

E.T.S. de Ingeniería Industrial,  
Informática y de Telecomunicación

# Diseño y optimización de la red de abastecimiento del municipio de Beire



Grado en Ingeniería  
en Tecnologías Industriales

Trabajo Fin de Grado

Autora: Sara Goñi Ortiz

Directores: Alexia Torres Salcedo

Javier Valencia Monreal

Pamplona, junio 2017





## RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado consiste en el diseño y optimización de la red de abastecimiento del municipio navarro de Beire. Para ello, se realizan análisis tanto en régimen permanente como en régimen extendido y se somete a la instalación a diferentes situaciones desfavorables, para evaluar su respuesta. Asimismo, este estudio se utilizará para la elaboración de una serie de guiones de prácticas relacionados con el área de Mecánica de Fluidos, que se emplearán en un futuro en los Grados de Ingeniería en Tecnologías Industriales y de Ingeniería Mecánica para reforzar los conceptos teóricos adquiridos en clase. Se plantean un total de cinco prácticas, y para su desarrollo se utilizará un software gratuito de simulación de redes de abastecimiento denominado Epanet. La realización de estas prácticas permite al alumno, no sólo el aprendizaje y manejo de un nuevo programa informático, sino también saber optimizar y diseñar redes de abastecimiento, ante las cuales deberá analizar su comportamiento y resolver posibles problemas que surjan.

**Palabras clave:** red de abastecimiento, Epanet, demandas, presión, bombas.

## ABSTRACT

This TFG deals with the design and the optimization of Beire's water supply net. To do this, both permanent and extended regime analyzes will be performed and subjected to different unfavorable situations to evaluate their response. In addition, this study will be used for the elaboration of some practices related to the area of Fluid Mechanics, which will be used in the future in the degrees of Industrial Technologies Engineering and Mechanical Engineering to reinforce the theoretical concepts acquired in class. A total of five practices are proposed, and for its development a free simulation software of water supply networks called Epanet, will be used. The implementation of these practices allows the student not only to learn and manage a new computer program, but also to know how to optimize and design supply networks, analyze their behavior and solve possible problems.

Keywords: water supply net, Epanet, demands, pressure, pumps



## INDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	7
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	10
<b>1.- PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS</b> .....	15
<b>2.- ANTECEDENTES</b> .....	21
2.1.- LA UPNA .....	21
2.2.- BOLONIA .....	22
2.3.- ÁREA DE MECÁNICA DE FLUIDOS .....	24
<b>3.- CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO</b> .....	29
3.1.- MANCOMUNIDAD DE MAIRAGA .....	29
3.2.- MUNICIPIO DE BEIRE .....	30
3.3.- DESCRIPCIÓN DE LA OBRA QUE SE QUIERE REALIZAR .....	31
<b>4.- INTRODUCCIÓN A EPANET</b> .....	37
4.1.- DESCRIPCIÓN .....	37
4.2.- ¿POR QUÉ ELEGIR EPANET? .....	38
4.3.- PRINCIPALES COMPONENTES EN LA RED DE ABASTECIMIENTO .....	39
<b>5.- METODOLOGÍA DOCENTE DE LOS GUIONES DE PRÁCTICAS</b> .....	45
<b>6.- GUIONES DE PRÁCTICAS</b> .....	49
6.1.- DISEÑO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE BEIRE .....	49
6.1.1.- Introducción .....	49
6.1.2.- Objetivos .....	49
6.1.3.- Fundamento teórico .....	49
6.1.4.- Herramientas .....	50
6.1.5.- Desarrollo .....	51
6.1.6.- Trabajo a realizar .....	57
6.2.- CÁLCULO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO EN PERIODO SIMPLE .....	58
6.2.1.- Introducción .....	58
6.2.2.- Objetivos .....	58
6.2.3.- Fundamento teórico .....	58
6.2.4.- Herramientas .....	59
6.2.5.- Desarrollo .....	60
6.2.6.- Elección de las bombas .....	60
6.2.6.- Trabajo a realizar .....	67
6.3.- SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LA RED EN PERIODO EXTENDIDO .....	68
6.3.1.- Introducción .....	68

6.3.2.- Objetivos.....	68
6.3.3.- Fundamento teórico .....	68
6.3.4.- Herramientas .....	69
6.3.4.- Desarrollo.....	71
6.3.5.- Obtención de la curva de consigna .....	72
6.3.6.- Estación de bombeo .....	78
6.3.7.- Trabajo a realizar .....	86
<b>6.4.- ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA RED TRAS EL USO DE VÁLVULAS. ....</b>	<b>87</b>
6.4.1.- Introducción .....	87
6.4.2.- Objetivos.....	87
6.4.3.- Fundamento teórico .....	87
6.4.4.- Herramientas .....	88
6.4.5.- Desarrollo.....	89
6.4.6.- Simulaciones de los diferentes cambios que se producen en las presiones y en la distribución de caudales .....	91
6.4.7.- Trabajo a realizar .....	101
<b>6.5.- SITUACIONES EXTRAORDINARIAS EN LA RED .....</b>	<b>102</b>
6.5.1.- Introducción .....	102
6.5.2.- Objetivos.....	102
6.5.3.- Fundamento teórico .....	102
6.5.4.- Herramientas .....	103
6.5.5.- Desarrollo.....	103
6.5.8.- Trabajo a realizar .....	112
<b>7.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>115</b>
7.1.- CONCLUSIONES GENERALES.....	115
7.2.- CONCLUSIONES PARTICULARES .....	115
7.3.- DESARROLLOS FUTUROS.....	117
<b>8.- BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS</b>	
ANEXO I: DEMANDAS BASES Y PATRONES	
ANEXO II: TABLAS DE LOS PATRONES	
ANEXO III: CARACTERÍSTICAS BOMBAS ETABLOC	

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

**Fig. 3.1.** Mapa de la situación de Beire

**Fig. 3.2.** Estación de tratamiento de agua potable, La Pedrera

**Fig. 3.3.** Red de tuberías generales desde la ETAP hasta Beire y demás municipios

**Fig. 6.1.** Barra de herramientas del programa Epanet

**Fig. 6.2.** Red de abastecimiento de agua y plano de Beire

**Fig. 6.3.** Presiones en m.c.a.

**Fig. 6.4.** Velocidades en m/s

**Fig. 6.5.** Ventana Editor de curva

**Fig. 6.6.** Selección bomba

**Fig. 6.7.** Selección diámetro del rodete de la bomba

**Fig. 6.8.** Curva de la bomba en Epanet

**Fig. 6.9.** Selección de la bomba

**Fig. 6.10.** Selección diámetro del rodete de la bomba

**Fig. 6.11.** Curva de la bomba en Epanet

**Fig. 6.12.** Presiones en m.c.a.

**Fig. 6.13.** Velocidades en m/s

**Fig. 6.14.** Ventana Visor

**Fig. 6.15.** Patrón “Comercio”

**Fig. 6.16.** Patrón “Dotación institucional”

**Fig. 6.17.** Patrón “Industrial”

**Fig. 6.18.** Patrón “Granjas”

**Fig. 6.19.** Patrón “Viviendas”

**Fig. 6.20.** Patrón “Riego”

**Fig. 6.21.** Patrón “Riego huertas”

**Fig. 6.22.** Patrón “Varios”

**Fig. 6.23.** Opciones de tiempo

**Fig. 6.24.** Curva de consigna en el nudo 13

- Fig. 6.25.** Curva de consigna en el nudo 137
- Fig. 6.26.** Selección de la bomba
- Fig. 6.27.** Selección diámetro del rodete de la bomba
- Fig. 6.28.** Curva de la bomba en Epanet
- Fig. 6.29.** Curvas características de la estación de bombeo del nudo 13
- Fig. 6.30.** Selección de la bomba
- Fig. 6.31.** Selección diámetro del rodete de la bomba
- Fig. 6.32.** Curva de la bomba en Epanet
- Fig. 6.33.** Curvas características de la estación de bombeo
- Fig. 6.34.** Simbología de las válvulas reguladoras de caudal
- Fig. 6.35.** Introducción y edición de válvulas
- Fig. 6.36.** Plano de la red con válvulas
- Fig. 6.37.** Resultado de presiones con la válvula 259 abierta
- Fig. 6.38.** Resultado de caudales con la válvula 259 abierta
- Fig. 6.39.** Resultado de presiones con la válvula 259 cerrada
- Fig. 6.40.** Resultado de caudales con la válvula 259 cerrada
- Fig. 6.41.** Resultado de presiones con la válvula 12 abierta
- Fig. 6.42.** Resultado de caudales con la válvula 12 abierta
- Fig. 6.43.** Resultado de presiones con la válvula 12 cerrada
- Fig. 6.44.** Resultado de caudales con la válvula 12 cerrada
- Fig. 6.45.** Resultado de presiones con la válvula 168 abierta
- Fig. 6.46.** Resultado de caudales con la válvula 168 abierta
- Fig. 6.47.** Resultado de presiones con la válvula 168 cerrada
- Fig. 6.48.** Resultado de caudales con la válvula 168 cerrada
- Fig. 6.49.** Resultado de presiones con la válvula 122 abierta
- Fig. 6.50.** Resultado de caudales con la válvula 122 abierta
- Fig. 6.51.** Resultado presiones con la válvula 122 cerrada



**Fig. 6.52.** Resultado de caudales con la válvula 122 cerrada

**Fig. 6.53.** Plano de la red con la tubería 2

**Fig. 6.54.** Plano de la red después de eliminar la tubería 2 y añadir la tubería 1

**Fig. 6.55.** Presiones en los nodos 144 y 141

**Fig. 6.56.** Presiones en los nodos 183 y 144

**Fig. 6.57.** Indicación de la ubicación del hidrante

**Fig. 6.58.** Presiones antes del incendio

**Fig. 6.59.** Ventana Advertencia en Epanet

**Fig. 6.60.** Presiones durante el incendio

## **ÍNDICE DE TABLAS**

**Tabla 1.1.** Asignaturas impartidas por el Área de Mecánica de Fluidos en la UPNA

**Tabla 6.1.** Resultados de mínima y máxima presión

**Tabla 6.2.** Resultados de máxima velocidad

**Tabla 6.3.** Puntos de la curva de la bomba

**Tabla 6.4.** Resumen de resultados en nodos antes de colocar bombas

**Tabla 6.5.** Resumen de resultados después de colocar bombas

**Tabla 6.6.** Resumen de resultados en nodos antes de colocar bombas

**Tabla 6.7.** Puntos de la curva de la bomba

**Tabla 6.8.** Resumen de resultados nodos después de las bombas

**Tabla 6.9.** Puntos de la curva consigna del nudo 13

**Tabla 6.10.** Puntos de la curva consigna del nudo 137

**Tabla 6.11.** Puntos de la curva de la bomba

**Tabla 6.12.** Puntos de la curva de la bomba

**Tabla 6.13.** Variación del caudal y del estado de las bombas durante 24 h

**Tabla 6.14.** Puntos de la curva de la bomba

**Tabla 6.15.** Puntos de la curva de la bomba

**Tabla 6.16.** Variación del caudal y del estado de las bombas durante 24 h

**Tabla 6.17.** Longitudes de las tuberías donde se van a colocar las válvulas

**Tabla 6.18.** Nuevas características de los elementos tras introducir las válvulas

**Tabla 6.19.** Características de cada válvula

**Tabla 6.20.** Resumen resultados nodos después de colocar la bomba

**Tabla 6.21.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.22.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.23.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.24.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.25.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.26.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.27.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.28.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.29.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.30.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.31.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.32.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.33.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

**Tabla 6.34.** Características de la nueva tubería

**Tabla 6.35.** Presiones en los nodos antes de eliminar la tubería

**Tabla 6.36.** Presiones en los nodos después de eliminar la tubería



# **CAPÍTULO 1**

---

## **Planteamiento y objetivos**



## 1.- PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

Según el Boletín Oficial del Estado, el municipio de Beire, debido a la sequía que sufrió en 2012, va a realizar obras en su infraestructura, modificando su fuente de abastecimiento. Debido a estos cambios, en el presente TFG se realiza el diseño y optimización de la nueva red de abastecimiento de dicho municipio. Para ello, se van a realizar análisis tanto en régimen permanente como en régimen extendido y se va a someter a la instalación a diferentes situaciones desfavorables, para evaluar su respuesta. Para la optimización de la red de Beire se va a utilizar el programa Epanet.

Asimismo, este estudio sirve de base para la elaboración de una serie de guiones de prácticas relacionados con el área de Mecánica de Fluidos, que se emplearán en un futuro en los distintos Grados de Ingeniería.

Se plantean un total de cinco prácticas y, para su desarrollo, se utilizará un software gratuito de simulación de redes de abastecimiento denominado Epanet.

La primera práctica consiste en el diseño de una nueva red de abastecimiento del municipio navarro de Beire desde La Pedrera (Tafalla). Esta primera práctica sirve de introducción a la utilización del programa Epanet y permite conocer todos los comandos necesarios para el diseño de una red de abastecimiento.

A partir de esta primera práctica, se propone una segunda en la que se tratan de solucionar los problemas surgidos en la primera simulación. Para su solución, se plantea el uso de bombas, por lo que dicha práctica servirá para la introducción al manejo y elección de bombas.

La tercera práctica corresponde a la simulación de la red de abastecimiento en periodo extendido, simulando su comportamiento durante siete días. Este nuevo modelo de distribución de agua se aproxima más a la realidad.

En la cuarta práctica se analiza el comportamiento de la instalación cuando se introducen diferentes válvulas.

Finalmente, una vez que se han enseñado las herramientas básicas del programa y se han realizado diferentes simulaciones con distintos conocimientos de partida, se propone una quinta práctica en la que se plantean dos casos prácticos que pueden ocurrir en cualquier red de conducción y ante los cuales deben proponerse diferentes soluciones.

La realización de este Trabajo Fin de Grado persigue, entre otros, los siguientes objetivos principales:

- Conocimiento y manejo de un nuevo programa informático. Las componentes de las redes de distribución de agua no siguen un comportamiento lineal, y tampoco es fácil saber de antemano las distribuciones de agua que se van a tener por la red. Dicho esto, se considera importante saber utilizar modelos de simulación por ordenador para poder justificar y anticipar resultados que se puedan dar.
- Estudio de un caso práctico real. Se considera que la mejor forma para enseñar el manejo del programa es sobre un caso real, ya que de esta forma se enseñan todas las herramientas que se necesitan para el diseño y optimización de redes. Si tratásemos sobre un caso no real la explicación y la enseñanza se podría simplificar mucho, ya que no se tendría tantos nodos, como tuberías, pero cuando llegase el momento de diseñar un caso real los conocimientos adquiridos serían escasos.
- Diseño y análisis de los resultados obtenidos de una red de abastecimiento real. Es importante que se entienda el comportamiento de la red tras los resultados. Con un buen conocimiento del análisis de los resultados se puede saber el problema y la solución al mismo con claridad.
- Propuesta de soluciones y alternativas frente a diferentes problemas y situaciones desfavorables que se presentan en la red. Cualquier red de abastecimiento real durante su vida sufre situaciones extraordinarias. Llegados a esos casos, es importante saber qué posibles situaciones desfavorables se podrían dar, y tener alternativas instaladas en la red, la cuales hagan frente a dichas situaciones anómalas.
- Elaboración de guiones de prácticas para asignaturas del área de Mecánica de Fluidos que complementen a los ya existentes.

Asimismo, la realización de este Trabajo Fin de Grado viene justificada, principalmente, por dos razones:

1. Estudio de la red de abastecimiento de un caso real. El Anexo II del Boletín Oficial del Estado (BOE) del 2016 [1], recoge las obras de abastecimiento de agua que se tienen previstas realizar entre los años 2017-2019. Una de dichas obras trata sobre el nuevo suministro de agua que se quiere llevar desde La Pedrera, situado en Tafalla a Mairaga-Zona Media. Para este suministro nuevo de agua se necesita una nueva red de abastecimiento de agua, por este motivo, se eligió el diseño de la conducción



- general de abastecimiento de agua desde La Pedrera hasta Beire, que es uno de los tantos municipios que recoge la mancomunidad de Mairaga.
2. El tema de redes de abastecimiento es un tema que se estudia de manera teórica en varias asignaturas del área de Mecánica de Fluidos. Sin embargo, no existen sesiones prácticas que aborden este tema, por lo que es necesario la elaboración de distintos guiones de prácticas que permitan al alumno realizar un mayor número de horas prácticas. Con ello, se persigue uno de los objetivos principales del plan del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) de aumentar el número de horas de enseñanza práctica.



## **CAPÍTULO 2**

---

### **Antecedentes**



## 2.- ANTECEDENTES

### 2.1.- LA UPNA

La Universidad Pública de Navarra (UPNA), Campus de Excelencia Internacional, tiene tres campus situados dos en Pamplona y uno en Tudela. El campus de mayor tamaño (con 26 hectáreas urbanizables) es el Campus de Arrosadía, que está situado al sur de Pamplona en el barrio de la Milagrosa y contiene la mayor parte de las titulaciones. En la zona hospitalaria de Pamplona se encuentra la Facultad de Ciencias de la Salud que imparte el grado en Enfermería. En el campus de Tudela se imparten dos titulaciones: el Grado en Fisioterapia y el Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico. [2]

La UPNA posee 54 Postgrados, 23 Grados y 16 Doctorados. Cuenta con 878 profesores, 7.773 alumnos, 67 profesores doctores y 458 personal administrativo y servicios. [2]

La UPNA se fundó en el año 1987 por el Parlamento de Navarra, a iniciativa del gobierno socialista de Gabriel Urralburu. En 1989 se iniciaron las obras para la construcción del edificio del Aulario y comenzaron la impartición de clases en El Sario con 500 alumnos. En 1990 se construyeron la biblioteca y los edificios departamentales. En 1991 Guillermo Sánchez Martínez empezó la dirección y planificación de la UPNA y en 1993 se eligió al primer rector Pedro Burillo López. En 1996 la universidad contaba con 10.000 alumnos matriculados. En 2008 se inauguró el Campus de Tudela. [2]

Actualmente, Alfonso Carlosena es el Rector de la Universidad Pública de Navarra. El rector es la máxima autoridad académica de la Universidad. Es elegido por la comunidad universitaria, mediante elección directa y sufragio universal libre y secreto, entre los catedráticos de Universidad en activo, que presenten sus servicios en la Universidad Pública de Navarra. La duración del mandato es de cuatro años. [3]

Junto a las universidades de Zaragoza, La Rioja y Lleida conforma el Campus Iberus, distinguido por el Ministerio de Educación como Campus de Excelencia Internacional (CEI). [2]

Los grados en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural (GIAMR) y en Ingeniería en Tecnologías de la Comunicación han sido reconocidas con un certificado europeo de calidad para ingenierías denominado Sello EUR-ACE. [2]

La UPNA cuenta con seis Facultades y Escuelas: Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Facultad de Ciencias Humanas y Sociales, Facultad de Ciencias Jurídicas, Facultad de Ciencias de la Salud, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. [2]

Además, la UPNA cuenta con una finca destinada a prácticas e Investigación Agrícola situada junto a El Sario, en el Campus de Arrosadia. [2]

Junto a El Sario y la Finca de Prácticas se sitúan las instalaciones deportivas de la UPNA. Dichas instalaciones cuentan con: [2]

- Tres campos de fútbol: Uno de arena, otro de césped y otro de hierba artificial.
- Campo de rugby de hierba natural.
- Canchas prácticas de golf y puttin-green.
- Frontón cubierto
- El Pabellón Universitario.
- Piscina cubierta.
- 2 pista polideportivas: Una cubierta y otra descubierta.
- Pistas de tenis: Cubiertas y descubiertas.
- Sala de musculación.
- Salas multiusos y otras salas.

## 2.2.- BOLONIA

El Proceso de Bolonia empezó en 1999, cuando 29 países europeos firmaron la Declaración de Bolonia, cuyo objetivo era el establecimiento para el año 2010 de un Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) para lograr la convergencia y la comparabilidad en los sistemas universitarios europeos. Hasta el momento son 46 países europeos los que participan. [4]

Los objetivos del Espacio Europeo de Educación Superior son conseguir un sistema comparable de estudios de Grado, Máster y Doctorado, una medida del trabajo y estudio del estudiante fácil de medir y transferir, llamada crédito europeo (ECTS), la movilidad europea e internacional, la garantía de la calidad de las titulaciones e instituciones universitarias y conseguir el acceso a la Universidad de cualquier persona con independencia de sus posibilidades económicas. [4]

El plan Bolonia se divide en tres niveles: Grado, master y doctorado. [4]

El grado normalmente tiene una duración de cuatro años, 240 créditos y sustituye a las diplomaturas y licenciaturas. Los grados relacionados con la salud suelen tener una mayor duración, Medicina con 360 créditos, Odontología, Farmacia y Veterinaria con 300 créditos y, finalmente, Arquitectura con 330 créditos. [5]

El máster sirve como especialización en un ámbito concreto o multidisciplinar y puede durar un año (60 créditos) o dos años (120 créditos). Existen tres tipos de Máster: [4]

- Máster orientado a la especialización.
- Máster necesario para ejercer una profesión.
- Máster orientado a la investigación. Este tipo de másteres permiten acceder al segundo periodo de investigación del Doctorado.

El Doctorado es el tercer ciclo de las enseñanzas universitarias y consta de un periodo de formación y otro periodo de investigación. [4]

Los European Credit Transfer System (ETCS) es la unidad de medida del trabajo y estudio del estudiante. Dichos créditos miden las horas de clase y las horas de trabajo del alumno fuera del aula. Un ETCS equivale a 25 y 30 horas de aprendizaje. [5]

La base del Plan Bolonia es la evaluación continua, las tutorías académicas y el fomento del aprendizaje activo. La nueva forma de enseñanza te permite una forma de estudio más autónoma, más reflexiva y multidisciplinar, más cooperativa y más práctica, con el objetivo de formar profesionales críticos, creativos e independientes, capaces de resolver problemas y de continuar aprendiendo a lo largo de la vida. Los exámenes solo son una parte del sistema de evaluación del alumno. [5]

Todas las titulaciones se agrupan en cinco ramas de conocimiento: [4]

- Artes y Humanidades
- Ciencias
- Ciencias de la Salud
- Ciencias Sociales y Jurídicas
- Ingeniería y Arquitectura

El Plan Bolonia no modifica el costo de las enseñanzas. Las Comunidades Autónomas establecen cada curso los precios de los Grados dentro de los márgenes que define la Conferencia General de Política Universitaria. [4]

### 2.3.- ÁREA DE MECÁNICA DE FLUIDOS

La Mecánica de Fluidos es la parte de la mecánica que estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en equilibrio, hidrostática, y en movimiento, hidrodinámica. Estas disciplinas, junto con las matemáticas y la física, resultan imprescindibles para la formación de todo ingeniero. [6]

Debido a su importancia, en la Universidad Pública de Navarra, el Área de Conocimiento de Mecánica de Fluidos imparte su docencia en cuatro Grados oficiales y en un Máster Universitario: [7]

- Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales (Campus de Pamplona)
- Grado en Ingeniería Mecánica (Campus de Pamplona)
- Grado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica (Campus de Pamplona)
- Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico (Campus de Tudela)
- Máster Universitario en Ingeniería Industrial (Campus de Pamplona)

En la Tabla 1 se recoge el conjunto de las asignaturas en las que imparte docencia el Área de Mecánica de Fluidos:

TITULACIÓN	ASIGNATURA	SEMESTRE	CARÁCTER	CRÉDITOS (ECTS)
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	Ingeniería de fluidos	3º	Obligatoria	6
	Máquinas fluidomecánicas	7º	Optativa	3
	Plantas de generación con energías eólica y solar	8º	Optativa	3
	Máquinas térmicas y de fluidos	8º	Optativa	3
Grado en Ingeniería Mecánica	Ingeniería de fluidos	3º	Obligatoria	6
	Máquinas y sistemas fluidomecánicos	5º	Obligatoria	6



	Energía eólica y solar	6º	Obligatoria	6
Grado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica	Termotecnia e ingeniería de fluidos	3º	Obligatoria	6
Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico	Termodinámica y mecánica de fluidos	3º	Obligatoria	6
	Máquinas hidráulicas	5º	Obligatoria	6
Máster Universitario en Ingeniería Industrial	Ingeniería térmica y de fluidos	1º	Obligatoria	6
	Aerodinámica y energía eólica	1º	Optativa	4,5

**Tabla 1.1.** Asignaturas impartidas por el Área de Mecánica de Fluidos en la UPNA [7]

Se pueden establecer como objetivos generales para dicho área los siguientes: [7]

- Conseguir que el alumno adquiera conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que le capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y le dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.
- Ser capaz de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial en las tres tecnologías específicas, Mecánica, Eléctrica y Electrónica Industrial.
- Poseer conocimientos para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, estudios, informes y otros trabajos análogos.
- Conseguir que el alumno sea capaz de buscar la bibliografía e información precisa existente sobre cualquier tema y, además, que pueda manejar y comprender ágilmente los textos científicos y técnicos.
- Adquirir conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.
- Ser capaz de analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas, así como de trabajar en un entorno multilingüe y multidisciplinar.
- Adquirir capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.



