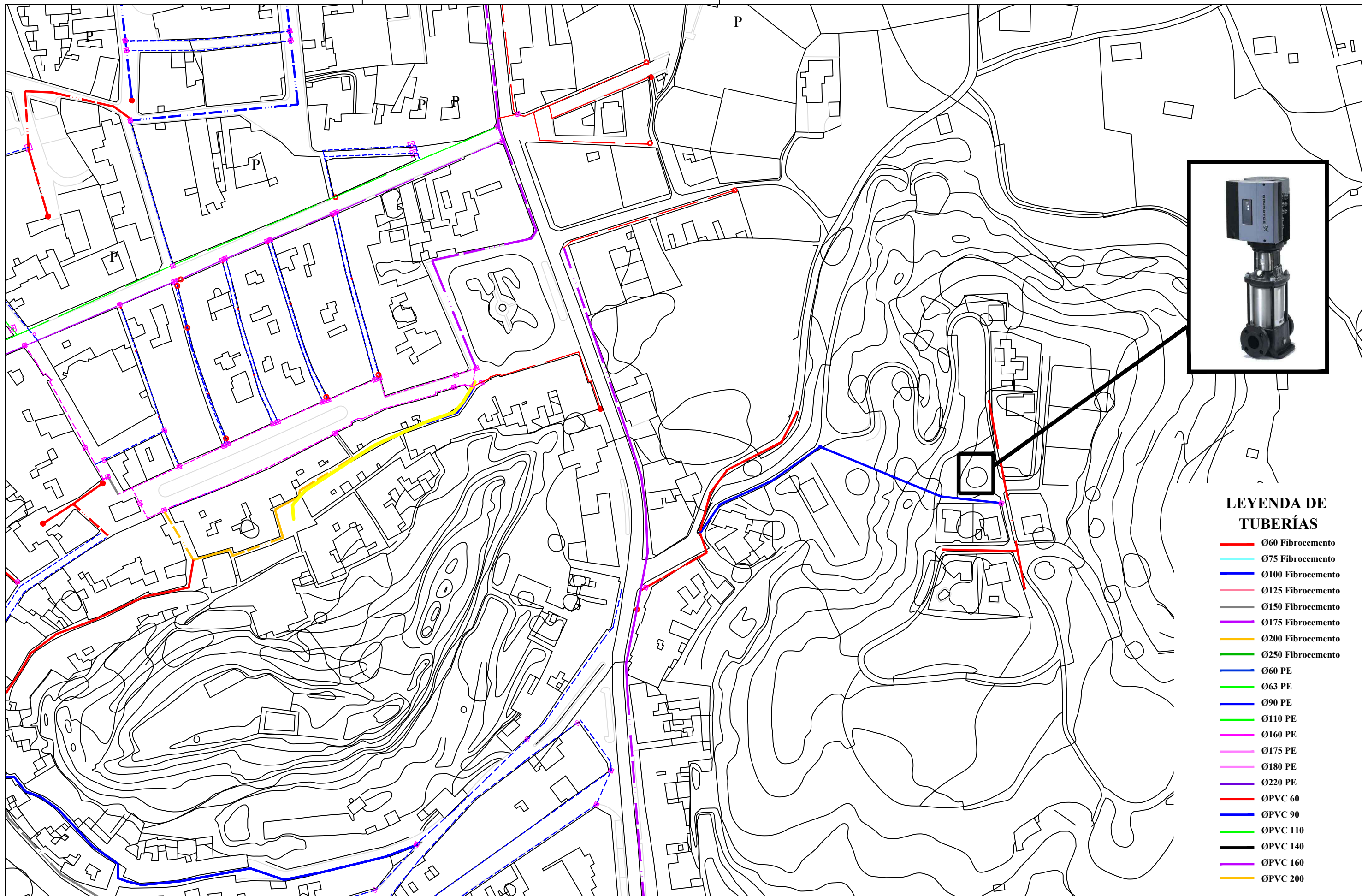
- Ø60 Fibrocemento
- Ø75 Fibrocemento
- Ø100 Fibrocemento
- Ø125 Fibrocemento
- Ø150 Fibrocemento
- Ø175 Fibrocemento
- Ø200 Fibrocemento
- Ø250 Fibrocemento
- Ø60 PE
- Ø63 PE
- Ø90 PE
- Ø110 PE
- Ø160 PE
- Ø175 PE
- Ø180 PE
- Ø220 PE
- ØPVC 60
- ØPVC 90
- ØPVC 110
- ØPVC 140
- ØPVC 160
- ØPVC 200