## **CAPÍTULO 3**

---

### **Características del emplazamiento de la red de abastecimiento**



### 3.- CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO

#### 3.1.- MANCOMUNIDAD DE MAIRAGA

La Mancomunidad de Mairaga es una entidad formada por distintas localidades de la zona media navarra, para la gestión del ciclo integral del agua, tratamiento de los residuos sólidos urbanos, y protección del medio ambiente. [8]

Se fundó en 1984 y, actualmente, la componen 35 poblaciones de la Zona Media de Navarra: Tafalla, Amatriain, Amunarrizqueta, Barásoain, Beire, Benegorri, Caparros, Carcastillo, Echagüe, Figarol, Garisoain, Iracheta, Leoz, Maquirriain, Mérida, Mendibil, Murillo el Cuende, Murillo el Fruto, Olite, Olleta, Olóriz, Oricin, Orísoain, Peralta, Pitillas, Pueyo, Rada, San Martín de Unx, Sansoáin, Santacara, Solchaga, Traibuenas, Ujué, Unzué y Uzquita. [9]

La mancomunidad de Mairaga se encarga del ciclo integral del agua, empezando en su captación, pasando por el suministro de los consumidores, y finalizando en las depuradoras de aguas residuales. Dicha mancomunidad suministra agua desde el embalse de Mairaga, situado en Oloriz. El embalse está formado por una presa de materiales sueltos con núcleo impermeable de arcilla, recoge el agua de una cuenca de 14 Km<sup>2</sup> y tiene una capacidad útil de 2,10 Hm<sup>3</sup>. La mancomunidad también dispone de un aprovechamiento en el pozo de El Escal así como de un caudal proveniente de la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona. El agua captada del embalse de Mairaga es llevado a una potabilizadora en el término municipal de Olóriz. [10]

En 2012, y debido a la sequía, el embalse de Mairaga quedó con una reserva útil del 10% de su capacidad, lo que obligó a establecer importantes restricciones en el consumo de agua. Ello obligó a realizar una toma provisional de agua en el Canal de Navarra, a la altura del depósito de La Pedrera (Tafalla). Desde ese punto se bombeaba un caudal de 30 l/s hasta una planta potabilizadora móvil instalada junto al depósito y, una vez tratada el agua, se distribuía al resto de depósitos de la zona sur de la mancomunidad (Tafalla, Olite, Beire, Pitillas, Murillo El Cuende y Traibuenas). [10]

Como solución definitiva a este problema se ha decidido la instalación de una toma permanente de agua en el Canal de Navarra, y de una planta potabilizadora

permanente en las cercanías del depósito de La Pedrera, con capacidad para procesar hasta 100 l/s de agua procedente del Canal de Navarra, en su primera fase. En sucesivas fases se podría ampliar esta capacidad hasta los 300 l/s, y conseguir de esta forma que abastecer a otras localidades de la Zona Media. [8]

El embalse de Itoiz está situado sobre el río Irati, a 2 km de Aoiz. Tiene una cota máxima de 592 m y su capacidad es de 418 Hm<sup>3</sup>. El embalse ocupa 1.099,49 ha y es el lugar donde nace el Canal de Navarra, que recorre gran parte del territorio navarro, de norte a sur, hasta finalizar en la laguna de Lor, en el término municipal de Ablitas. [11]

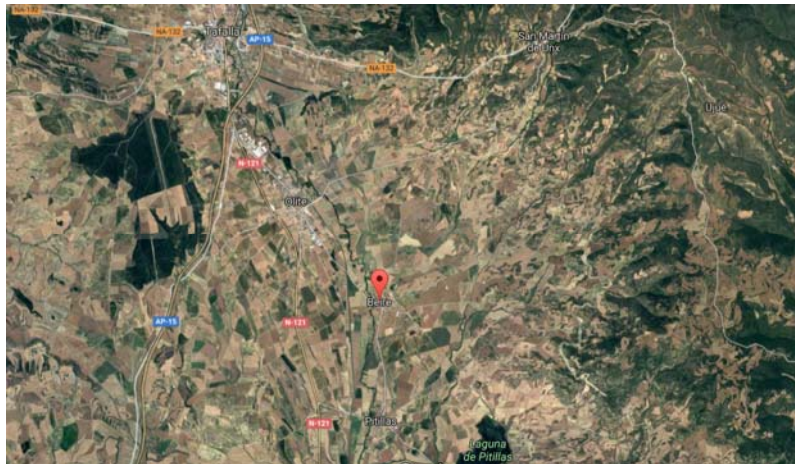
### 3.2.- MUNICIPIO DE BEIRE

Beire es un municipio situado en la parte media baja oriental de la Comunidad Foral de Navarra. Limita al norte con San Martín de Unx, al este con Ujué, al sur con Pitillas y al oeste con Olite. [12]

Pertenece al partido judicial de Tafalla, merindad de Olite y forma parte de la comarca geográfica de Zona Media Oriental, cuenca del río Cidacos. Está ubicado a 45 km de la capital de la comunidad de Pamplona, a 9 km de Tafalla y a 47 km de Estella. [12]

El clima es de tipo mediterráneo-continental con verano seco. Los valores anuales medios más destacables son: 13-14°C de temperatura, 450-460 mm de precipitaciones. [12]

Consta de 342 habitantes y tiene una superficie de 22,25 km<sup>2</sup>. A continuación, en la Fig. 3.1 se muestra una imagen donde se puede ver la situación del municipio de Beire.



**Fig. 3.1.** Mapa de la situación de Beire

### 3.3.- DESCRIPCIÓN DE LA OBRA QUE SE QUIERE REALIZAR

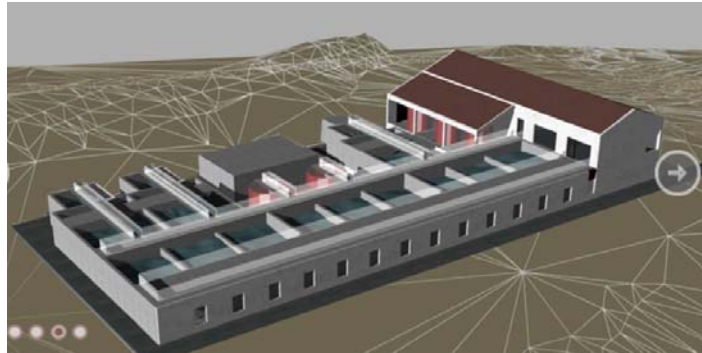
Tal y como ya se ha dicho anteriormente, el municipio de Beire se abastecía gracias al embalse Mairaga, pero en el año 2012 debido a las sequías, se quedó con una reserva útil del 10 % de su capacidad. Dicho problema se solucionó, colocando una toma de agua provisional en el canal de Navarra a la altura del depósito de La Pedrera. Por ello, se ha decidido realizar obras en la infraestructura de las redes de abastecimiento de agua cambiando la fuente de alimentación desde el embalse de Mairaga al depósito de La Pedrera. [10]

La estación de tratamiento de agua potable (ETAP) de La Pedrera en Tafalla, permitirá el abastecimiento de agua desde el Canal de Navarra. [8]

Se captará agua desde el Canal de Navarra hasta la ETAP y posteriormente, se restituirá el agua ya tratada al depósito actual de La Pedrera. La instalación (ETAP) consta de un diseño compacto y de explotación sencilla, con bajas pérdidas de agua en el consumo propio y está construida con elementos que garantizan una larga vida útil. Posee dos líneas de tratamiento: una de agua y otra de fangos. Se ha buscado una implantación, orientación y cota de explanación que minimice los movimientos de tierras, con una ubicación cercana al depósito actual de La Pedrera y que permita la futura construcción del depósito general de gran capacidad que aumente el volumen del sistema actual. Es una instalación de funcionamiento continuo totalmente automática, con posibilidad de control desde la Mancomunidad de Mairaga-Zona Media gracias a un sistema de telemando y telecontrol. [8]

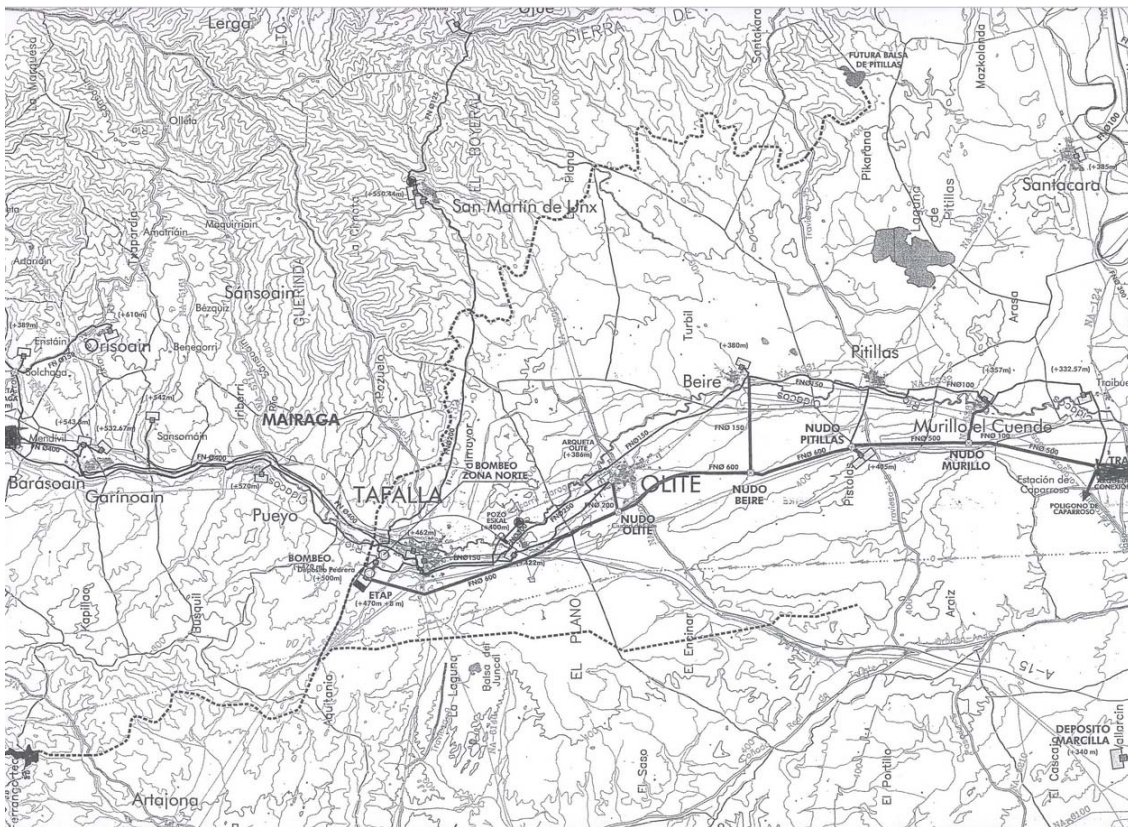


A continuación, en la Fig. 3.2 se muestra una imagen donde se puede ver la estación de tratamiento de agua potable de La Pedrera.



**Fig. 3.2.** Estación de tratamiento de agua potable, La Pedrera

Seguidamente, se muestra en la Fig. 3.3 una imagen del sistema de tuberías que se tiene desde la estación de tratamiento de agua potable hasta cada municipio. [9]



**Fig. 3.3.** Red de tuberías generales desde la ETAP hasta Beire y demás municipios

Se ha previsto que en su primera fase la futura estación tenga una capacidad de tratamiento de 100 l/s, en una segunda fase se quiere ampliar a los 200 l/s y en una tercera, los 300 l/s. La Mancomunidad de Mairaga-Zona Media abastece en la actualidad a una



población aproximada de unos 36.119 habitantes, y su futura ampliación supondrá atender a unos 14.500 habitantes más hasta superar los 50.000. [8]

Dicha obra está dividida en tres fases. En una primera fase, se acometerá el abastecimiento en alta de los municipios de la cuenca del Cidacos, entre Tafalla y Caparroso. En una segunda fase, se ampliará a las localidades ubicadas en la Cuenca del Aragón, entre Caparroso y Carcastillo y, en una tercera, se incorporará a varios municipios de la Ribera Alta, como Marcilla, Falces, Villafranca y Milagro, que actualmente no están integradas en la Mancomunidad. [9]



## **CAPÍTULO 4**

---

### **Introducción a Epanet**



## 4.- INTRODUCCIÓN A EPANET

### 4.1.- DESCRIPCIÓN

Epanet es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión. Ha sido desarrollado por el Laboratorio Nacional de Investigación para la Prevención de Riesgos (NRMRL) de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EEUU (USEPA). Es un software de dominio público que puede copiarse y distribuirse libremente. [13]

Epanet se desarrolló específicamente para ayudar a las compañías encargadas de la distribución del agua potable a controlar y mejorar la calidad del agua suministrada a los abonados a través de la red. Asimismo, ofrece las siguientes prestaciones: [13]

- No existe límite en cuanto al tamaño de la red a procesar.
- Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning.
- Contempla pérdidas menores en codos, accesorios, etc.
- Admite bombas de velocidad fija o variable.
- Determina el consumo energético y sus costes.
- Permite modelizar varios tipos de válvulas, tales como válvulas de corte, de retención, y reguladoras de presión o caudal.
- Admite depósitos de geometría variable, variando el diámetro con el nivel.
- Permite considerar diferentes tipos de demanda en los nudos, cada uno con su propia curva de modulación en el tiempo.
- Puede modelizar salidas de agua cuyo caudal dependa de la presión (por ejemplo: rociadores).
- Admite leyes de control simples, basadas en el valor del nivel en los depósitos o en la hora prefijada por un temporizador, y leyes de control más complejas basadas en reglas lógicas.

Además, como herramienta para el análisis de la calidad del agua, EPANET ofrece las siguientes prestaciones adicionales: [13]

- Modeliza el desplazamiento de trazadores no reactivos por toda la red, a lo largo del tiempo.

- Modeliza el avance y destino final de las sustancias reactivas cuya concentración o bien crece en el tiempo (por ejemplo: los subproductos derivados de la desinfección) o bien decrece (por ejemplo: el cloro residual).
- Modeliza el tiempo de permanencia (o envejecimiento) del agua mientras discurre por la red.
- Permite seguir la evolución en el tiempo de la fracción de caudal que llega a cada nudo de la red procedente de un nudo determinado (análisis de procedencias).
- Modeliza las reacciones que tienen lugar tanto en el seno del agua como en las paredes de las tuberías.
- Admite reacciones de crecimiento o decrecimiento de la concentración de una sustancia hasta llegar a un valor límite.
- Permite definir coeficientes de reacción globales para toda la red, y modificar éstos posteriormente para determinadas tuberías.
- Permite considerar la inyección en cualquier punto de la red de un caudal másico o de concentración definida, variable en el tiempo.
- La evolución de la calidad del agua en los depósitos puede modelizarse como una mezcla homogénea, mediante un modelo de pistón, o como un reactor de dos compartimentos.

#### 4.2.- ¿POR QUÉ ELEGIR EPANET?

Las redes de distribución de agua son sistemas complejos cuyo modo de funcionamiento escapa muchas veces del conocimiento humano. No se puede saber de antemano las distribuciones de agua que se van a tener por la red, ni el comportamiento no lineal de sus componentes. Por eso, es importante utilizar modelos de simulación por ordenador para poder justificar y anticipar aquellos resultados que el razonamiento no llega a intuir.

Para la simulación de modelos hidráulicos, herramientas de libre acceso como Epanet, sirven para facilitar el entendimiento del comportamiento de las redes.

Asimismo, la interfaz de usuario bajo Windows de Epanet proporciona un editor gráfico que simplifica el proceso de trazar el esquema de la red y definir las propiedades de sus componentes. Ofrece además distintas opciones para interpretar y analizar los resultados de un análisis, como son el trazado de curvas de evolución, de perfiles

longitudinales o de mapas de isolíneas, la confección de tablas tabuladas con filtros, y la preparación de informes específicos orientados a la calibración, la evaluación del consumo energético o la valoración de las sustancias reactivas. [13]

Similar a Epanet, existen otros softwares en el mercado que permiten simular redes de abastecimiento existentes o de nueva creación de forma que se optimice el funcionamiento de la misma para minimizar costes, pérdidas de caudal o presión, regular el llenado de tanques, etc. Entre ellos destaca WaterCAD.

WaterCAD es un software de análisis, modelación y gestión de redes a presión, permitiendo la simulación hidráulica de un modelo computacional representado por elementos como: Línea (tubería), punto (nodos de consumo, tanques, reservorios, hidrantes) e híbridos (bombas, válvulas de control, regulación, etc.)

Sin embargo, se ha escogido Epanet, ya que es el software utilizado por la mancomunidad de la comarca de Pamplona, además, de ser un programa informático gratuito.

#### 4.3.- PRINCIPALES COMPONENTES EN LA RED DE ABASTECIMIENTO

A continuación, se describen brevemente los principales elementos que componen una red de abastecimiento, y que se utilizan para el desarrollo de este TFG. [14]

*Depósito:* Los depósitos son nudos con capacidad de almacenamiento que sirven como fuente de abastecimiento de agua limitada del sistema. Las características principales son la cota del depósito, diámetro y valores iniciales máximos y mínimos del nivel del agua. El nivel del agua del depósito puede variar según vaya avanzando la simulación. Los depósitos trabajan limitados por sus niveles máximo y mínimo. Si el depósito está en su nivel máximo o mínimo, Epanet prohíbe la entrada o salida del agua del depósito, cerrando las líneas que lo conectan con la red.

*Embalse:* Son nudos que representan una fuente de abastecimiento de agua externa infinita. La principal característica de un embalse es su altura piezométrica, que es igual a la altura por encima del nivel del mar si no se encuentra bajo presión.

*Nudos:* Son puntos en la red donde se unen las líneas o conducciones. También representan los puntos por donde entra o sale agua de la red.

*Líneas o tuberías:* Son la unión entre los nudos. Son las que llevan agua de un punto de la red a otro. Epanet asume que todas las tuberías se encuentran completamente llenas en todo momento. La dirección del caudal va desde el extremo de la tubería con altura piezométrica mayor hacia el otro extremo de la tubería con menor altura piezométrica.

*Pérdidas menores:* Las pérdidas menores o pérdidas locales se deben por las turbulencias en los codos y nodos. La decisión de incluir las pérdidas depende de la distribución de la red y el grado de precisión que se quiera obtener.

*Bombas:* Son elementos que aportan energía al fluido aumentando su altura piezométrica. Se suelen utilizar para impulsar el agua de un punto que tenga menor altura piezométrica a otro punto que tenga mayor altura piezométrica. Los principales parámetros para definir una bomba son los nodos de los extremos que limitan la bomba y su curva característica.

*Válvulas:* Son líneas que limitan la presión y el caudal en puntos específicos de la red. Sus principales parámetros son el tipo de válvula que es, consigna, diámetro y los nodos de los extremos que limitan la válvula. Epanet permite seleccionar diferentes tipos de válvulas.

- *Válvulas Reductoras de Presión (VRP):* Limitan la presión en un punto de la red de tuberías.
- *Válvulas Sostenedoras de Presión (VSP):* Mantienen una presión determinada en un punto específico de la red de tuberías.
- *Válvulas de Rotura de Carga (VRC):* Fuerzan a que la caída de presión en la válvula sea siempre un valor predeterminado.
- *Válvulas Controladoras de Caudal (VCQ):* Limitan el caudal a un valor específico.
- *Válvulas Reguladoras por Estrangulación (VRG):* Simulan una válvula parcialmente cerrada ajustando adecuadamente el valor del coeficiente de pérdidas menores.
- *Válvulas de Propósito General (VPG):* Se utilizan para representar una línea con un comportamiento diferente y una relación caudal-pérdidas que no abarcan las fórmulas hidráulicas estándar.



Epanet, además de los componentes físicos, utiliza tres componentes no físicos: Curvas, patrones y controles.

*Curvas*: Son la relación entre pares de datos por medio de dos magnitudes o cantidades. Estas pueden ser de los siguientes tipos:

- *Curva Característica de una Bomba (Pump Curve)*: Representa la relación entre la altura y el caudal que puede desarrollar a su velocidad nominal.
- *Curva de Rendimiento (Efficiency Curve)*: Determina el rendimiento de la bomba como función del caudal de la bomba.
- *Curva de Volumen (Volume Curve)*: Determina como el volumen de agua en el depósito varía en función del nivel de agua.
- *Curva de Pérdidas (Head Loss Curve)*: Se usa para representar las pérdidas en una Válvula de Propósito General (VPG) en función del caudal.

Asimismo, Epanet permite realizar simulaciones en periodo simple y en periodo extendido. En el primero de ellos, los consumos en los nudos, las presiones o cualquier otro elemento de la red no sufre variaciones a lo largo del tiempo.

Sin embargo, en el periodo extendido, los consumos en los nudos, las presiones y los elementos de la red sufren variaciones a lo largo del tiempo. Estas variaciones en la simulación de la red se consiguen gracias a los patrones de tiempo.

*Patrones de tiempo*: Es una colección de factores que pueden aplicarse a una cantidad para representar qué varía a lo largo del tiempo. Demandas en los nudos, altura de depósitos, programa de bombas, y fuentes de calidad de agua pueden tener patrones de tiempo asociados.

*Controles*: En ellos se especifica el comportamiento de las líneas seleccionadas como función del tiempo, niveles de agua del tanque y presiones en punto determinados del sistema. Pueden ser controles simples o controles programados.

- *Controles Simples*. Cambian el estado o la consigna de una línea basándose en el nivel de agua en el depósito, la presión en una conexión, el tiempo de simulación y la hora del día.
- *Controles Programados*. Permiten determinar el estado de un elemento y su caracterización por medio de una combinación de condiciones que podrían

existir en el sistema después de que el estado inicial hidráulico este programado.

## **CAPÍTULO 5**

---

### **Metodología docente de los guiones de prácticas**



## 5.- METODOLOGÍA DOCENTE DE LOS GUIONES DE PRÁCTICAS

Las clases prácticas de las diferentes asignaturas sirven para poner en práctica el conocimiento teórico adquirido por el alumnado durante las sesiones teóricas. Con ellas, se pretende obtener un grado de asimilación que complemente así la teoría. Es por eso por lo que los guiones deben ser claros y fáciles de comprender.

Los guiones de prácticas elaborados en el presente TFG constan de unos apartados generales y comunes a todas las prácticas los cuales son explicados a continuación.

1. Introducción: Se realiza una pequeña explicación de la práctica que se va a desarrollar.
2. Objetivos: Se enumeran los distintos objetivos que se quieren conseguir con la realización de la práctica.
3. Fundamento teórico: Se explica los conceptos teóricos que deben aplicarse para la realización de la práctica.
4. Herramientas: Se describen los comandos del programa Epanet que se utilizan en el desarrollo de la práctica.
5. Desarrollo: Se explica paso a paso la realización de la práctica.
6. Trabajo a realizar: En la primera parte de cada guion de prácticas se realiza la explicación, simulación y análisis de las diferentes situaciones en la red que se plantean. Por ello, en el último apartado de cada guion se pide al alumno que ponga en práctica lo que ha aprendido y que realice con otra red de abastecimiento de agua elegida por él, lo desarrollado anteriormente en el guion de prácticas



## **CAPÍTULO 6**

---

### **Guiones de prácticas**

---





## 6.- GUIONES DE PRÁCTICAS

En el siguiente capítulo se desarrollan los guiones de prácticas que, como se ha comentado anteriormente, se utilizarán en un futuro en los Grados de Ingeniería en Tecnologías Industriales y de Ingeniería Mecánica.

### 6.1.- DISEÑO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE BEIRE

#### 6.1.1.- Introducción

La siguiente práctica sirve como iniciación al aprendizaje del software Epanet. Permite al alumno aprender a manejar una gran variedad de herramientas del programa, partiendo de las más básicas hasta llegar a las más avanzadas. Asimismo, para la realización de dicha práctica se considera que el alumno no tiene ningún conocimiento del programa.

#### 6.1.2.- Objetivos

El principal objetivo de la presente práctica es el aprendizaje del dimensionamiento de redes reales de abastecimiento en periodo simple a través del software Epanet. Concretamente, se va a diseñar la red que abastece el municipio navarro de Beire.

#### 6.1.3.- Fundamento teórico

Para la realización del diseño de la red de abastecimiento se ha escogido un caso real. En el Anexo II del Boletín Oficial del Estado del 2016, se recoge las obras de abastecimiento de agua que se tienen previstas realizar entre los años 2017-2019. Una de dichas obras trata sobre la nueva fuente de abastecimiento de agua que se quiere proporcionar a la Zona Media. Dicha Zona Media perteneciente a Navarra, se suministraba a través del embalse de Mairaga, situado en Olóriz. En el año 2012 sufrió una gran sequía, quedándose con el 10 % de su capacidad. Por dicho motivo, se ha decidido cambiar de fuente de abastecimiento de agua al depósito de La Pedrera, que éste a su vez es alimentado por el Canal de Navarra. [1, 10]

En esta primera práctica, se ha decidido diseñar la nueva infraestructura de tuberías que se va a llevar a cabo en uno de los municipios pertenecientes a la Zona Media, concretamente se va a diseñar la nueva red de tuberías del municipio de Beire.

La mancomunidad de Mairaga proporcionó tanto el plano de la red de tuberías de Beire utilizado hasta el momento en formato AutoCAD como la demanda base de cada edificio del municipio.


#### 6.1.4.- Herramientas


A continuación, se explican los comandos utilizados en el desarrollo de la práctica. Dichos comandos pueden observarse en la Fig. 6.1. va a explicar la barra de herramientas del programa Epanet, concretamente el funcionamiento de cada símbolo de la barra.





**Fig. 6.1.** Barra de herramientas del programa Epanet


 : Guardar.

 : Iniciar Análisis. Una vez se ha definido todos los parámetros necesarios en el diseño de la red de abastecimiento, éste comando sirve para iniciar la simulación de la red y así poder visualizar los resultados que se obtienen.

 : Seleccionar objeto. Una vez se ha seleccionado cualquier objeto, este empieza a parpadear para que se sepa que elemento ha sido seleccionado.


 : Desplazar. Se utiliza para desplazarse por la red y situarnos en los puntos de interés.


 : Zoom para acercar o alejar.


 : Zoom completo. Se usa cuando se quiere ver toda la red al completo. Al seleccionar este comando, el programa se aleja todo lo necesario hasta que se visualiza la red al completo.


 : Añadir conexión. Sirve para añadir los nodos.

 : Añadir embalse.

 : Añadir depósito.

 : Añadir tubería. La tubería se añade cuando ya se ha definido cada nodo. Primero se selecciona uno de los dos nodos de los extremos de la tubería y posteriormente se selecciona el otro nodo del otro extremo.

 : Añadir bomba. Antes de añadir la bomba hay que diseñar entre que dos nodos se encuentra. Primero se selecciona uno de los nodos de los extremos y luego el otro nodo que falta.

 : Añadir válvula. La válvula se inserta de la misma manera explicada anteriormente para el caso de las tuberías y para el caso de las bombas.

#### 6.1.5.- Desarrollo

A continuación, se va a explicar de manera general los pasos que se han seguido para el diseño de la red de abastecimiento:

- El plano de la red de tuberías de Beire utilizado hasta el momento se encuentra en formato AutoCAD. Antes de exportarlo a Epanet, se realizan todos los cambios necesarios tanto la eliminación de tuberías consideradas prescindibles como la sustitución de otras con diferente recorrido consideradas más oportunas. Además, se definen todas las ramificaciones por cada edificio, para poder simular el abastecimiento de agua a cada uno de ellos.
- Después de actualizar y modificar la red de abastecimiento en AutoCAD, proporcionada por la mancomunidad de Mairaga, se dispone a cambiar de AutoCAD a Epanet para poder seguir diseñando la red, ya que, como antes se ha dicho, el programa Epanet es un software que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión. Para realizar dicha conversión, se utiliza un programa llamado Epacad que sirve para convertir un fichero de AutoCAD a Epanet. De esta forma solo se exporta la red de tuberías.
- Es interesante una vez que se tiene la red de abastecimiento de agua exportada a Epanet tal y como se ha explicado en el anterior punto, trabajar sobre el plano del municipio

donde se está diseñando la red de abastecimiento. Para exportar el plano sin la red de tuberías ya que, ya se ha exportado a través del programa Epanet, se va a AutoCAD y se crea una presentación y una nueva ventana gráfica con las dimensiones de la red de tuberías consultadas en Epanet. Se ajusta a escala 1:1 en AutoCAD y se modifica el formato a wmf. Antes de que se exporte, hay que señalar todos los elementos que se quieren exportar y luego darle a aceptar. Tras realizar todos los pasos anteriores ya se ha creado un archivo con la extensión wmf que contiene el plano del municipio. Para cargar en Epanet hay que seguir los siguientes pasos: Ver; Fondo de pantalla; Cargar; Elegir el archivo creado con la extensión de wmf.; y por último se centra la red de tuberías y el plano, de modo que queden entre ellos ajustados.

- Una vez se tiene la red de abastecimiento de agua en el programa Epanet, se introducen introducir los datos de diseño. Primero se añaden las cotas de todos los nodos. Para definir dichas cotas se utiliza un plano topográfico que se ha obtenido del SITNA. Posteriormente, se introduce la demanda base de cada nodo. Solo se introduce en los nodos en los que se disponga de dicha información. En este caso, se ha introducido la demanda base en cada ramificación. [15]
- Cuando ya se ha especificado la cota de cada nudo y la demanda base, se introducen los datos de cada tubería. En el caso de las tuberías se introducen la longitud, diámetro y rugosidad.
- La longitud de cada tubería ya viene definida desde que se ha hecho el cambio de AutoCAD a Epanet. En un caso hipotético, si se realiza algún cambio en la red de abastecimiento desde Epanet, el programa tiene como error definir siempre una longitud de 1000 m, por ello, habrá que ir a la versión de AutoCAD y medir ahí la longitud real de la tubería.
- En el caso del diámetro y la rugosidad de cada tubería, se ha utilizado la red que proporcionó la mancomunidad de Mairaga, ya que, venían indicados el tipo de material y el diámetro de cada tubería. Con la ayuda del libro de Agüera Soriano [16] se han obtenido los valores de las rugosidades a partir del material de las tuberías.
- Como fuentes de alimentación se ha definido un depósito y un embalse. Al introducir un depósito hay que meter algunos datos como por ejemplo la cota, nivel inicial, nivel mínimo, nivel máximo y diámetro. Para ello se ha tenido en cuenta el volumen del depósito que corresponde a 240 m<sup>3</sup> y las dimensiones. Debido a que no se disponen de

las medidas reales, se ha hecho una aproximación con las longitudes obtenidas del depósito que se encuentra en la red que facilitó Mairaga. Las dimensiones del depósito son 10 m de longitud, 8 m de ancho y 6 m de altura, por lo que se calculó un radio de depósito de 3,6 m.

La cota del depósito se ha conseguido con el plano topográfico de Beire. Como nivel máximo del agua se ha optado por la propia altura del depósito, es decir 6 m. Por otra parte, como nivel mínimo se han seleccionado 2 m y como nivel inicial 5 m.

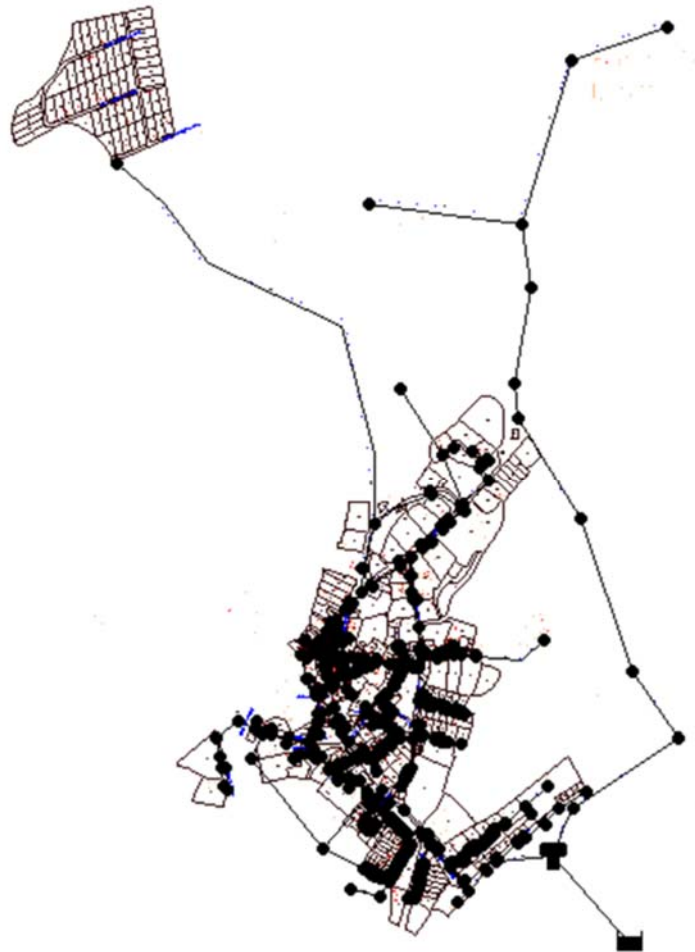
- El depósito de Beire es alimentado por el depósito de La Pedrera, el cual a su vez es alimentado desde el Canal de Navarra, y éste último tiene como origen el embalse de Itoiz. Por dicha razón, se ha colocado un embalse simulando el embalse de Itoiz. Para definir el embalse en el programa de Epanet, es necesario especificar en qué cota se encuentra, ya que un embalse en el programa Epanet se entiende como una fuente de suministro inagotable.
- Si fuera necesario, el programa Epanet da la opción de introducir varios elementos más, aparte de los mencionados hasta ahora que se consideran obligatorios. Dichos elementos corresponden a las bombas y las válvulas.

La bomba se utilizará cuando la fuente de suministro de agua se encuentre a una cota inferior que las cotas que se tienen que alimentar para impulsar el fluido, o también para aumentar las presiones de la red que se alimenta.

Las válvulas regulan y automatizan la presión y el volumen del flujo, además de proteger tuberías, bombas y componentes contra posibles daños.

Se tienen muchos tipos de válvulas, pero las que se van a mencionar a continuación son las más habituales: Válvulas de globo, válvulas de compuerta, válvulas de mariposa, válvulas esféricas, válvulas de diafragma y válvulas de retención. Para definir una válvula en el programa Epanet hay que introducir tres datos: Diámetro de la válvula seleccionada, tipo de válvula que es y la consigna de la válvula (que corresponde al coeficiente de pérdidas de la válvula). Para definir el tipo de válvula que es, el programa Epanet nos da la opción de seis tipos diferentes de válvulas: válvula reductora, válvula sostenedora, válvula rotura carga, válvula limitadora caudal, válvula regulación y una válvula de propósito general.

En la Fig. 6.2 se puede observar la red de abastecimiento de agua de Beire sobre el plano del municipio.



**Fig. 6.2.** Red de abastecimiento de agua y plano de Beire

Después de introducir los datos en cada nudo y en cada tubería, se lanza la simulación para comprobar que los datos obtenidos refiriéndose a presiones y velocidades se ajustan a los límites establecidos inicialmente.

Una vez lanzada la simulación se pueden observar los siguientes resultados de la red de abastecimiento:

- Nudos: Cota, demanda base, calidad inicial, demanda, altura, presión y calidad.
- Líneas: Longitud, diámetro, rugosidad, coeficiente de flujo, coeficiente de pared, caudal, velocidad, factor de fricción, velocidad de reacción y calidad.

Para la evaluación de los resultados se ha tenido en cuenta que:

- La presión que se obtenga en cada nudo tiene que estar comprendida entre 20 m.c.a y 50 m.c.a.
- El agua circulará por las tuberías con una velocidad máxima de 2 m/s.

En la Tabla 6.1 se muestran los resultados de máxima y mínima presión obtenidos, así como sus respectivas demandas.

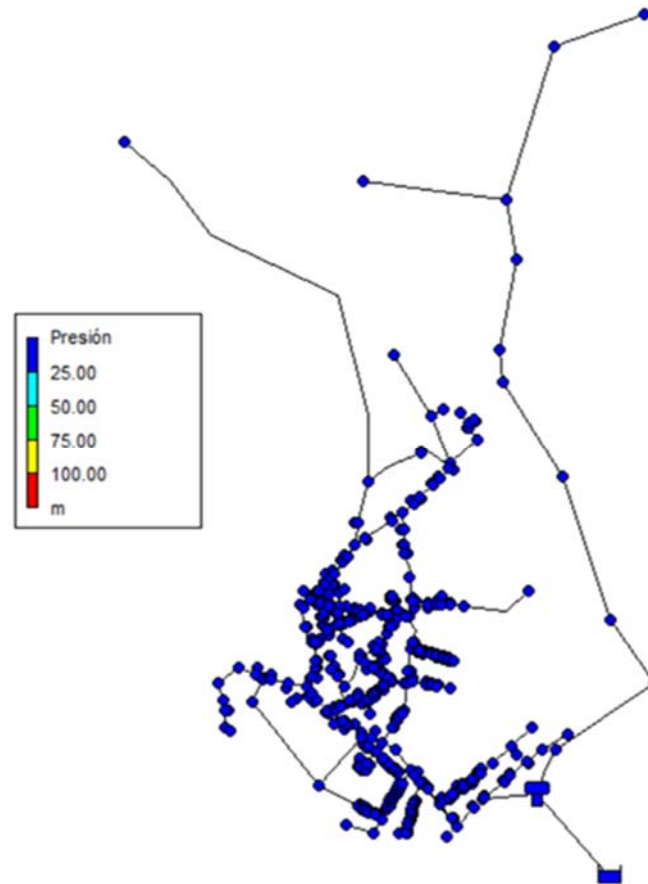
ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n167	360,0	0,0790	24,480
Conexión n582	376,9	0,0109	7,470

**Tabla 6.1.** Resultados de mínima y máxima presión

Como puede observarse, el nodo 167 y el nodo 582 son los que mayor y menor valor de presión obtuvieron, con unos valores de 24,480 m.c.a. y 7,470 m.c.a., respectivamente. Asimismo, también se observa que la mínima presión obtenida no cumple con el límite inferior establecido (20 m.c.a), por lo que, habrá que modificar la red para que tanto ese nodo como todos aquellos que no cumplen, superen el límite de presión establecida. Asimismo, se plantean dos soluciones para aumentar la presión en los nodos:

1. Aumentar el diámetro de las tuberías, así disminuirá la velocidad y, en consecuencia, aumentará la presión.
2. Colocar estaciones de bombeo que inyecten agua directamente a la red.

Estos resultados se representan gráficamente en la Fig. 6.3.



**Fig. 6.3.** Presiones en m.c.a.

A continuación, en la Tabla 6.2. se muestran los resultados obtenidos en la conducción en la que se ha obtenido el mayor valor de velocidad que corresponde a 0,47 m/s. Como se puede observar, dicho valor se encuentra por debajo del límite de 2 m/s que es el máximo permitido.

ID LÍNEA	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (mm)	RUGOSIDAD (mm)	VELOCIDAD (m/s)
Tubería 9	87,64	125	0,025	0,47

**Tabla 6.2.** Resultados de máxima velocidad

La Figura 6.4 muestra los resultados de velocidad obtenidos en las conducciones.



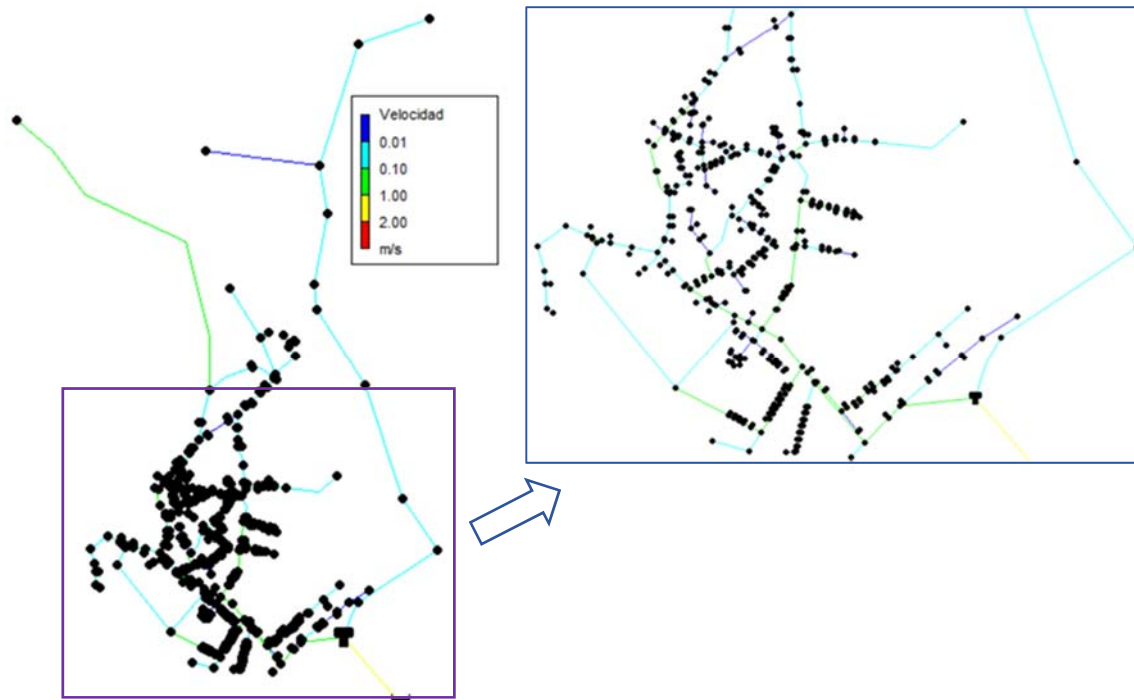


Fig. 6.4. Velocidades en m/s.

Como se puede ver en las imágenes, ninguna línea supera el límite establecido de 2 m/s, ya que no se puede apreciar en ningún momento una línea de color rojo. Por lo tanto, concuerda con la tabla anteriormente mostrada donde se decía que la velocidad máxima del fluido en las tuberías era de 0,47 m/s a excepción de la línea que une el embalse y el depósito de Beire. Se hace caso omiso a la tubería que une el embalse con el depósito, ya que se ha realizado una aproximación de la situación real. Por lo tanto, los resultados no serían del todo correctos y ante todo se ha querido hacer el diseño de la red de abastecimiento del municipio de Beire y no el transcurso del agua detalladamente.

Las velocidades obtenidas en las tuberías cumplen el valor máximo establecido en los parámetros de diseño que pertenecía a 2 m/s, ya que la mayor velocidad en las tuberías es de 0,47 m/s, como bien se muestra en la tabla 6.2.

#### 6.1.6.- Trabajo a realizar

De manera similar al diseño de la red de abastecimiento de Beire realizada en clase, el alumno debe diseñar su propia red. Para ello debe:

- Buscar de un lugar del cual realizar el diseño.

- Obtener información del lugar elegido: plano de la red, características de las tuberías, demandas base, etc.
- Realizar el diseño de la red de abastecimiento en Epanet del lugar elegido: Introducción de datos (demandas base, diámetros, longitudes, cota, etc).
- Analizar las mínimas y máximas presiones y velocidades de la red diseñada.

## 6.2.- CÁLCULO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO EN PERIODO SIMPLE

### 6.2.1.- Introducción

En esta segunda práctica se va a solucionar el problema de bajas presiones de la red obtenidas en la práctica anterior, a través de una estación de bombeo.

Para aumentar las presiones de la red, tanto las presiones del ramal de la derecha que conduce a las afueras de Beire, como las presiones del ramal de la izquierda que conduce al municipio de Beire, se van a escoger dos bombas. Una de las bombas aumentará la presión de los nodos del ramal de la derecha y la otra bomba aumentará la presión de los nodos del ramal de la izquierda.

En esta segunda práctica se enseñará a realizar una adecuada elección de las bombas y posterior introducción de las mismas a la red de Epanet.

### 6.2.2.- Objetivos

Los principales objetivos que se buscan en la siguiente práctica son:

- Saber seleccionar adecuadamente la bomba necesaria para cada caso en función de la altura y caudal calculados.
- Aprender a colocar bombas en la red de Epanet y asignarles su curva característica.
- Analizar los resultados obtenidos de velocidades y presiones.

### 6.2.3.- Fundamento teórico

Es importante saber cómo solucionar los problemas que surgen debido a las presiones en la red. Las presiones que resultan inadecuadas dentro de la red, pueden acarrear grandes problemas como la ruptura de una tubería.

Por dicho motivo, en la segunda práctica se va a explicar cómo aumentar las presiones hasta unos límites establecidos por el proyectista a través de bombas. Se plantean dos soluciones para afrontar este problema. Una de ellas, es el aumento de los diámetros de las tuberías y la otra solución correspondería a la instalación de estaciones de bombeo.

Para obtener el mayor rendimiento de una bomba hay que hacerla trabajar en su punto óptimo o en su punto de funcionamiento. La manera en la que trabaja una bomba no sólo depende de las características de funcionamiento de la misma, sino que también de las características del sistema en el cual vaya a trabajar. Por dicho motivo, para determinar el punto óptimo de la bomba se hará uso de la red diseñada en la primera práctica. Si una bomba no está trabajando en su punto óptimo no será la adecuada y habrá que cambiarla por otra que sí trabaje en su punto de funcionamiento.

#### 6.2.4.- Herramientas

Se puede introducir la curva característica H-Q de una bomba a través de la ventana del Visor, mediante la selección de la opción Curvas. Una vez seleccionada, aparece una ventana como la que se ve en la Fig. 6.5. A continuación, se introducen varios puntos de la curva a partir del caudal y la altura.