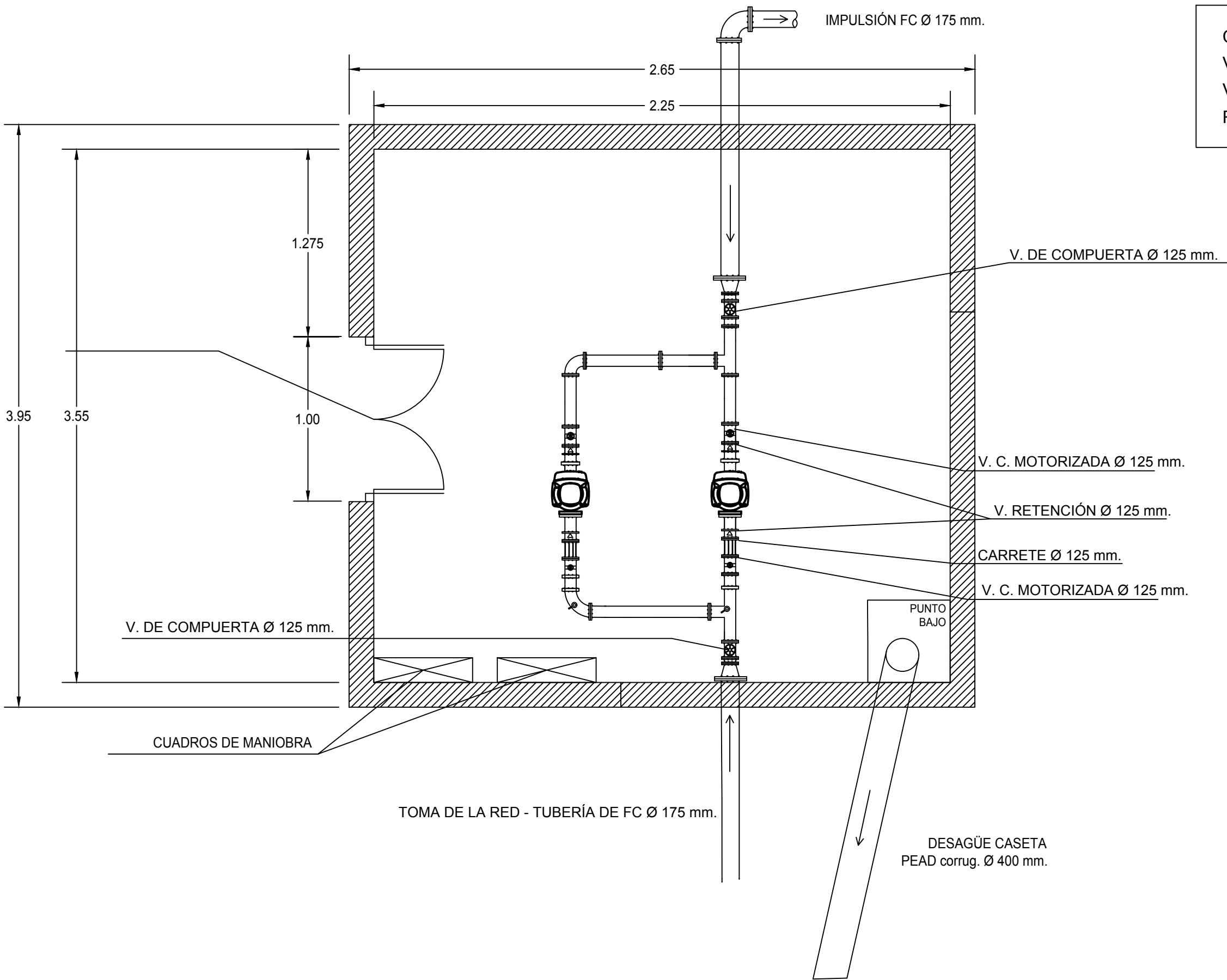
LEYENDA DE TUBERÍAS

- Ø60 Fibrocemento
- Ø75 Fibrocemento
- Ø100 Fibrocemento
- Ø125 Fibrocemento
- Ø150 Fibrocemento
- Ø175 Fibrocemento
- Ø200 Fibrocemento
- Ø250 Fibrocemento
- Ø60 PE
- Ø63 PE
- Ø90 PE
- Ø110 PE
- Ø160 PE
- Ø175 PE
- Ø180 PE
- Ø220 PE
- ØPVC 60
- ØPVC 90
- ØPVC 110
- ØPVC 140
- ØPVC 160
- ØPVC 200



LEYENDA DE TUBERÍAS

- Ø60 Fibrocemento
- Ø75 Fibrocemento
- Ø100 Fibrocemento
- Ø125 Fibrocemento
- Ø150 Fibrocemento
- Ø175 Fibrocemento
- Ø200 Fibrocemento
- Ø250 Fibrocemento
- Ø60 PE
- Ø63 PE
- Ø90 PE
- Ø110 PE
- Ø160 PE
- Ø175 PE
- Ø180 PE
- Ø220 PE
- ØPVC 60
- ØPVC 90
- ØPVC 110
- ØPVC 140
- ØPVC 160
- ØPVC 200



C.R.: CARRETE DESMONTAJE
 V.R.: VÁLVULA RETENCIÓN
 V.C.: VÁLVULA COMPUERTA
 R.E.: REDUCCIÓN TUBERÍA