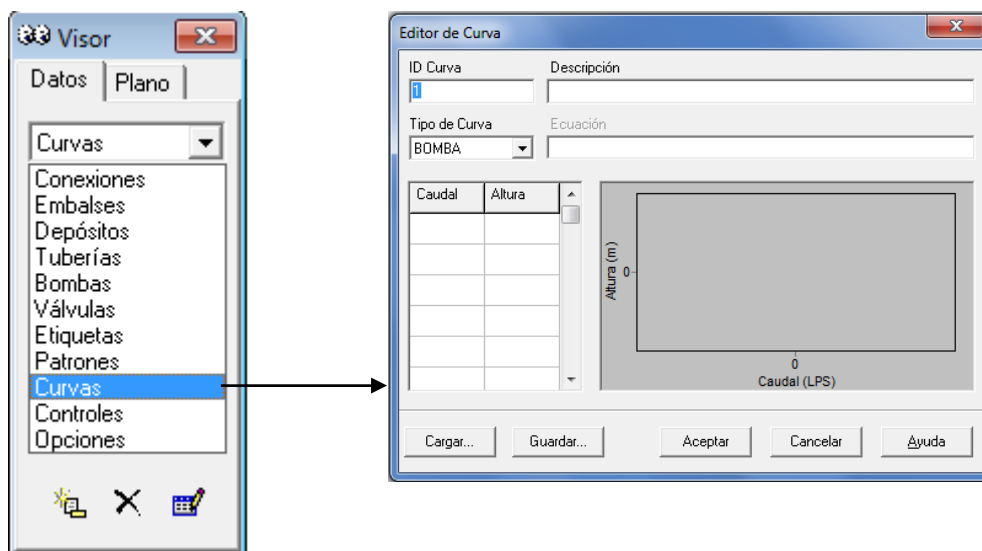



Fig. 6.5. Ventana Editor de curva

Una vez se tienen introducidas las curvas características de las bombas que se van a utilizar, se añaden las bombas con el icono . Para ello, se selecciona primero uno de los nodos de los extremos que componen la bomba y a continuación el otro nodo restante.

Una vez se tengan todas las curvas características introducidas en Epanet y las bombas colocadas en la red de abastecimiento, se tiene que asignar cada curva a su respectiva bomba. Para ello, en las características de cada bomba se tendrá que identificar la ID de la curva que le pertenezca.

#### 6.2.5.- Desarrollo

- En primer lugar, se calcula el punto óptimo de la bomba. Para ello, utilizando la red diseñada en la primera práctica se mira cuanto es el máximo caudal que circulará por cada ramal. En el ramal de la izquierda que alimenta el municipio de Beire, se tiene un caudal de 5,72 l/s y en el ramal de la derecha que alimenta las afueras de Beire, se tiene un caudal máximo de 0,27 l/s. Una vez obtenido los dos valores máximos de caudales, se obtienen los dos valores de presión. En el caso de la parte de la izquierda, la bomba bombeará directamente al nudo 13. Por ello se le impone una demanda base de -5,72 l/s para que trabaje como una bomba ficticia. Cuando se le introduzca dicha demanda base se mira la presión que se da en el nudo 13, y esa presión será la del punto óptimo de la bomba. El valor que se obtiene es 15 m.c.a. A continuación, se procede de manera similar para el ramal de la derecha en el cual se consigue un valor de 12 m.c.a en el nudo 137.
- Una vez calculado el punto óptimo, se realiza la elección de la bomba utilizando el catálogo de bombas KSB y se introduce en Epanet la curva característica de la bomba escogida.
- Se coloca la bomba en la red diseñada de Epanet y se comprueban los resultados obtenidos.

#### 6.2.6.- Elección de las bombas

Primero se va a escoger la bomba que se utilizará para bombear el agua que abastezca al municipio de Beire.

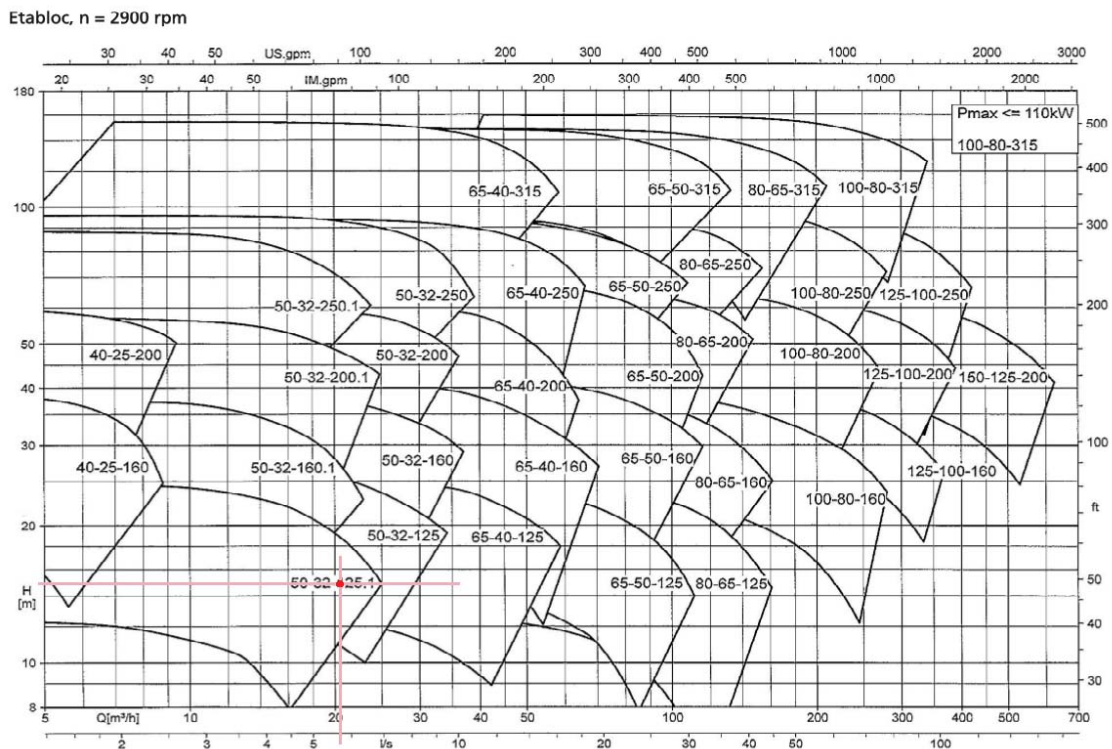
Como la red de abastecimiento que se está diseñando se encuentra en España, se tienen las curvas características a 50 Hz. Se va a escoger una bomba Etabloc de

$n = 2900$  rpm. Uno entre tantos usos de las bombas Etabloc corresponde al abastecimiento de agua, por eso se escoge este tipo de bombas. Para la elección de una bomba concreta hay que definir el punto óptimo de la bomba que corresponde a

$$H_{\text{máx}} = 15 \text{ m.c.a}$$

$$Q_{\text{máx}} = 5,72 \text{ l/s}$$

De acuerdo a la Fig. 6.6, la bomba seleccionada para dicho punto de funcionamiento es el modelo Etabloc 050-032-160.1 de  $n = 2.900$  rpm. [17]



**Fig. 6.6.** Selección bomba

Una vez seleccionada la bomba que se necesita, se escoge el diámetro de rodete que mejor cumpla las necesidades. En este caso, tal y como se observa en la Fig. 6.7, se necesita una bomba con diámetro de rodete de 134 mm. [17]

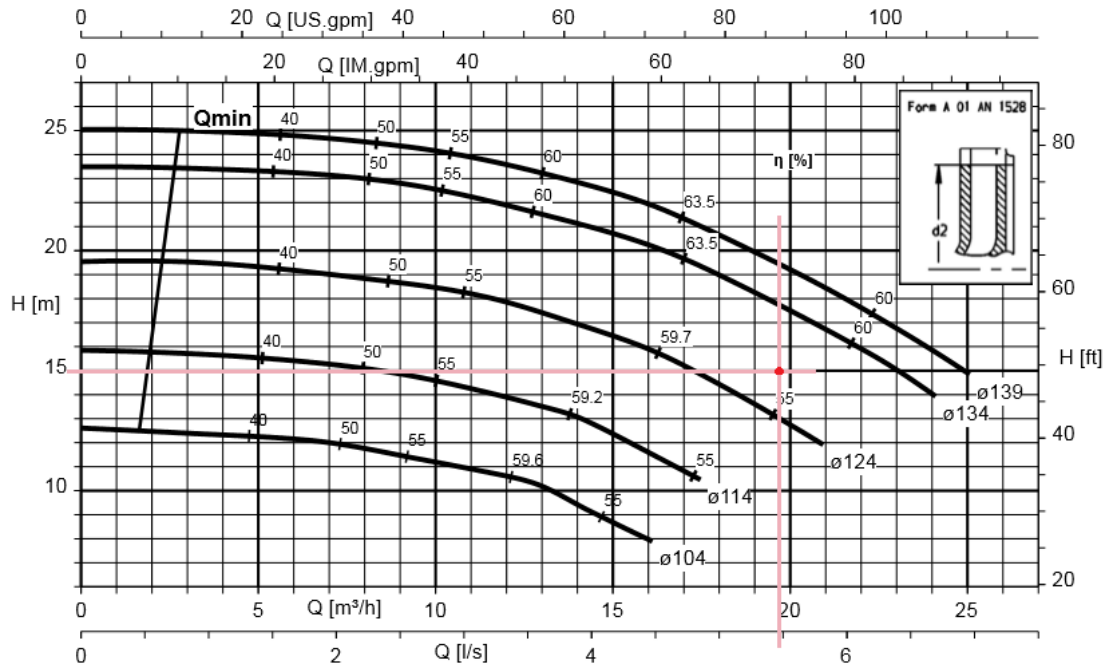


Fig. 6.7. Selección diámetro del rodete de la bomba

Una vez escogida la bomba que se necesita para el bombeo de la red, se introduce la curva característica de la bomba seleccionada. Para ellos, se cogerán 5 puntos de la curva los cuales se muestran en la Tabla 6.3.

	1º PUNTO	2º PUNTO	3º PUNTO	4º PUNTO	5º PUNTO
<b>H (m)</b>	23,2	22,5	20,8	17,5	14,0
<b>Q (l/s)</b>	1,4	2,8	4,2	5,6	6,7

Tabla 6.3. Puntos de la curva de la bomba

La Fig. 6.8 muestra la curva altura-caudal que se ha introducido en Epanet.

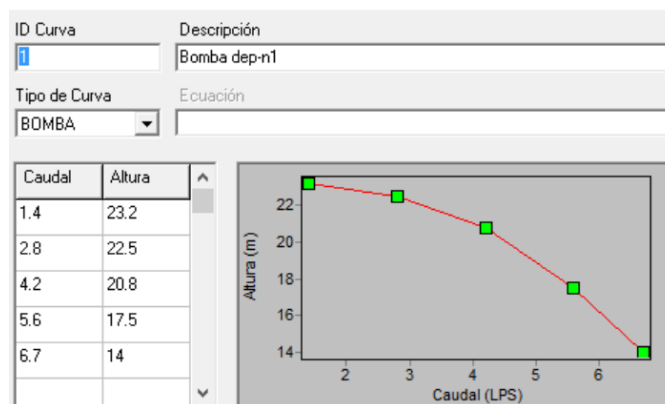


Fig. 6.8. Curva de la bomba en Epanet

La ecuación de la curva característica de la bomba es la siguiente:

$$H = -0,3413 Q^2 + 1,0402 Q + 22,372 \quad (1)$$

Como se ha visto en la práctica 1, las presiones en varios nudos eran muy bajas, siendo la mínima presión de 7,47 m.c.a. Para solventar dicho problema, se ha introducido la bomba seleccionada anteriormente a la red de abastecimiento diseñada en la primera práctica, para comprobar si esta vez la presión mínima y presión máxima de la red se encuentran entre los límites de diseño establecidos, que como se ha comentado anteriormente, son 20 m.c.a. como presión mínima y 50 m.c.a. como presión máxima.

Los resultados de máxima y mínima presión obtenida antes de la incorporación de la bomba se muestran en la Tabla 6.4.

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n167	360,0	0,0790	24,48
Conexión n582	376,9	0,0109	7,47

**Tabla 6.4.** Resumen de resultados en nodos antes de colocar bombas

Los resultados de máxima y mínima presión obtenida tras la incorporación de la bomba se muestran en la Tabla 6.5.

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n167	360,0	0,0790	41,77
Conexión n582	376,9	0,0109	24,75

**Tabla 6.5.** Resumen de resultados después de colocar bombas

Gracias a la bomba colocada en el ramal de la izquierda se ha conseguido que todas las presiones se encuentren entre los límites establecidos. Como la bomba colocada no tiene ninguna influencia en el ramal de la derecha, no se han visto modificadas las presiones y siguen siendo muy bajas. Por lo tanto, se va a seleccionar otra bomba adecuada para bombear el sistema de tuberías de la derecha y así aumentar las presiones de los nodos hasta que se encuentren entre los valores establecidos.

A continuación, en la Tabla 6.6 se muestran las presiones mínimas y máximas del ramal que sale por la parte de la derecha del depósito y que alimenta las afueras del municipio de Beire, sin colocar la bomba.



ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n241	366	0,081	18,99
Conexión n144	376	0,000	9,00

**Tabla 6.6.** Resumen de resultados en nodos antes de colocar bombas

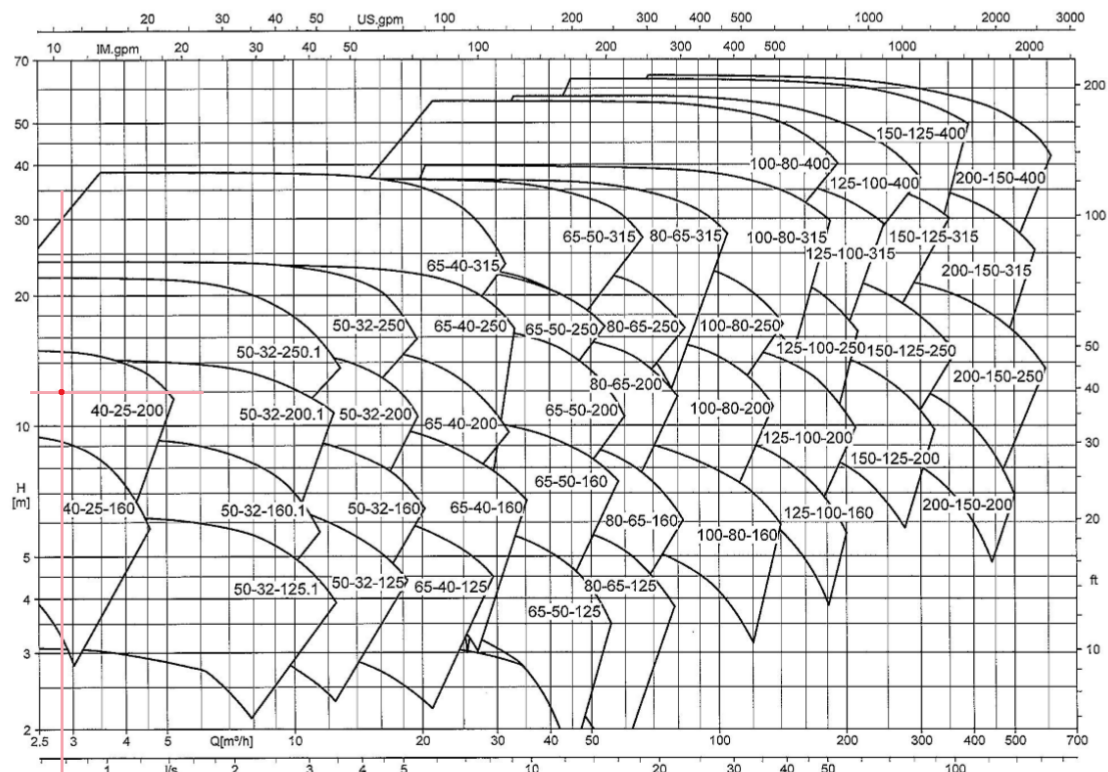
Se va a seleccionar la bomba siguiendo el mismo procedimiento que se ha seguido en la selección de la primera. En este caso, el punto de funcionamiento óptimo de la bomba ha sido:

$$H_{\text{máx}} = 12 \text{ m.c.a}$$

$$Q_{\text{máx}} = 0,27 \text{ l/s}$$

Por tanto, la bomba seleccionada es una bomba Etabloc 040-025-200 y  $n = 1450 \text{ rpm}$ , tal y como se ve en la Fig. 6.9. [17]

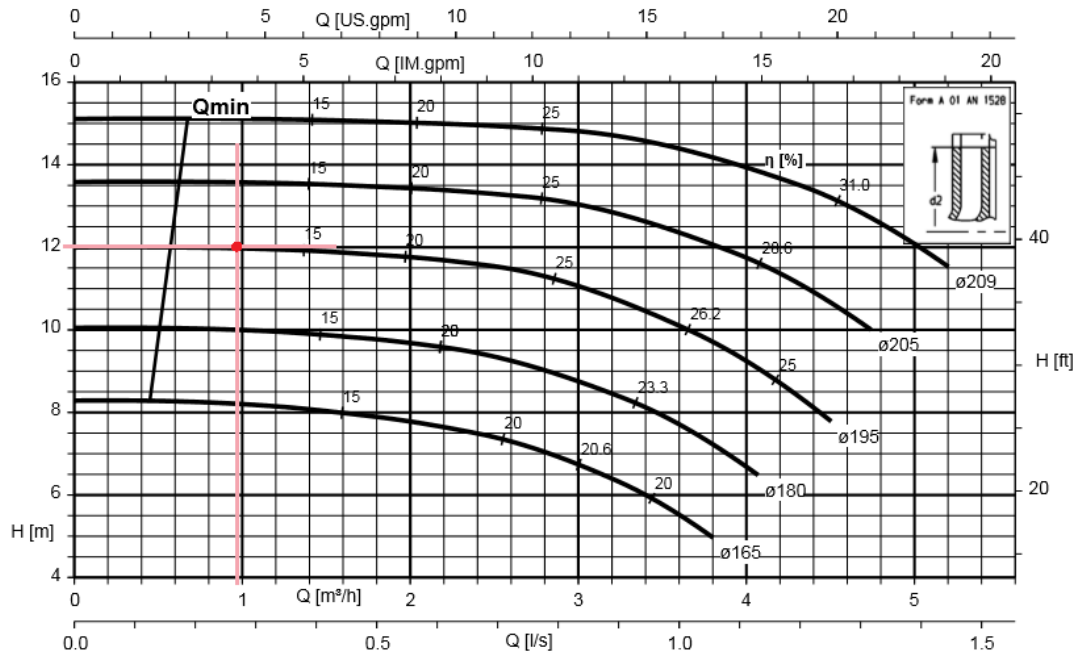
Etabloc,  $n = 1450 \text{ rpm}$



**Fig. 6.9.** Selección de la bomba

Una vez seleccionada la bomba, se selecciona el diámetro de la bomba que mejor cumpla las necesidades. En este caso, tal y como se observa en la Fig. 6.10, se necesita una bomba con diámetro de rodete de 195 mm. [17]





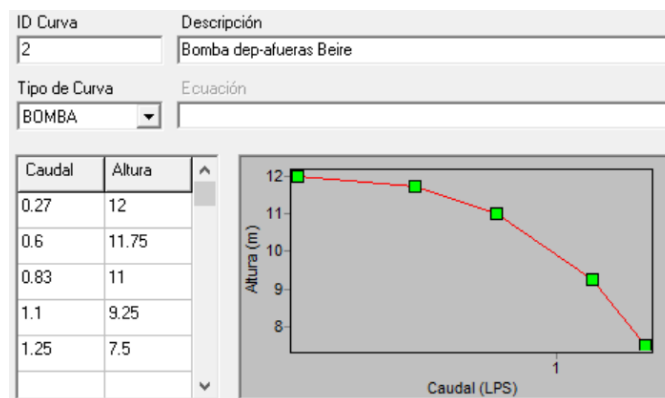
**Fig. 6.10.** Selección diámetro del rodete de la bomba

Una vez escogida la bomba necesaria para el bombeo de la red, se introduce la curva característica de la bomba seleccionada. Para ello, se seleccionan 5 puntos de la curva. Dichos puntos se muestran en la Tabla 6.7.

	1º PUNTO	2º PUNTO	3º PUNTO	4º PUNTO	5º PUNTO
<b>H (m)</b>	12,00	11,75	11,00	9,25	7,50
<b>Q (l/s)</b>	0,27	0,60	0,83	1,10	1,25

**Tabla 6.7.** Puntos de la curva de la bomba

La Fig. 6.11 muestra la curva altura-caudal que se ha introducido en Epanet.



**Fig. 6.11.** Curva de la bomba en Epanet

La ecuación de la curva característica de la bomba es la siguiente:

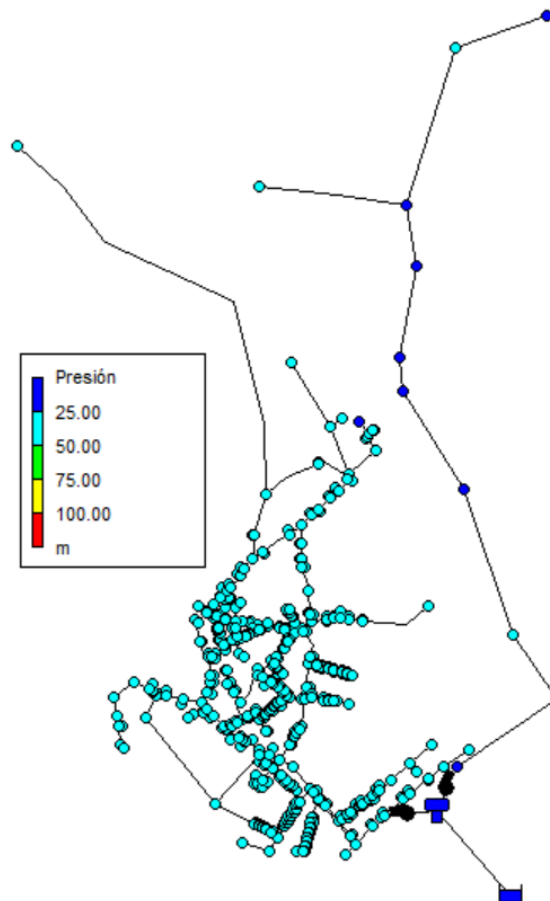
$$H = -6,4098 Q^2 + 5,315 Q + 10,987 \tag{2}$$

Una vez colocada la bomba en la red diseñada en Epanet, se lanza la simulación. Las presiones máximas y mínimas obtenidas en el ramal de la derecha que alimenta las afueras del municipio de Beire se muestran en la Tabla 6.8. Tal y como se puede observar, se ha conseguido que tanto las presiones máximas como las mínimas se encuentren dentro de los límites establecidos.

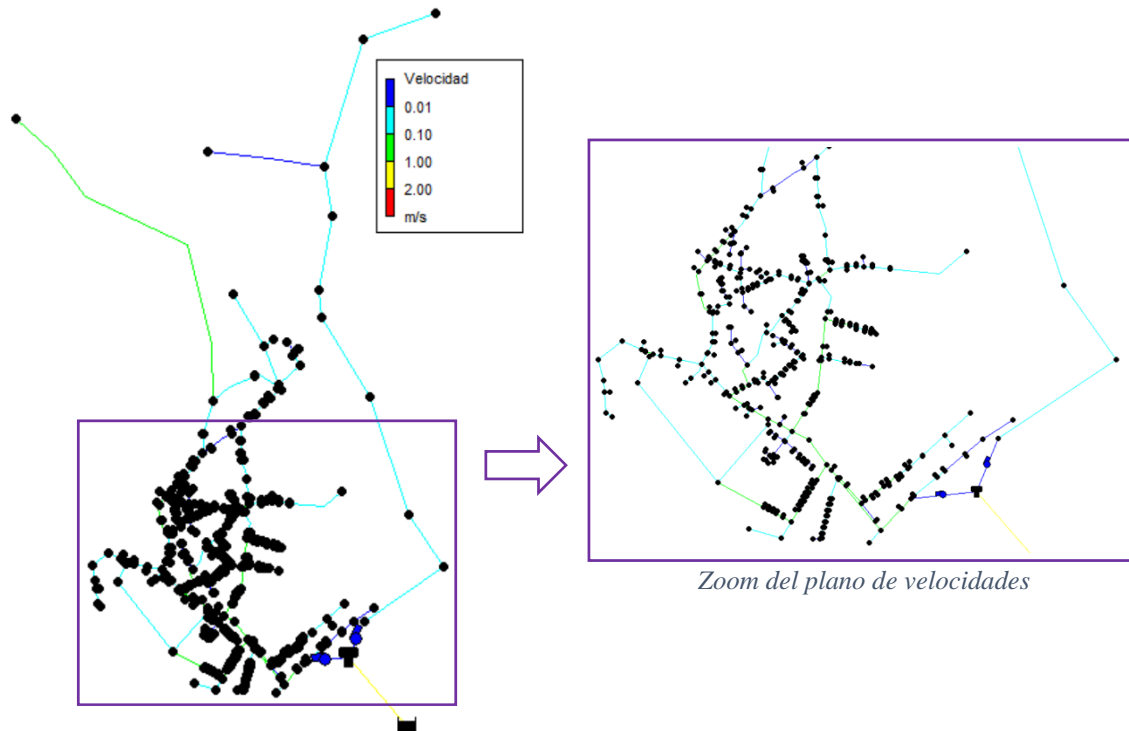
ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n241	366	0,081	30,99
Conexión n144	376	0,000	20,99

**Tabla 6.8.** Resumen de resultados nodos después de las bombas

A continuación, en la Fig. 6.12 y Fig. 6.13 se muestran las imágenes de la red con las presiones y velocidades que se han obtenido en las tuberías y nodos.



**Fig. 6.12.** Presiones en m.c.a.



**Fig. 6.13.** Velocidades en m/s

#### 6.2.6.- Trabajo a realizar

A continuación, se especifica el trabajo a realizar por el alumno:

- Buscar el punto óptimo de las bombas que se vayan a colocar utilizando la red diseñada en la primera práctica.
- Elegir las bombas necesarias para que las presiones de la red se encuentren entre los límites establecidos, a través del catálogo de bombas proporcionado.
- Una vez se tengan las bombas seleccionadas, introducir la curva característica de cada bomba a Epanet.
- Introducir las bombas a la red diseñada en Epanet y asignar a cada bomba su correspondiente curva.
- Comprobación de los resultados obtenidos tras lanzar la simulación una vez introducidas las bombas.

## 6.3.- SIMULACIÓN Y ANALISIS DE LA RED EN PERIODO EXTENDIDO

### 6.3.1.- Introducción

En las dos primeras prácticas se ha diseñado la red en periodo simple, pero para conocer el verdadero comportamiento de una red es necesario la simulación de ésta en periodo extendido. Por dicho motivo, en esta tercera práctica se va a realizar el diseño de la red de abastecimiento en periodo extendido.

En primer lugar, se van a definir unos patrones que describen el comportamiento de la demanda de agua en cada nodo dependiendo de la funcionalidad de cada edificio y, además, se simulará el comportamiento de la red durante siete días (168 horas).

Para la obtención de la curva característica de la bomba que se necesite, se utilizará la red diseñada en la primera práctica. En ella se irá cambiando el porcentaje del consumo total, variando así el valor del caudal necesario para abastecer la red.

### 6.3.2.- Objetivos

Los principales objetivos que se buscan en la siguiente práctica son:

- Diseñar la red de abastecimiento en periodo extendido.
- Analizar los resultados de velocidades y presiones obtenidas.
- Proponer diferentes soluciones a los problemas obtenidos en la red.

### 6.3.3.- Fundamento teórico

La simulación en periodo extendido de una red, representa los cambios que sufre la red de abastecimiento durante el periodo de tiempo que se haya definido. Para ello se definen unas curvas de modulación llamadas patrones.

Durante el transcurso de tiempo la red sufrirá variaciones. La cantidad de agua que se necesite para alimentar el sistema de tuberías variará con el tiempo y también el valor de las presiones. Por dicho motivo, si solo se utiliza una bomba, la mayoría del tiempo estará trabajando fuera de su punto óptimo. La solución reside en colocar varias bombas en paralelo. Cuando la demanda de la red sea baja solo se utilizará una bomba y a medida que vaya aumentando la demanda se irán utilizando más bombas a la vez. Al acoplar en paralelo varias bombas, el caudal total demandado se reparte equitativamente entre el número de bombas en paralelo que haya. Las expresiones matemáticas de las

curvas altura-caudal (H-Q) y rendimiento-caudal ( $\eta$ -Q) se definen en las ecuaciones (3) y (4), respectivamente [16]:

$$H = c + a \left( \frac{Q}{n} \right)^2 \quad (3)$$

$$\eta = d \cdot \frac{Q}{n} + e \left( \frac{Q}{n} \right)^2 \quad (4)$$

#### 6.3.4.- Herramientas

Al tratarse de una simulación de bombeo en periodo extendido, como ya se ha explicado anteriormente, en primer lugar, hay que definir el patrón que se va a seguir. Para ello, desde la ventana Visor, se selecciona la pestaña Datos y, a continuación, la opción Patrones. El icono situado en la parte inferior izquierda permite añadir un nuevo patrón (ver Fig. 6.14.).



**Fig. 6.14.** Ventana Visor

Una vez se haya seleccionado la opción de añadir, se abrirá una ventana donde se introducirán los datos de la curva de modulación por cada hora durante 168 h (1 semana).

A continuación, de la Fig. 6.15 a la Fig. 6.22 se muestran las curvas de modulación de cada patrón que han sido introducidas:

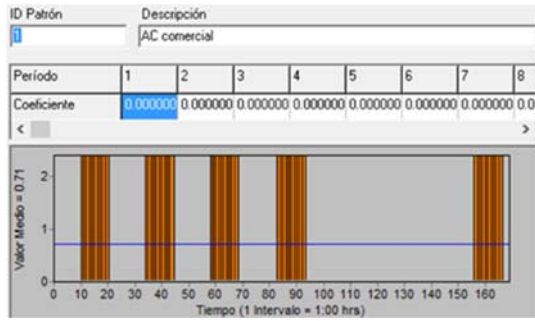


Fig. 6.15. Patrón "Comercio"

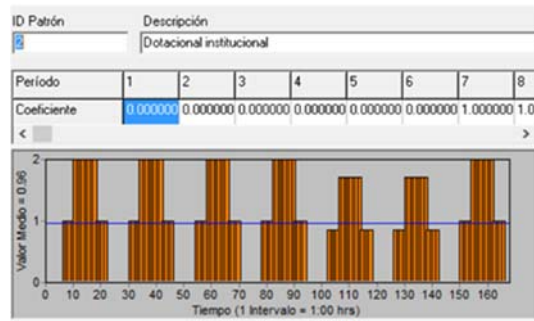


Fig. 6.16. Patrón "Dotación institucional"

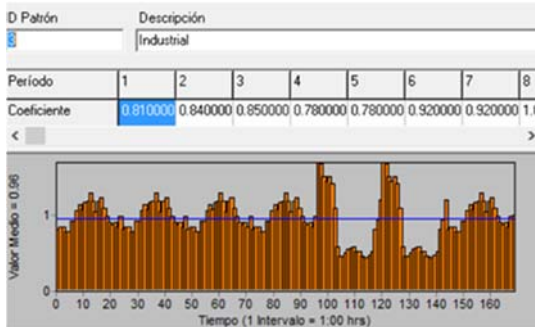


Fig. 6.17. Patrón "Industrial"

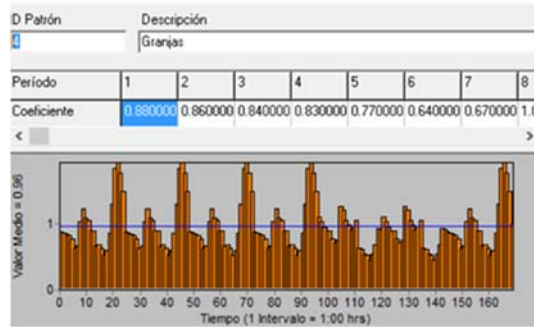


Fig. 6.18. Patrón "Granjas"

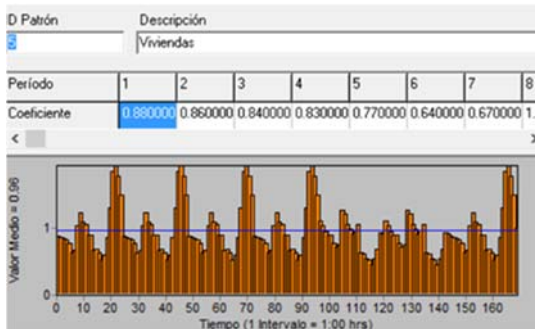


Fig. 6.19. Patrón "Viviendas"

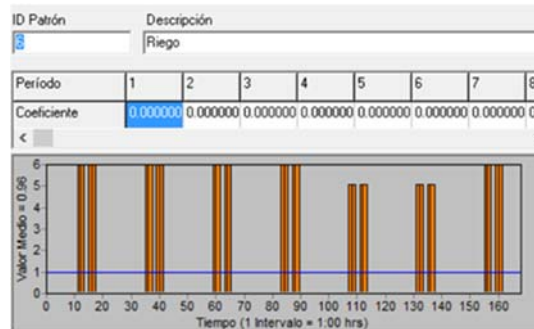


Fig. 6.20. Patrón "Riego"

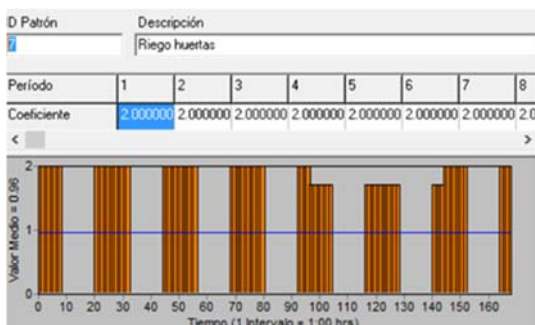


Fig. 6.21. Patrón "Riego huertas"

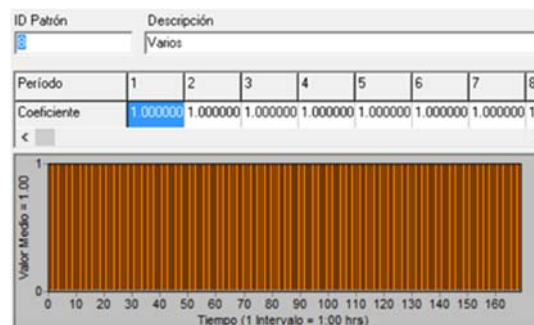



Fig. 6.22. Patrón "Varios"

#### 6.3.4.- Desarrollo


A continuación, se va a explicar de manera general los pasos que se han seguido para el diseño de la red en periodo extendido y el análisis de los datos obtenidos:

- Para la simulación de un sistema de bombeo en periodo extendido, primero de todo se definen los patrones que se van a utilizar durante 168. Las tablas correspondientes a cada tipo de patrón se encuentran en el Anexo II: Tablas de los patrones.
- Una vez que se han introducido los patrones en el programa Epanet, debe introducirse el nuevo tiempo de simulación, que en este caso y como se ha dicho anteriormente es de 1 semana. Este cambio se realiza desde la ventana Datos → Opciones → Tiempo → Editar, tal y como se observa en la Fig. 6.23.



Propiedad	Hrs:Min
Duración Total	168
Intervalo Cálculo Hidráulico	1:00
Intervalo Cálculo Calidad	0:05
Intervalo Patrones	1:00
Tiempo Inicio Patrón	0:00
Intervalo Informe	1:00
Tiempo Inicio Informe	0:00
Tiempo Inicio Reloj	12 am
Estadística	Ninguno

**Fig. 6.23.** Opciones de tiempo

- Una vez definida la curva de modulación y el tiempo de simulación, se selecciona el comando  para comenzar con la simulación. Cuando comience la simulación se apreciará durante 168 h los cambios que se van dando en la red de abastecimiento dependiendo de la curva de modulación introducida en cada nodo.
- Si las presiones no están entre los límites establecidos, se deberán emplear bombas, tal y como se hizo en la práctica 2. En este caso, dado que se encuentran presiones en la red por debajo de 20 m.c.a, se ha decidido poner dos bombas en paralelo, de manera que el uso de una de ellas o de las dos dependa de la demanda de la red. Para ello, en la red diseñada en la primera práctica se le va a ir dando diferentes cargas de demandas. En cada carga de demanda se calculará cuánto falta o cuánto le sobra a la presión para estar dentro de los límites establecidos. De esta forma se irá obteniendo la curva consigna de cada bomba, con la que se podrá saber cuándo se tienen que activar las

dos bombas o cuando sólo una. Con el punto más desfavorable de la curva consigna conseguida se obtiene el punto de la bomba, el cual se utilizará para seleccionarla.

- Una vez obtenida la curva característica para una bomba se obtiene la curva característica correspondiente a dos bombas. Con dichas curvas características y la curva de consigna calculada anteriormente, se realizará el análisis para determinar cuándo es necesario la activación de una o dos bombas.

#### 6.3.5.- Obtención de la curva de consigna

Se ha lanzado la simulación de la red en periodo extendido sin la introducción de ninguna bomba y se han obtenido los valores máximos para el caudal que se darán durante un periodo de 168 horas. Para el ramal de la izquierda que alimenta casi todo el municipio de Beire se ha obtenido un valor máximo de 9,03 l/s y en el ramal de la derecha que abastece las afueras del municipio se ha obtenido un caudal máximo de 0,66 l/s.

Asimismo, las estaciones de bombeo inyectan agua en los nudos 13 y 137, por lo que serán en estos puntos donde se necesita conocer la curva de consigna óptima.

Para conocer la distribución de presiones en el nudo 13 de la red para cada uno de los estados de carga, se han realizado las simulaciones para consumos comprendidos entre un 30 % del consumo total y un 180 % del consumo total, espaciados de 30 l/s en 30 l/s. Se ha considerado llegar hasta un 180 % de su consumo total, ya que el 180 % de 5,72 l/s (caudal que bombea la red en la primera y segunda prácticas) es mayor que el valor máximo del caudal 9,03 l/s que bombeará la red en periodo extendido. Es necesario que la curva de consigna llegue a un valor mayor que 9,03 l/s, ya que sino, no se conseguiría abastecer el municipio de Beire en el caso de necesitar 9,03 l/s.

En el caso del nudo 137 se han realizado simulaciones comprendidas entre un 30 % del consumo total y el 270 %, espaciados de 30 l/s en 30 l/s. En este caso el valor de la carga máxima tiene que superar los 0,66 l/s, por eso se ha calculado una curva consigna de hasta el 270 % del consumo total. Esto se debe principalmente a que, en la red diseñada en la primera y segunda práctica, el valor del caudal que tenía que bombear correspondía a 0,27 l/s.

No obstante, cabe recordar, que en ambos casos deben tenerse en cuenta los límites establecidos referentes a las presiones, que obligan a que estén entre 20 m.c.a y 50 m.c.a.



A continuación, se muestran los resultados obtenidos en función de la demanda introducida. Por un lado, se muestra la red que alimenta el municipio de Beire (nudo 13) y, por el otro, la red que alimenta las afueras de Beire (nudo 137).

Red de alimentación municipio de Beire (nudo 13):

- Demanda al 30 %
  - Presión mínima = 8,03 m.c.a en el nudo 582
  - Presión máxima = 24,94 m.c.a en el nudo 167
  - Presión en el nudo 13 = 14,98 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 8,03 = 11,97$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $14,98 + 11,97 = 26,95$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 13 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 13, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 60 %
  - Presión mínima = 7,85 m.c.a en el nudo 582
  - Presión máxima = 24,79 m.c.a en el nudo 167
  - Presión en el nudo 13 = 14,93 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 7,85 = 12,15$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $14,93 + 12,15 = 27,08$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 13 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 13, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 90 %
  - Presión mínima = 7,58 m.c.a en el nudo 582
  - Presión máxima = 24,57 m.c.a en el nudo 167
  - Presión en el nudo 13 = 14,87 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 7,58 = 12,42$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $14,87 + 12,42 = 27,29$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 13 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 13, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 120 %
  - Presión mínima = 7,23 m.c.a en el nudo 582
  - Presión máxima = 24,28 m.c.a en el nudo 167
  - Presión en el nudo 13 = 14,77 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 7,23 = 12,77$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.

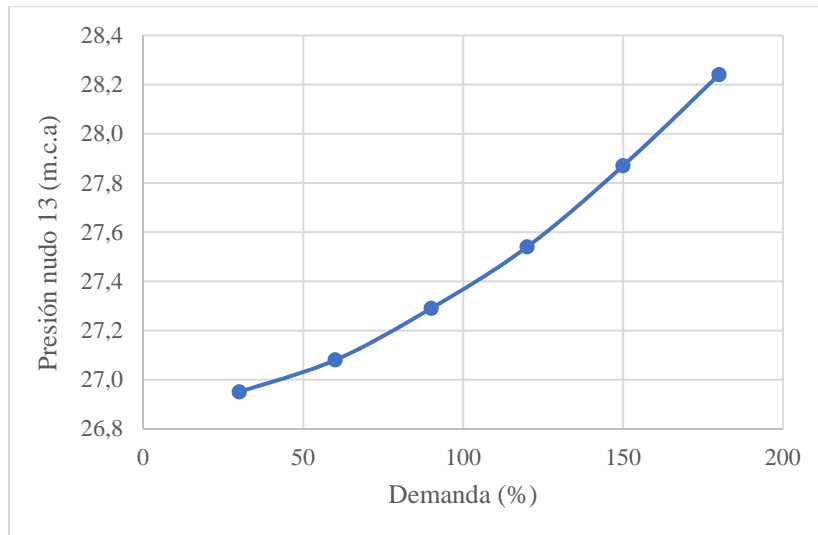
- Por lo tanto,  $14,77 + 12,77 = 27,54$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 13 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 13, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.

- Demanda al 150 %
  - Presión mínima = 6,79 m.c.a en el nudo 582
  - Presión máxima = 23,92 m.c.a en el nudo 167
  - Presión en el nudo 13 = 14,66 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 6,79 = 13,21$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $14,66 + 13,21 = 27,87$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 13 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 13, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 180 %
  - Presión mínima = 6,28 m.c.a en el nudo 582
  - Presión máxima = 23,5 m.c.a en el nudo 167
  - Presión en el nudo 13 = 14,52 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 6,28 = 13,72$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $14,52 + 13,72 = 28,24$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 13 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 13, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.

A continuación, en la Tabla 6.9 se muestra un resumen de los resultados obtenidos tras el estudio con cada estado de carga correspondiente a la presión necesaria obtenida en el nudo 13, que a su vez son los puntos de la curva consigna representada en la Fig. 6.24.

<b>% DE CONSUMO</b>	<b>PRESIÓN EN ELNUDO 13 (m.c.a)</b>
30	26,95
60	27,08
90	27,29
120	27,54
150	27,87
180	28,24

**Tabla 6.9.** Puntos de la curva consigna del nudo 13



**Fig. 6.24.** Curva de consigna en el nudo 13

Red de alimentación de las afueras de Beire (nudo 137):

- Demanda al 30 %
  - Presión mínima = 9 m.c.a en el nudo 144
  - Presión máxima = 19 m.c.a en el nudo 141
  - Presión en el nudo 137 = 12 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 9 = 11$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $12 + 11 = 23$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 137 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 137, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 60 %
  - Presión mínima = 9 m.c.a en el nudo 144
  - Presión máxima = 19 m.c.a en el nudo 141
  - Presión en el nudo 137 = 12 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 9 = 11$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $12 + 11 = 23$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 137 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 137, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 90 %
  - Presión mínima = 9 m.c.a en el nudo 144
  - Presión máxima = 19 m.c.a en el nudo 141
  - Presión en el nudo 137 = 12 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 9 = 11$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.

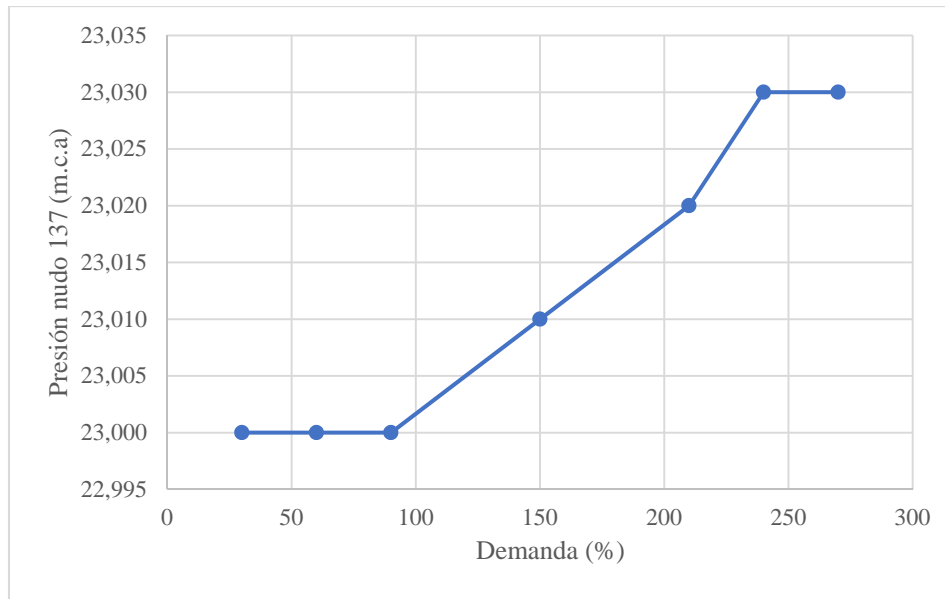
- Por lo tanto,  $12 + 11 = 23$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 137 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 137, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 120 %
  - Presión mínima = 8,99 m.c.a en el nudo 144
  - Presión máxima = 19 m.c.a en el nudo 141
  - Presión en el nudo 137 = 12 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 8,99 = 11,01$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $12 + 11,01 = 23,01$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 137 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 137, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 150 %
  - Presión mínima = 8,99 m.c.a en el nudo 144
  - Presión máxima = 18,99 m.c.a en el nudo 141
  - Presión en el nudo 137 = 12 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 8,99 = 11,01$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $12 + 11,01 = 23,01$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 137 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 137, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 180 %
  - Presión mínima = 8,98 m.c.a en el nudo 144
  - Presión máxima = 18,99 m.c.a en el nudo 141
  - Presión en el nudo 137 = 12 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 8,98 = 11,02$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $12 + 11,02 = 23,02$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 137 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 137, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 210 %
  - Presión mínima = 8,98 m.c.a en el nudo 144
  - Presión máxima = 18,99 m.c.a en el nudo 141
  - Presión en el nudo 137 = 12 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 8,98 = 11,02$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $12 + 11,02 = 23,02$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 137 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 137, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.

- Demanda al 240 %
  - Presión mínima = 8,97 m.c.a en el nudo 144
  - Presión máxima = 18,98 m.c.a en el nudo 141
  - Presión en el nudo 137 = 12 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 8,97 = 11,03$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $12 + 11,03 = 23,03$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 137 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 137, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.
  
- Demanda al 270 %
  - Presión mínima = 8,97 m.c.a en el nudo 144
  - Presión máxima = 18,98 m.c.a en el nudo 141
  - Presión en el nudo 137 = 12 m.c.a
  - Se necesitan  $20 - 8,97 = 11,03$  m.c.a para llegar a los límites de presiones establecidas.
  - Por lo tanto,  $12 + 11,03 = 23,03$  m.c.a será la presión necesaria en el nudo 137 para situarnos dentro de los límites fijados. Dicha presión necesaria en el nudo 137, proporciona uno de los puntos de la curva de consigna.

A continuación, en la Tabla 6.10 se muestra un resumen de los resultados obtenidos tras el estudio con cada estado de carga perteneciente a la presión necesaria obtenida en el nudo 137, que a su vez son los puntos de la curva consigna representada en la Fig. 6.25.

<b>% DE CONSUMO</b>	<b>PRESIÓN EN EL NUDO 137 (m.c.a)</b>
30	23,00
60	23,00
90	23,00
120	23,01
150	23,01
210	23,02
240	23,03
270	23,03

**Tabla 6.10.** Puntos de la curva consigna del nudo 137



**Fig. 6.25.** Curva de consigna en el nudo 137

### 6.3.6.- Estación de bombeo

Una vez conocidas las dos curvas de consigna a partir de las necesidades de caudal y presión, se procede a calcular las estaciones de bombeo que serán necesarias.

#### Red de alimentación del municipio de Beire (nudo 13):

Se van a colocar dos bombas iguales en paralelo que alimenten la demanda de agua en el municipio de Beire. En este caso, la situación de mayor demanda corresponde al 180 % de 5,72 l/s, dándose un total de 10,296 l/s. Ante esta situación cada bomba deberá proporcionar la misma altura y la mitad del caudal, ya que las dos bombas son iguales y están funcionando en paralelo. Por dicho motivo, el punto de funcionamiento de cada bomba corresponde a:

$$H_{\text{máx}} = 28,24 \text{ m.c.a}$$

$$Q_{\text{máx}} = 5,148 \text{ l/s}$$

De acuerdo a la Fig. 6.26., la bomba seleccionada para dicho punto de funcionamiento es el modelo Etabloc 050-032-160.1 de  $n = 2.900 \text{ rpm}$ . [17]

Etabloc, n = 2900 rpm

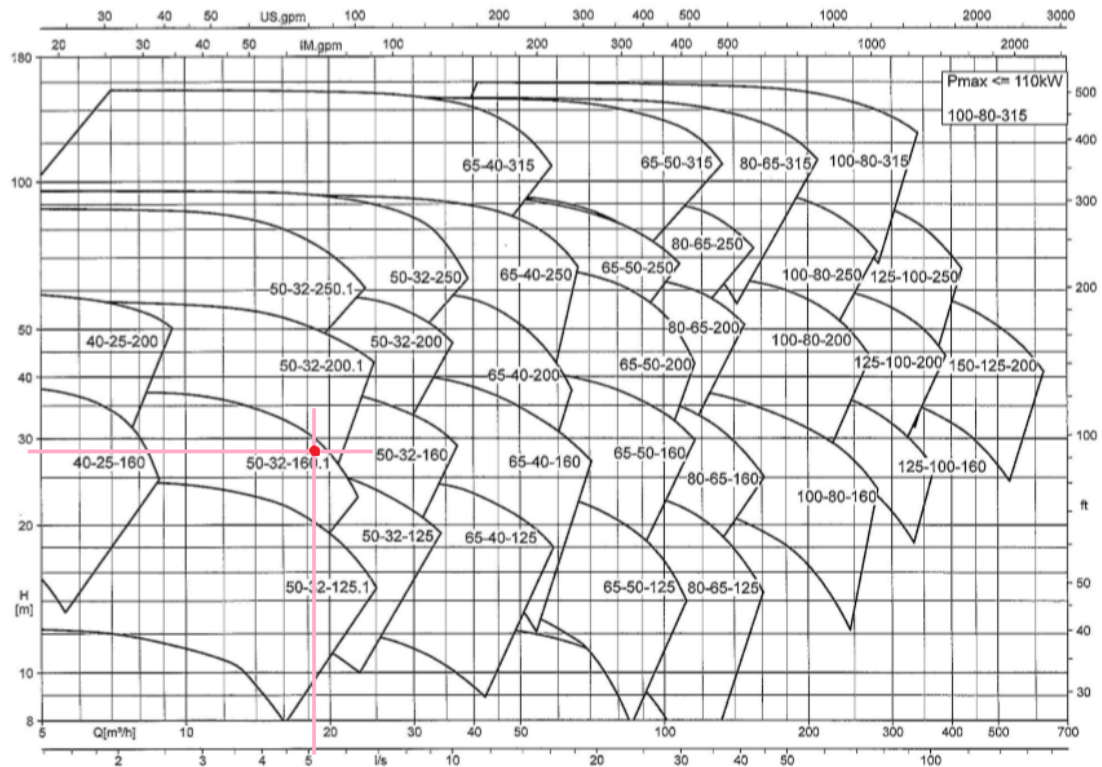


Fig. 6.26. Selección de la bomba

Una vez seleccionada la bomba, se selecciona el diámetro de la bomba que mejor cumpla las necesidades. En este caso, tal y como se observa en la Fig. 6.27, se necesita una bomba con diámetro de rodete de 170 mm. [17]

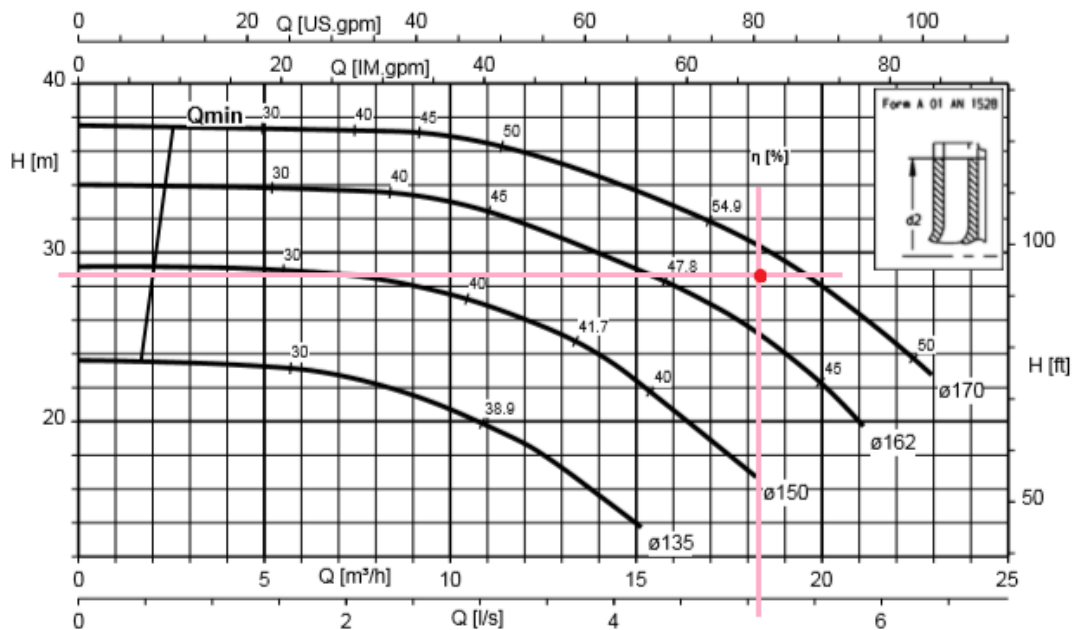


Fig. 6.27. Selección diámetro del rodete de la bomba

Asimismo, de la curva característica seleccionada se extraen 5 puntos, que a continuación se introducirán en Epanet. Dichos puntos se pueden observar en la Tabla 6.11.

	1º PUNTO	2º PUNTO	3º PUNTO	4º PUNTO	5º PUNTO
<b>H (m)</b>	37,5	37,0	34,0	28,0	23,0
<b>Q (l/s)</b>	1,388	2,770	4,166	5,550	6,388

**Tabla 6.11.** Puntos de la curva de la bomba

Cuando se esté trabajando con las dos bombas en paralelo se tendrán los siguientes parámetros:

$$H_{\text{máx}} = 28,24 \text{ m.c.a}$$

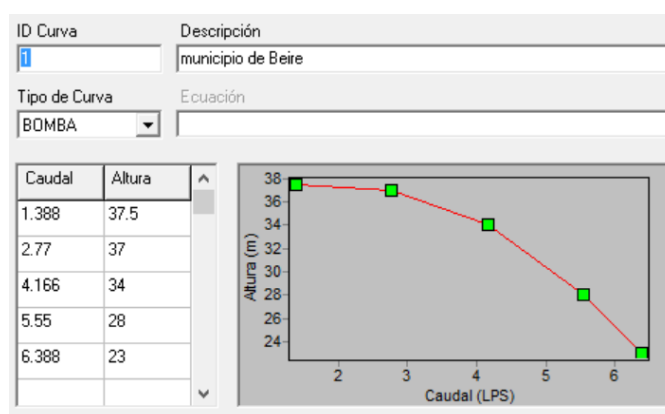
$$Q_{\text{máx}} = 10,296 \text{ l/s}$$

De esta forma cuando funcionen las dos bombas en paralelo se puede calcular la siguiente curva característica modificando los puntos calculados para el caso de una bomba. El caudal se multiplica por dos y la altura se mantendrá igual, puesto que son dos bombas iguales en paralelo. En este caso, los puntos de la curva de la bomba son los mostrados en la Tabla 6.12.

	1º PUNTO	2º PUNTO	3º PUNTO	4º PUNTO	5º PUNTO
<b>H (m)</b>	37,5	37,0	34,0	28,0	23,0
<b>Q (l/s)</b>	2,776	5,540	8,332	11,100	12,776

**Tabla 6.12.** Puntos de la curva de la bomba

Una vez calculada la estación de bombeo se introducen las dos bombas en paralelo en la red diseñada para periodo extendido, tal y como se observa en la Fig. 6.28.



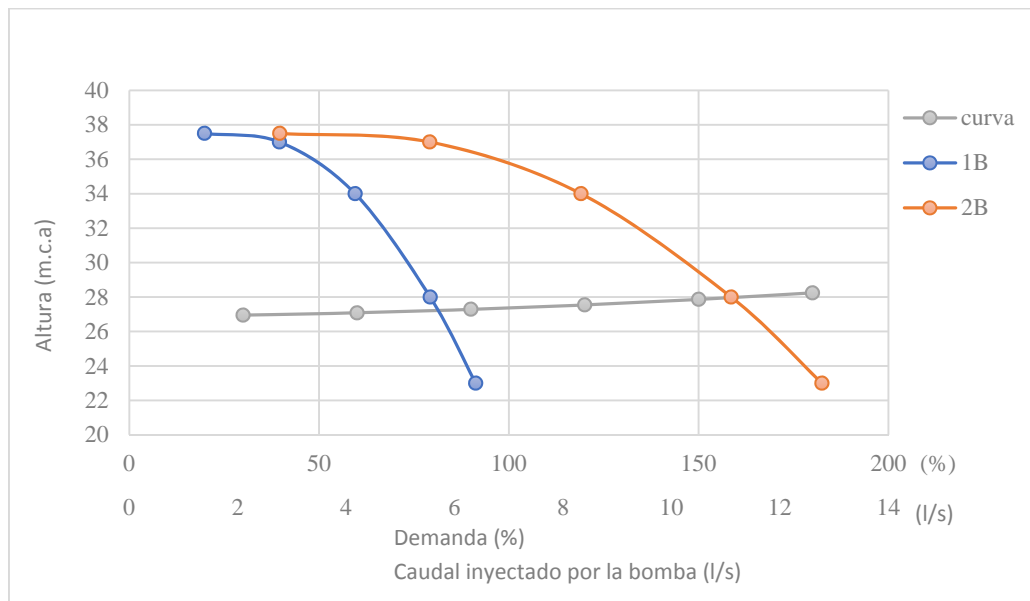
**Fig. 6.28.** Curva de la bomba en Epanet



La ecuación de la curva característica de la bomba es la siguiente:

$$H = -0,7269 Q^2 + 2,7677 Q + 35,017 \quad (5)$$

Los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 6.29, donde se han representado la curva de consigna del nudo 13 y las curvas características de las bombas asociadas en paralelo cuando funciona 1 sola bomba ó 2 bombas.



**Fig. 6.29.** Curvas características de la estación de bombeo del nudo 13

Del análisis de la gráfica anterior se puede saber los diferentes estados que tienen que tener las bombas dependiendo de la demanda de la red.

- Para una demanda menor del 85 % del consumo es suficiente con una sola bomba.
- Para demandas mayores al 85 % del consumo será necesario que estén funcionando las dos bombas.

A continuación, se muestra la Tabla 6.13, la cual recoge las diferentes demandas que tendrá la red durante 24 h. Solo se muestran los datos durante 24 h y no durante 168 h, ya que cada 24 h los datos se repiten. Dependiendo del valor del caudal que se necesite para abastecer el municipio de Beire y utilizando las curvas representadas en la Fig. 6.29 se determina el estado de las bombas a medida que va avanzando el tiempo.

TIEMPO (h)	CAUDAL (l/s)	CONFIGURACIÓN
0	5,42	Una bomba cerrada y la otra abierta
1	5,41	
2	5,39	
3	5,38	
4	5,34	
5	5,24	
6	5,37	
7	5,65	
8	4,18	
9	4,07	
10	4,46	
11	9,02	Las dos bombas abiertas
12	9,03	
13	4,17	Una bomba cerrada y la otra abierta
14	4,18	
15	8,83	Las dos bombas abiertas
16	8,74	
17	4,12	Una bomba cerrada y la otra abierta
18	4,20	
19	4,52	
20	6,26	
21	6,32	
22	6,10	
23	5,89	
24	5,42	

**Tabla 6.13.** Variación del caudal y del estado de las bombas durante 24 h

### Red de alimentación de las afueras de Beire (nudo 137)

Se van a colocar dos bombas iguales en paralelo. La situación donde más demanda pedirá para el caso de alimentación a las afueras de Beire corresponde al 270 % del 0,27 l/s, dándose un total de 0,729 l/s. Ante esta situación cada bomba deberá proporcionar la misma altura y la mitad del caudal, ya que las dos bombas son iguales y están funcionando en paralelo. Por dicho motivo el punto de funcionamiento de cada bomba corresponde a:

$$H_{\text{máx}} = 23,03 \text{ m.c.a}$$

$$Q_{\text{máx}} = 0,3645 \text{ l/s}$$

De acuerdo a la Fig. 6.30, la bomba seleccionada para dicho punto de funcionamiento es el modelo Etabloc 050-032-250 de  $n = 1450$  rpm. [17]

Etabloc, n = 1450 rpm

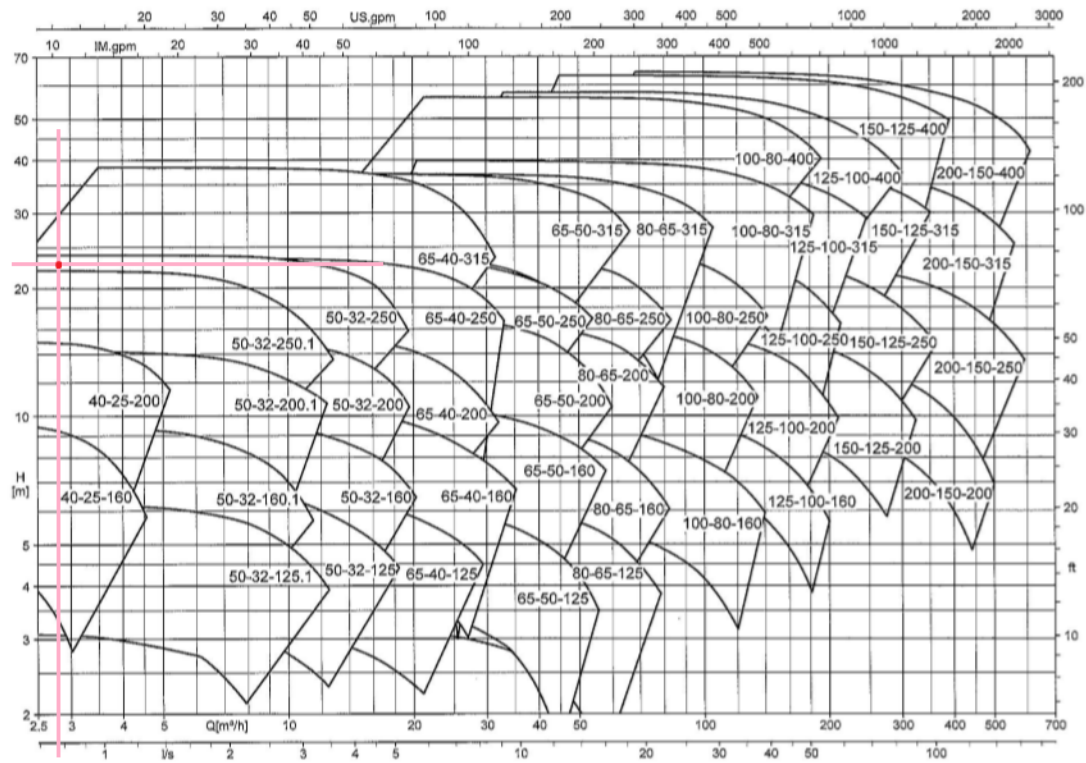


Fig. 6.30. Selección de la bomba

Una vez seleccionada la bomba, se selecciona el diámetro de la bomba que mejor cumpla las necesidades. En este caso, tal y como se observa en la Fig. 6.31, se necesita una bomba con diámetro de rodete de 261 mm. [17]

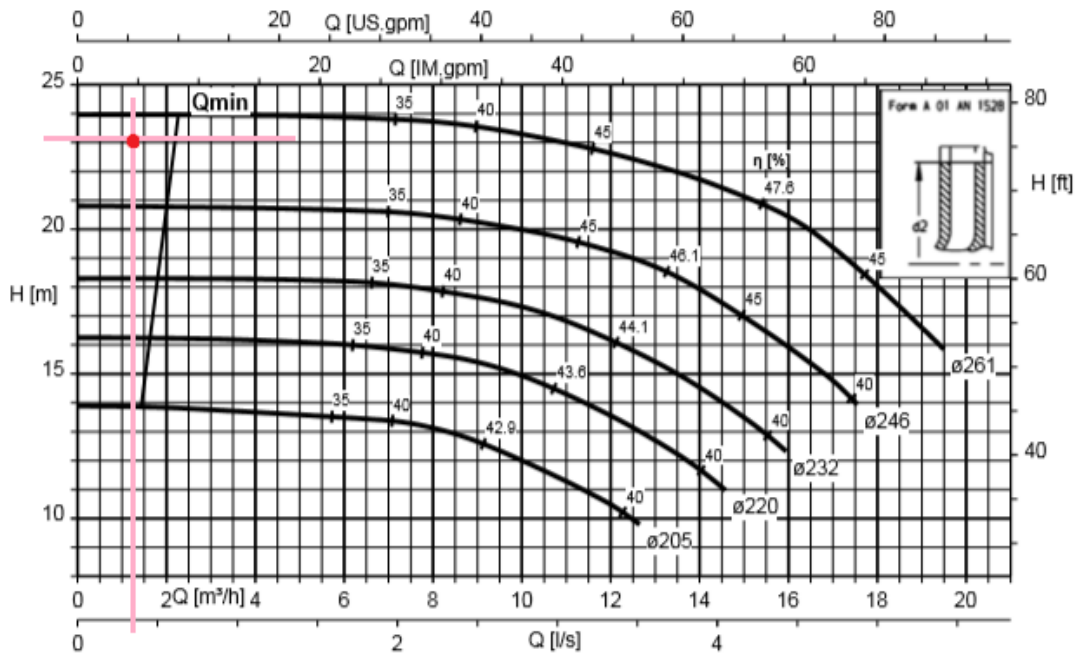


Fig. 6.31. Selección diámetro del rodete de la bomba

Asimismo, de la curva característica seleccionada se extraen 5 puntos, que a continuación se introducirán en Epanet. Dichos puntos se pueden observar en la Tabla 6.14.

	1º PUNTO	2º PUNTO	3º PUNTO	4º PUNTO	5º PUNTO
<b>H (m)</b>	24	23	22	20	16
<b>Q (l/s)</b>	1,110	3,055	3,750	4,580	5,420

**Tabla 6.14.** Puntos de la curva de la bomba

Cuando se esté trabajando con las dos bombas en paralelo se tendrán los siguientes parámetros:

$$H_{\text{máx}} = 23,03 \text{ m.c.a}$$

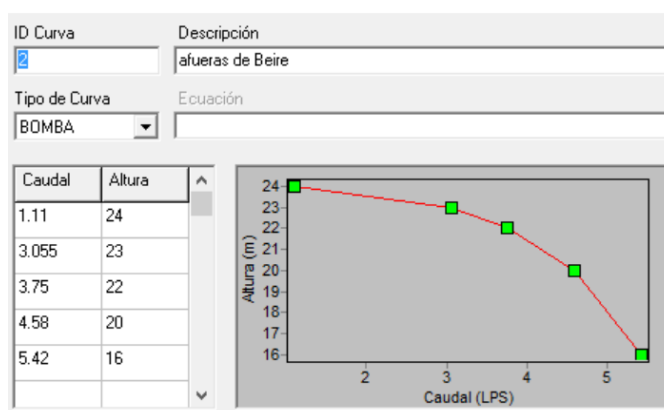
$$Q_{\text{máx}} = 0,729 \text{ l/s}$$

De esta forma cuando funcionen las dos bombas en paralelo se puede calcular la siguiente curva característica modificando los puntos calculados para el caso de una bomba. El caudal se multiplica por dos y la altura se mantendrá igual, puesto que son dos bombas iguales en paralelo. En este caso, los puntos de la curva de la bomba son los mostrados en la Tabla 6.15.

	1º PUNTO	2º PUNTO	3º PUNTO	4º PUNTO	5º PUNTO
<b>H (m)</b>	24	23	22	20	16
<b>Q (l/s)</b>	2,22	6,11	7,50	9,16	10,84

**Tabla 6.15.** Puntos de la curva de la bomba

Una vez calculada la estación de bombeo se introducen las dos bombas en paralelo en la red diseñada para periodo extendido, tal y como se observa en la Fig. 6.32.

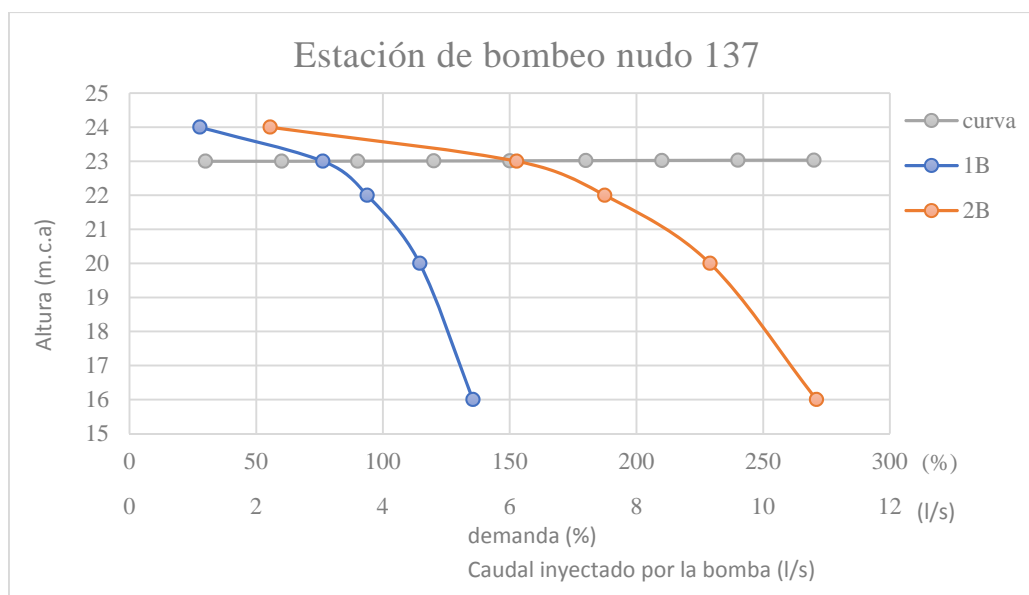


**Fig. 6.32.** Curva de la bomba en Epanet

La ecuación de la curva característica de la bomba es la siguiente:

$$H = -0,6216 Q^2 + 2,2761 Q + 22,165 \quad (6)$$

Los resultados obtenidos se muestran en la Fig. 6.33, donde se han representado la curva de consigna del nudo 137 y las curvas características de las bombas asociadas en paralelo cuando funciona 1 sola bomba ó 2 bombas.



**Fig. 6.33.** Curvas características de la estación de bombeo

Gracias a la gráfica anterior se puede saber los diferentes estados que tienen que tener las bombas dependiendo de la demanda de la red:

- Para una demanda menor del 75 % del consumo es suficiente con una sola bomba.
- Para demandas mayores que el 75 % del consumo será necesario que estén funcionando las dos bombas.

A continuación, en la Tabla 6.16 se muestran los valores de los diferentes caudales que se dan en la red durante 24 h. Con los valores de los caudales y la Fig. 6.33 se determina los diferentes estados de las bombas durante el transcurso de 24 h.

TIEMPO (h)	CAUDAL (l/s)	CONFIGURACIÓN
0	0,00	Una de las dos bombas cerrada
1	0,00	
2	0,00	
3	0,00	
4	0,00	
5	0,00	
6	0,00	
7	0,00	

8	0,00	Las dos bombas en funcionamiento
9	0,00	
10	0,66	
11	0,66	
12	0,66	
13	0,66	
14	0,66	
15	0,66	
16	0,66	
17	0,66	
18	0,66	Una de las dos bombas cerrada
19	0,66	
20	0,00	
21	0,00	
22	0,00	
23	0,00	
24	0,00	

**Tabla 6.16.** Variación del caudal y del estado de las bombas durante 24 h

### 6.3.7.- Trabajo a realizar

De manera similar a la práctica realizada en clase, el alumno, partiendo de la red diseñada en la primera práctica debe:

- Crear diferentes patrones en función del municipio que esté estudiando y asignar dichos patrones a cada nodo que tenga demanda base.
- Decidir dónde se van a colocar las bombas.
- Obtener la curva de consiga simulando los diferentes estados de carga en la red diseñada en la primera práctica. Para determinar el estado de carga máxima a la que se va a llegar, se tendrá en cuenta que el caudal máximo que se ha dado en el periodo extendido esté dentro del rango de los diferentes estados de carga.
- Diseñar la estación de bombeo. La elección del número de bombas que se coloquen en paralelo es decisión del alumno con un número mínimo de dos bombas.
- Obtener el punto de funcionamiento óptimo de las bombas para dicha instalación.
- Interpretar y deducir el estado de las bombas según la demanda de la red de abastecimiento.

## 6.4.- ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA RED TRAS EL USO DE VÁLVULAS.

### 6.4.1.- Introducción

En la siguiente práctica se añaden diferentes válvulas distribuidas por la red de abastecimiento para estudiar su comportamiento. Para ello, se partirá de la red diseñada en la segunda práctica, es decir, la correspondiente a la red en periodo simple con bombas. En concreto, se van a añadir válvulas reguladoras.

### 6.4.2.- Objetivos

Los principales objetivos que se buscan en la siguiente práctica son:

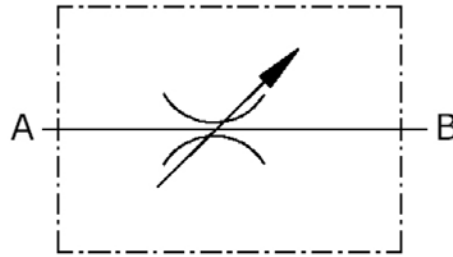
- Saber cómo se define y se introducen válvulas en Epanet.
- Analizar los diferentes cambios que se producen en las presiones y en la distribución de caudales a lo largo de la red de abastecimiento de agua.
- Conocer los distintos tipos de válvulas que suelen utilizarse en este tipo de instalaciones.

### 6.4.3.- Fundamento teórico

Una válvula es un dispositivo mecánico que permite el paso de un fluido en un sentido, pero que lo impide en el sentido contrario. Se colocan en puntos determinados del sistema de tuberías, de esta forma se tiene el control tanto de la velocidad del flujo como de la cantidad del fluido que circula. [18]

Las válvulas reguladoras son mecanismos de seguridad, ya que no permiten que se sobrepase la máxima presión establecida por los límites de diseño, con lo que se reduce el riesgo de accidentes. [18]

A continuación, en la Fig. 6.34 se muestra la simbología que se utiliza para identificar las válvulas reguladoras de caudal:




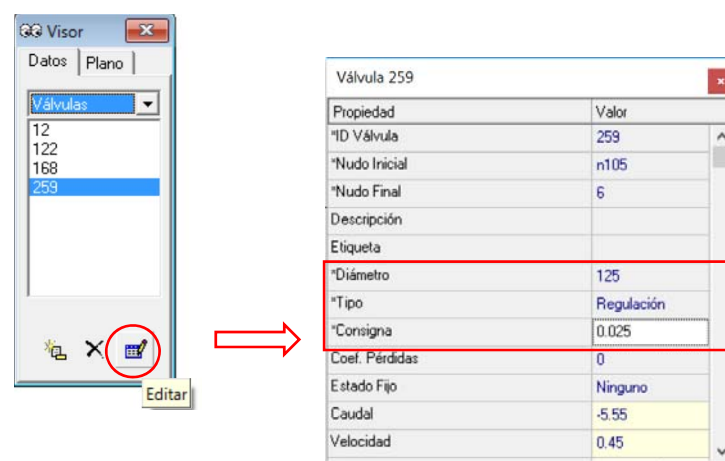
**Fig. 6.34.** Simbología de las válvulas reguladoras de caudal

En general, las válvulas reguladoras se pueden clasificar en dos tipos: [18]

- Válvulas de regulación manual: Como elementos de regulación se utilizan palancas o tornillos que se accionan mediante la aplicación de fuerza de quien está operando.
- Válvulas de regulación neumática: En este tipo de válvulas no se utiliza la fuerza del operario, sino que cuentan con un cilindro hidráulico que se acciona con aire comprimido regulado.

#### 6.4.4.- Herramientas

Epanet identifica una válvula con el siguiente icono: . Para colocar una válvula es necesario tener dos nodos, que definan el inicio y el final de ésta. Asimismo, tras su colocación, hay que definir varios parámetros, a través del Visor, tal y como muestra la Fig. 6.35. Dichos parámetros son: el diámetro, el tipo de válvula y la consigna.



**Fig. 6.35.** Introducción y edición de válvulas



#### 6.4.5.- Desarrollo

En la siguiente práctica se van a colocar las siguientes cuatro válvulas repartidas por toda la red:

1. Una válvula se va a colocar en la tubería 12, para ello se ha creado un nuevo nodo en medio de los nodos que componen los extremos de esta tubería, que corresponden a los nodos número 272 y 105.
2. Otra válvula se va a colocar en la tubería 128, para ello se crea un nuevo nodo en medio de los nodos que componen los extremos de la tubería 128, que corresponden a los nodos número 16 y 364.
3. Una tercera válvula se va a colocar en la tubería 175, para ello como en los anteriores casos se va a colocar un nodo en medio de los nodos que componen los extremos de la tubería 175, que corresponden a los nodos número 388 y 62.
4. La cuarta válvula se va a colocar en la tubería 260, para ello se crea un nodo en medio de los nodos que componen los extremos de la tubería 260, que corresponden a los nodos número 137 y 140.

Una vez definida la localización de las válvulas, a continuación, se describen con detalle los pasos seguidos para la simulación de dicha práctica.

- En primer lugar, para seguir manteniendo la misma longitud en cada tubería que se va a colocar la válvula, se realiza la Tabla 6.17 como recordatorio de las longitudes de cada tubería:

Nº de tubería	12	128	175	260
Longitud (m)	42,8853	46,3714	70,8004	201,6292

**Tabla 6.17.** Longitudes de las tuberías donde se van a colocar las válvulas

- A continuación, se introduce un nuevo nodo en medio de cada tubería. La Tabla 6.18 muestra todas las nuevas características que adquieren las tuberías y los nodos:

<b>TUBERÍA</b>	12	128	175	260
<b>NODOS QUE LA COMPONEN</b>	272	16	388	137
	105	364	62	140
<b>NODO NUEVO</b>	6	7	5	8
<b>COTA DEL NODO NUEVO (m)</b>	368,50	367,50	366,73	370,00
<b>NUEVAS TUBERÍAS</b>	92	122	86	168
	112	128	75	175

<b>LONGITUDES DE LAS NUEVAS TUBERÍAS (m)</b>	21,4426	23,1857	35,4002	100,8146
	21,4426	23,1857	35,4002	100,8146
<b>DIÁMETRO (mm)</b>	125	100	100	125
	125	100	100	125
<b>RUGOSIDAD (mm)</b>	0,025	0,025	0,025	0,03
	0,025	0,025	0,025	0,03

**Tabla 6.18.** Nuevas características de los elementos tras introducir las válvulas

*Nota: Las tuberías han sido eliminadas para poner un nuevo nodo en medio, por dicho motivo una de las dos nuevas tuberías creadas desde la tubería 260, cuyo número es 175, coincide con el número de la tubería que la componen los nodos 388 y 62.*

- Las válvulas se colocan en las tuberías número 92, 122, 86 y 168.
- Para definir una válvula es necesario conocer los siguientes parámetros:
  - Diámetro (mm).
  - Tipo de válvula: En esta práctica se van a introducir válvulas reguladoras.
  - Consigna (coeficiente de pérdidas menores para válvulas de regulación): Constante K.

A continuación, en la Tabla 6.19 se especifican los parámetros de cada válvula:

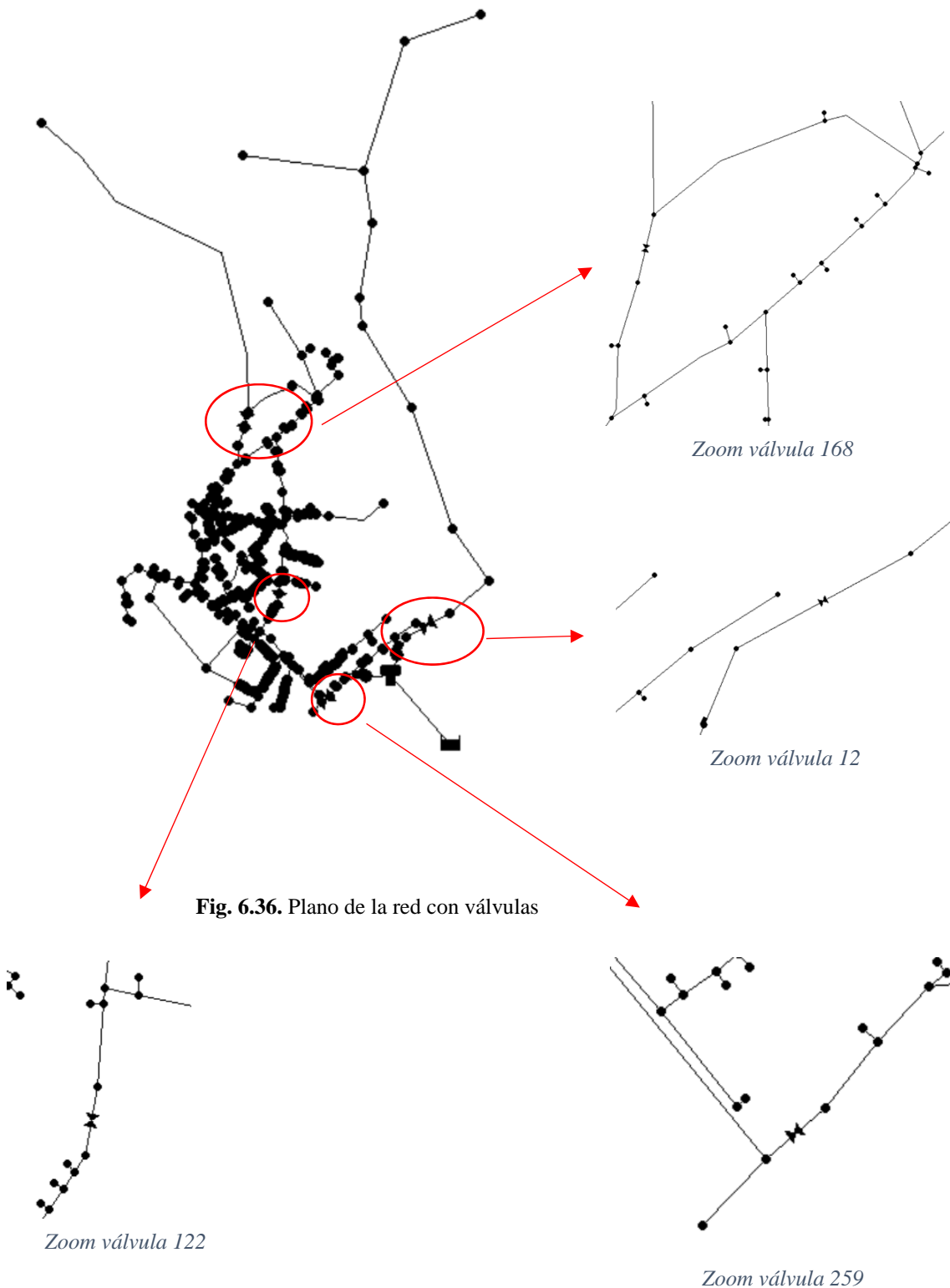
	<b>VÁLVULAS</b>			
<b>Número</b>	259	12	122	168
<b>Diámetro (mm)</b>	125	125	100	100
<b>Tipo de válvula</b>	Reguladora	Reguladora	Reguladora	Reguladora
<b>Consigna</b>	0,025	0,03	0,025	0,025

**Tabla 6.19.** Características de cada válvula

- Una vez que ya se han definido las cuatro válvulas, se va a simular cuando una válvula está semi cerrada cambiando el valor de su consigna a  $K = 1000$  y cuando está abierta, para comparar los cambios en los caudales y presiones de los nodos y tuberías de alrededor. Al ser una red grande, de más o menos 650 nodos, el cambio de una válvula de abierta a parcialmente cerrada solo influirá en los nodos y tuberías de su alrededor. Por ello, solo se analizará por cada válvula los nodos y tuberías de su alrededor.

#### 6.4.6.- Simulaciones de los diferentes cambios que se producen en las presiones y en la distribución de caudales

Una vez se hayan colocado y definido las cuatro válvulas se dispone a lanzar la simulación. A continuación, en la Fig. 6.36 se muestra la red de abastecimiento con las cuatro válvulas:





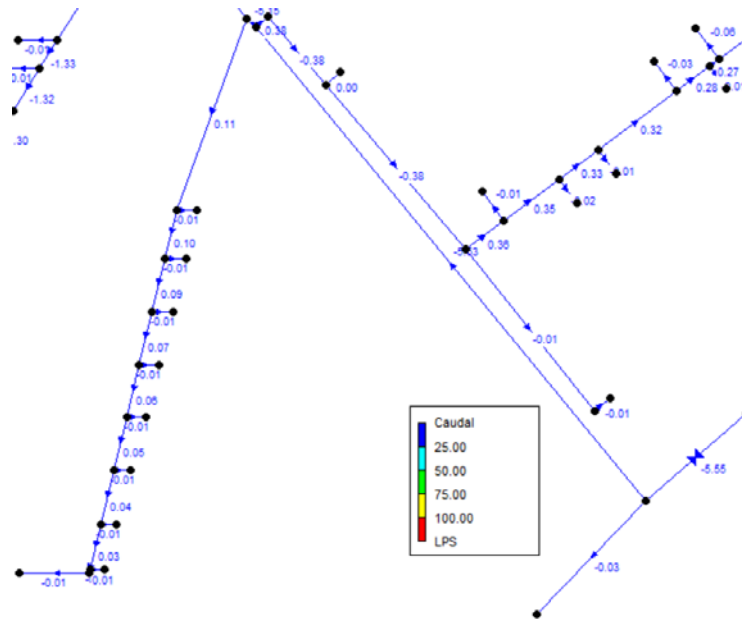


Fig. 6.38. Resultado de caudales con la válvula 259 abierta

Tras ver los resultados de las presiones y caudales cuando la válvula está abierta, se dispone a lanzar una nueva simulación con la válvula parcialmente cerrada. A continuación, se muestran los resultados de presiones y caudales en las Fig. 6.39 y Fig. 6.40, respectivamente.

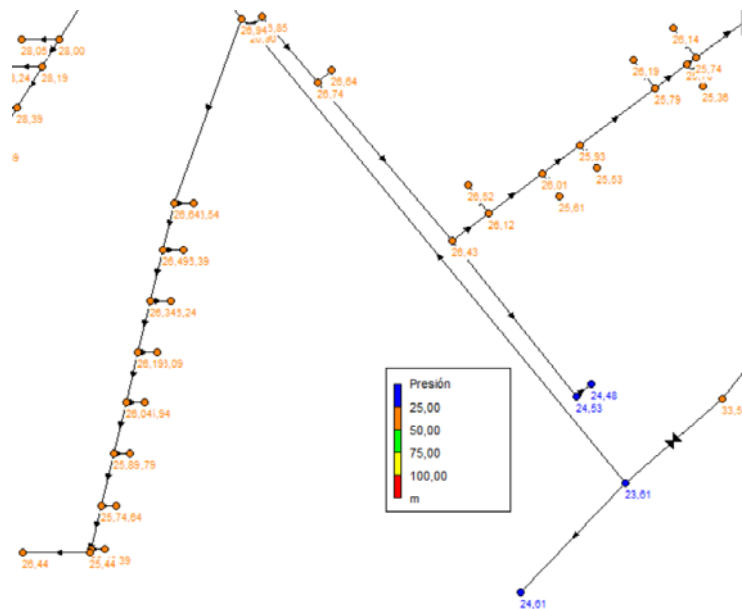
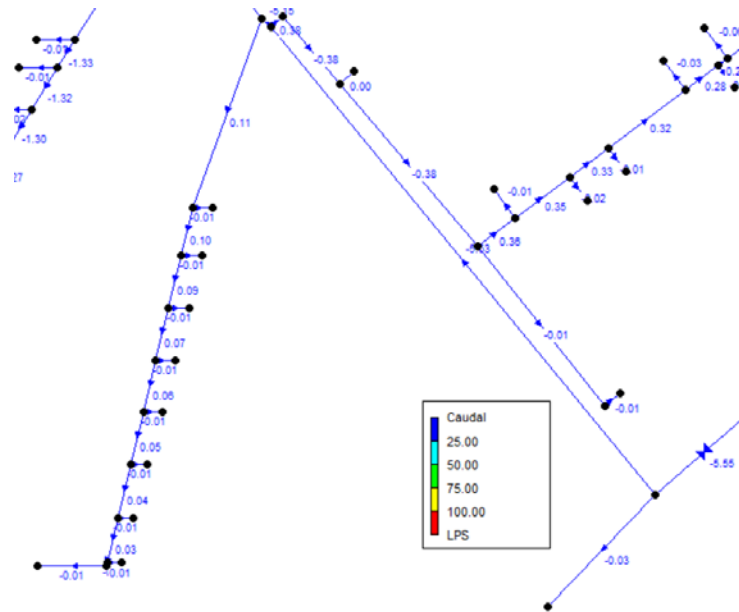


Fig. 6.39. Resultado de presiones con la válvula 259 cerrada



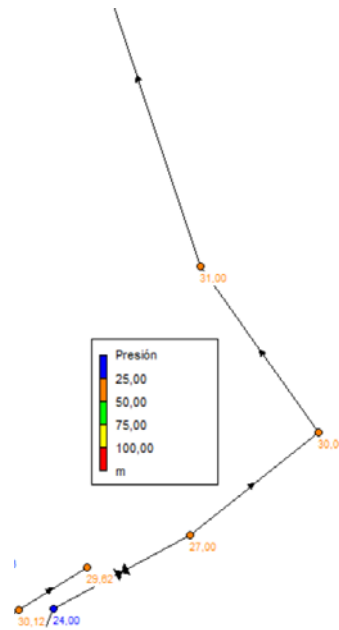
**Fig. 6.40.** Resultado de caudales con la válvula 259 cerrada

Se puede apreciar que las presiones en los nodos son mucho menores. Por ejemplo, en el nodo más cercano a la válvula, cuando ésta se encontraba abierta tenía una presión de 34,04 m.c.a, y cuando se ha cerrado parcialmente dicha presión ha disminuido a 23,61 m.c.a.

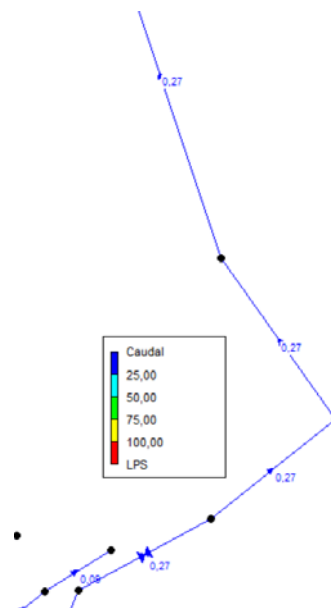
Por otro lado, no hay variación en los caudales, ya que, aunque la válvula se cierre parcialmente, la demanda base de cada nodo sigue siendo la misma y como no hay otro camino posible por el que mandar el agua sin pasar por la válvula, los caudales se mantienen constantes.

### Válvula N° 12

Primero se van a mostrar los resultados de las presiones y caudales cuando la válvula se encuentre abierta y posteriormente se cerrará parcialmente poniendo una consigna  $K = 1000$ . La Fig. 6.41 y la Fig. 6.42 muestran las presiones y caudales resultantes, respectivamente, cuando la válvula está abierta.

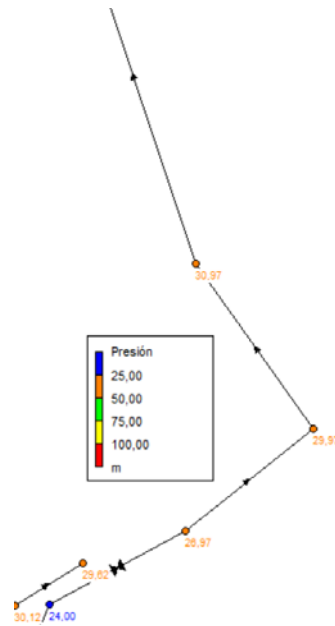


**Fig. 6.41.** Resultado de presiones con la válvula 12 abierta

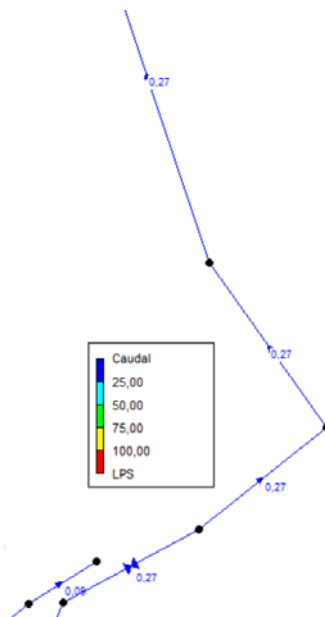


**Fig. 6.42.** Resultado de caudales con la válvula 12 abierta

Una vez se han visto los resultados de las presiones y caudales cuando la válvula está abierta, se lanza otra simulación en la que la válvula se encuentra parcialmente cerrada. A continuación, se muestran los resultados de presiones y caudales en las Fig. 6.43 y Fig. 6.44, respectivamente.



**Fig. 6.43.** Resultado de presiones con la válvula 12 cerrada



**Fig. 6.44.** Resultado de caudales con la válvula 12 cerrada

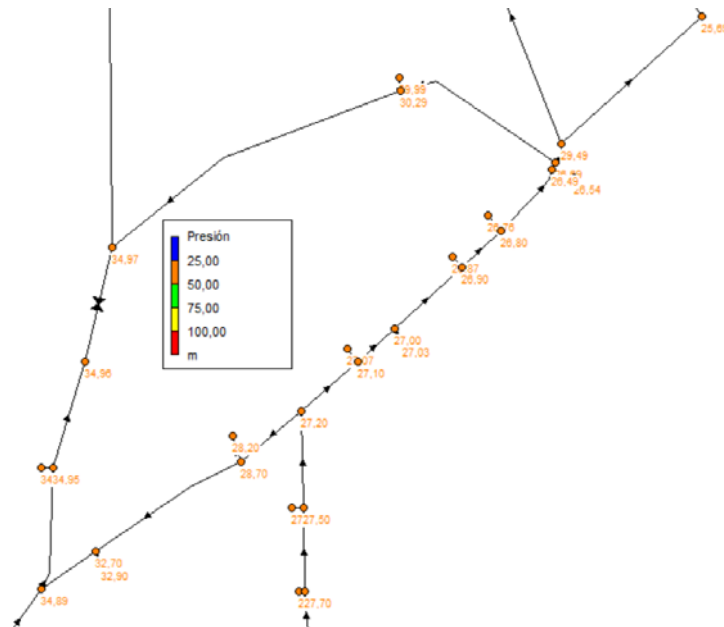
Se puede apreciar que ocurre lo mismo que con la válvula número 259. Las presiones han disminuido, pero los caudales no varían debido a que no hay otra tubería que alimente las zonas que se abastece con la tubería que contiene la válvula. Por lo tanto, el agua solo puede ir por el conjunto de tuberías donde esté la válvula, ya sea abierta o cerrada parcialmente.

La presión en el nudo aguas abajo de la válvula abierta ha dado un valor de 27 m.c.a, pero cuando se ha cerrado parcialmente se ha tenido una presión de 26,97 m.c.a.

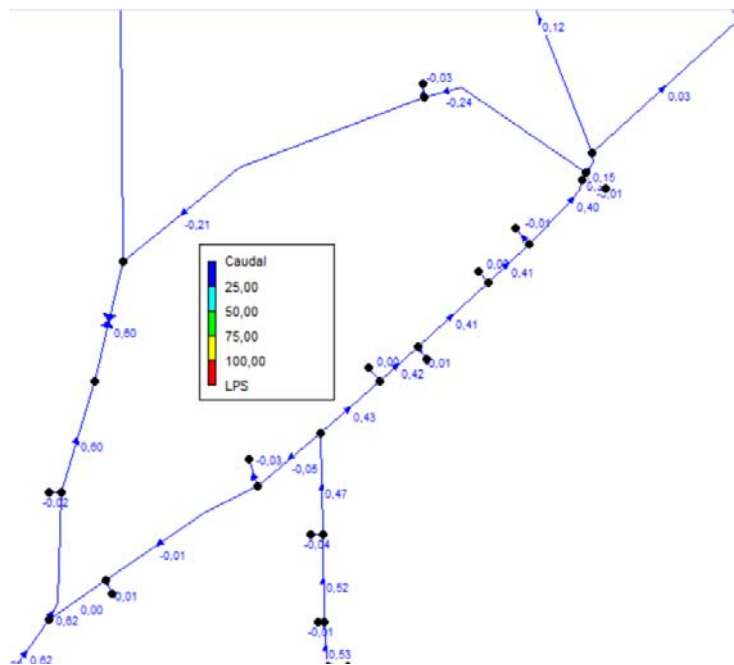


Válvula N° 168

A continuación, en las Fig. 6.45 y Fig. 6.46. se muestran los resultados obtenidos en Epanet cuando la válvula 168 se encuentra abierta.



**Fig. 6.45.** Resultado de presiones con la válvula 168 abierta



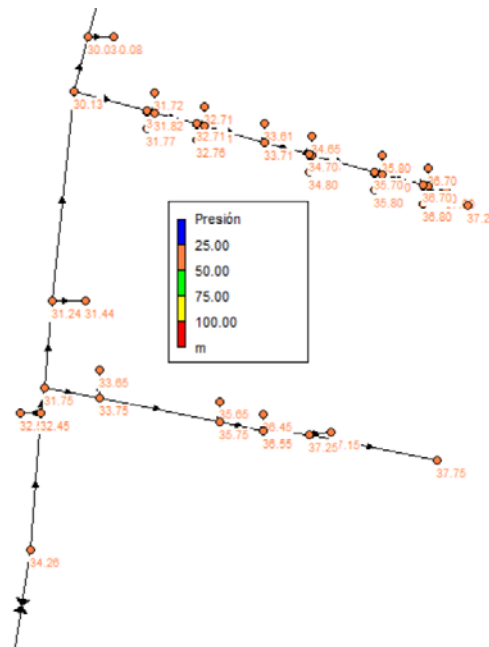
**Fig. 6.46.** Resultado de caudales con la válvula 168 abierta



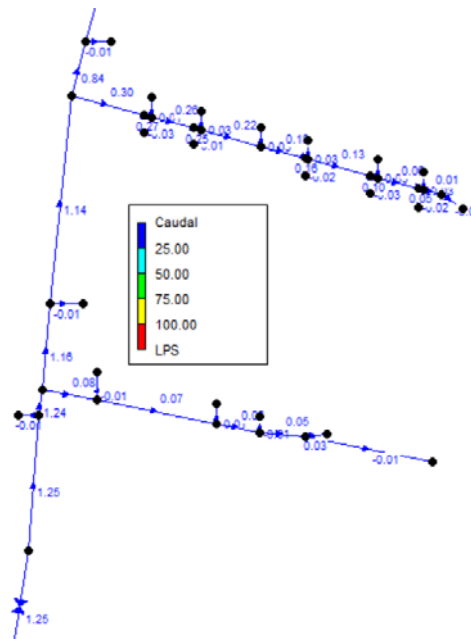
Como se puede observar, el caudal que circula por la válvula se reduce de 0,6 l/s a 0,21 l/s. Debido a esa disminución los caudales se han visto afectados tanto en la dirección como en su valor. En cuanto a las presiones, no se han visto casi modificadas, ya que la presión del nudo aguas abajo de la válvula tan solo ha disminuido de 34,97 m.c.a a 34,94 m.c.a.

### Válvula N° 122

A continuación, en las Fig. 6.49 y Fig. 6.50 se muestran los resultados obtenidos en Epanet cuando la válvula 122 se encuentra abierta.

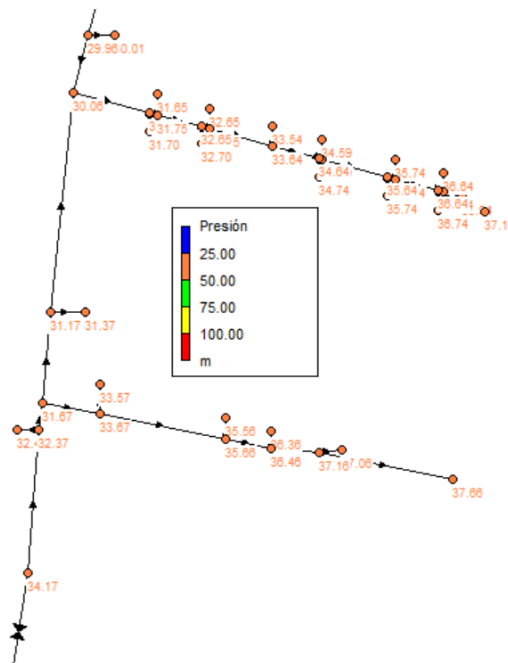


**Fig. 6.49.** Resultado de presiones con la válvula 122 abierta



**Fig. 6.50.** Resultado de caudales con la válvula 122 abierta

Seguidamente, se cierra parcialmente la válvula y se lanza la simulación obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Fig. 6.51 y Fig. 6.52.



**Fig. 6.51.** Resultado presiones con la válvula 122 cerrada



- Elegir justificadamente el lugar donde introducir las válvulas. Se tendrán que introducir un mínimo de cuatro válvulas.
- Simular la red con las válvulas en estado abierto y cerrado parcialmente.
- Analizar los resultados obtenidos con cada estado diferente de las válvulas.

## 6.5.- SITUACIONES EXTRAORDINARIAS EN LA RED

### 6.5.1.- Introducción

Una vez que ya se ha diseñado la red de abastecimiento de agua, se plantean diferentes contratiempos que pueden ocurrir en cualquier conducción de tuberías y que se debería poder solucionar en el mismo instante para que no haya ningún percance.

El primer caso que se va a analizar es: ¿Qué pasaría si se rompiese una tubería de la conducción de agua?

El segundo caso que se va a tratar es: ¿Qué sucedería si se tiene un incendio en alguno de los nodos o en sus proximidades?

Para realizar esta práctica se va a utilizar la red diseñada en la segunda práctica.

### 6.5.2.- Objetivos

Los principales objetivos que se buscan en la siguiente práctica son:

- Analizar la respuesta de la red diseñada ante situaciones extraordinarias como pueden ser la ruptura de una tubería o un incendio.
- Planteamiento y análisis de diferentes soluciones ante estas situaciones.
- Proponer otros diferentes problemas inesperados que pueden surgir en la instalación.

### 6.5.3.- Fundamento teórico

Las dos situaciones extraordinarias planteadas, son dos situaciones que ocurren con bastante frecuencia. Por eso, se cree que es importante saber cómo enfrentarse ante esas situaciones y tener siempre algún recurso en la red que haga frente cuando pase alguna situación desfavorable.

#### 6.5.4.- Herramientas

Para la realización de esta práctica no se introducen herramientas nuevas de Epanet.

#### 6.5.5.- Desarrollo

##### Ruptura de una tubería

Se van a estudiar dos casos:

- a) Ruptura de tuberías, sin que ello afecte a la demanda (el agua sigue llegando a cada nodo):

En el presente caso, se ha decidido eliminar tuberías principales, dejando las ramificaciones sin modificar. La eliminación de estas tuberías no afecta a la demanda de agua, puesto que, aunque se supriman, el agua puede llegar a todos los nodos. Esto se ha realizado así, para que tenga mayor consecuencia en los resultados tras la simulación. Se suprime la tubería 136, que se encuentra en la calle Fontana, la tubería 165, que se encuentra en la calle Sur, la tubería 59, que se encuentra a continuación de la calle Mairaga, la tubería 1, que es la continuación de la tubería 59, la tubería 203, que se encuentra en la calle Las Eras y la tubería 176, que se encuentra en la calle Lavandera. En resumen, se van a eliminar un total de seis tuberías, la número 136, 165, 59, 203,1 y 176. Se considera que las tuberías eliminadas eran importantes a la hora de la distribución de agua en la red, por ese motivo se han eliminado para obtener una mayor modificación en los resultados tras la simulación.

Antes de la eliminación de dichas tuberías se muestran en la Tabla 6.20 los resultados de presiones máximas y mínimas en toda la red:

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n167	360,0	0,0790	41,77
Conexión n582	376,9	0,0109	24,75

**Tabla 6.20.** Resumen resultados nodos después de colocar la bomba

La Tabla 6.21 muestra los resultados obtenidos tras la ruptura de tuberías:

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n167	360,0	0,0790	41,80
Conexión n582	376,9	0,0109	24,55

**Tabla 6.21.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

De acuerdo a los resultados, se puede ver que las presiones no varían de manera significativa. Ello puede ser debido a que las tuberías que se han eliminado de la red de conducción, estén lejos de los nodos 167 y 582, y al ser una red de tuberías grande no se note casi ninguna variación en dichos nodos. Por dicho motivo se van a analizar las variaciones en los nodos que rodean las zonas donde se han eliminado las tuberías, concretamente los nodos de los extremos de las tuberías eliminadas, simulando su ruptura.

La tubería número 136, cuyos valores de presión y demanda antes de la ruptura se detallan en la Tabla 6.22, tiene en sus extremos los nodos número 366 y 17. Antes de la ruptura de la tubería se tiene los siguientes valores de presiones:

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n366	370,5	0	31,20
Conexión n17	371,6	0	30,09

**Tabla 6.22.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

Tras la ruptura de la tubería 136 se obtienen los siguientes valores de presiones mostrados en la Tabla 6.23.

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n366	370,5	0	31,21
Conexión n17	371,6	0	29,95

**Tabla 6.23.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

La tubería número 165, cuyos valores de presión y demanda antes de la ruptura se detallan en la Tabla 6.24, tiene en sus extremos los nodos número 82 y 559. Antes de la ruptura de la tubería se tiene los siguientes valores de presiones:

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n82	370,5	0	31,18
Conexión n559	369,4	0	32,28

**Tabla 6.24.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

Tras la ruptura de la tubería 165 se obtienen los siguientes valores de presiones mostrados en la Tabla 6.25.



ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n82	370,5	0	31,05
Conexión n559	369,4	0	32,10

**Tabla 6.25.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

La tubería número 59, cuyos valores de presión y demanda antes de la ruptura se detallan en la Tabla 6.26. tiene en sus extremos los nodos número 295 y 447. Antes de la ruptura de la tubería se tiene los siguientes valores de presiones:

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n295	361,1	0	40,23
Conexión n447	361,0	0	40,75

**Tabla 6.26.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

Tras la ruptura de la tubería 59 se obtienen los siguientes valores de presiones mostrados en la Tabla 6.27.

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n295	361,1	0	40,17
Conexión n447	361,0	0	40,80

**Tabla 6.27.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

La tubería número 203, cuyos valores de presión y demanda antes de la ruptura se detallan en la Tabla 6.28, tiene en sus extremos los nodos número 419 y 620. Antes de la ruptura de la tubería se tiene los siguientes valores de presiones:

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n419	373,8	0	27,86
Conexión n620	375,5	0	28,17

**Tabla 6.28.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

Tras la ruptura de la tubería 203 se obtienen los siguientes valores de presiones mostrados en la Tabla 6.29.

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n419	373,8	0	27,65
Conexión n620	375,5	0	28,05

**Tabla 6.29.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

La tubería número 1, cuyos valores de presión y demanda antes de la ruptura se detallan en la Tabla 6.30., tiene en sus extremos los nodos número 299 y 295. Antes de la ruptura de la tubería se tiene los siguientes valores de presiones:

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n299	361,0	0	40,71
Conexión n295	361,5	0	40,23

**Tabla 6.30.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

Tras la ruptura de la tubería 1 se obtienen los siguientes valores de presiones mostrados en la Tabla 6.31.

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n299	361,0	0	40,53
Conexión n295	361,5	0	40,17

**Tabla 6.31.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

La tubería número 176, cuyos valores de presión y demanda antes de la ruptura se detallan en la Tabla 6.32., tiene en sus extremos los nodos número 62 y 390. Antes de la ruptura de la tubería se tiene los siguientes valores de presiones:

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n62	366,72	0	34,93
Conexión n390	371,40	0	30,25

**Tabla 6.32.** Resumen resultados nodos antes de la ruptura de varias tuberías

Tras la ruptura de la tubería 176 se obtienen los siguientes valores de presiones mostrados en la Tabla 6.33.

ID NUDO	COTA (m)	DEMANDA BASE (l/s)	PRESIÓN (m.c.a)
Conexión n62	366,72	0	34,72
Conexión n390	371,40	0	30,05

**Tabla 6.33.** Resumen resultados nodos tras la ruptura de varias tuberías

Tras analizar los nodos de los extremos por cada tubería eliminada, se comprueba que tampoco sufren una gran variación, debido al mismo motivo anterior, ya que es una red grande y las posibles variaciones sufridas serán pequeñas. Sí que se puede decir que la presión disminuye un poco tras la eliminación de las tuberías.

b) Ruptura de una tubería fundamental (sin ella, no podría llegar agua a varios nodos):

Se va a eliminar la tubería número 2, mostrada en la Fig. 6.53. Tras la eliminación de la tubería, los nodos de las afueras de Beire se quedarían sin abastecimiento de agua, por dicho motivo se introduce una nueva tubería que permitirá el abastecimiento de dichos nodos si se diera el caso de la ruptura de la tubería.

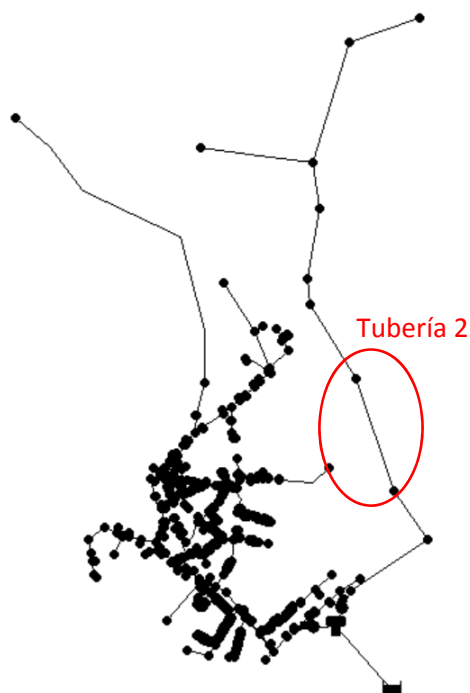


Fig. 6.53. Plano de la red con la tubería 2

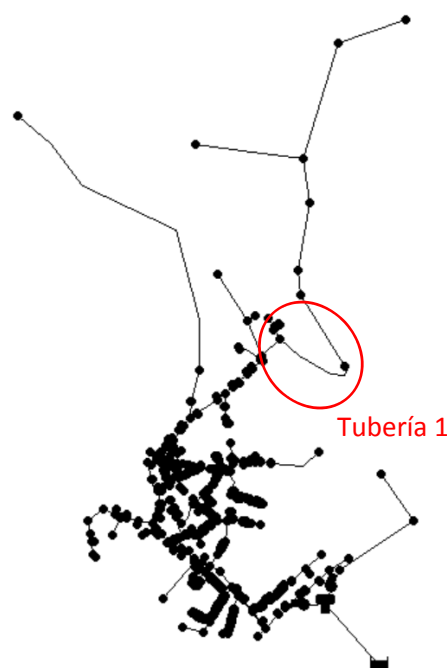


Fig. 6.54. Plano de la red después de eliminar la tubería 2 y añadir la tubería 1

La nueva tubería se llama tubería 1 y se muestra en la Fig. 6.54. A continuación, se muestra una tabla con los parámetros asignados a esta tubería:

	NOMBRE	LONGITUD (m)	RUGOSIDAD (mm)	DIÁMETRO (mm)
Datos	1	200	0,03	125

Tabla 6.34. Características de la nueva tubería

Esta última tubería solucionaría el problema de una ruptura de tubería conductora a los puntos de consumo de agua de las afueras de Beire.

A continuación, se van a analizar las variaciones de presión que sufre la red antes de la ruptura de dicha tubería. Dichas presiones se muestran en la Tabla 6.35 y en la Fig. 6.55.

	NÚMERO DE LOS NODOS	PRESIONES EN LOS NODOS (m.c.a)
Nodos que componen la tubería eliminada	141	34,71
	144	24,71

Tabla. 6.35. Presiones en los nodos antes de eliminar la tubería

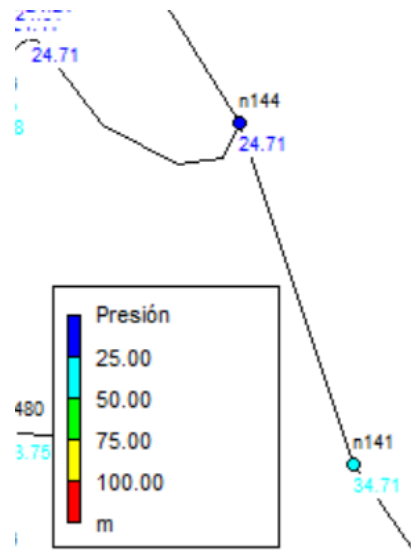


Fig. 6.55. Presiones en los nodos 144 y 141

A continuación, se van a analizar las variaciones de presión que sufre la red tras la ruptura de dicha tubería. Dichas presiones se muestran en la Tabla 6.36 y en la Fig. 6.56.

	NÚMERO DE LOS NODOS	PRESIONES EN LOS NODOS (m.c.a)
Nodos que componen la nueva tubería	183	24,45
	144	24,45

Tabla 6.36. Presiones en los nodos después de eliminar la tubería

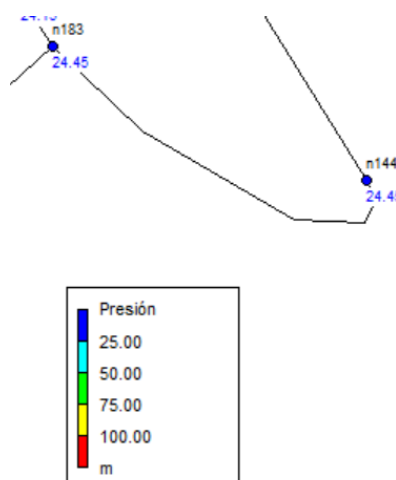


Fig. 6.56. Presiones en los nodos 183 y 144

Añadiendo esta nueva tubería se solucionaría el problema de abastecimiento que causado debido a la ruptura de la tubería número 2.

### Incendio en las inmediaciones de un nodo:

Simplemente se va a aumentar la demanda base del nodo, para simular el cambio en la cantidad de agua que se va a necesitar y con ello hacerle frente al incendio que se ha ocasionado en sus inmediaciones.

Se da el caso de que se produce un incendio en las proximidades del nudo 215. Cuando se produzca el incendio se tendrán que utilizar los hidrantes de incendio más próximos para poder apagar y hacerle frente al incendio.

En España, los hidrantes para incendios deben cumplir el Reglamento sobre condiciones de protección contra incendios en los edificios, que se produjo en 1996, por el que se aprueba la norma básica de la edificación sobre condiciones de protección contra incendios de 1996 [19] y el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios que se produjo en 1993 [20].

Según los reglamentos citados anteriormente se distinguen dos tipos de hidrantes:

- De columna. Los hidrantes de columna se dividen en dos tipos: tipo 80 mm y tipo 100 mm. Los de tipo 80 mm tienen un caudal de  $500 \text{ l/min} = 8,33 \text{ l/s}$ , y la presión de servicio mínima tiene que ser de 10 m.c.a. Los de tipo 100 mm tienen un caudal de  $1000 \text{ l/min} = 16,66 \text{ l/s}$ , y la presión de servicio mínima tiene que ser de 10 m.c.a.
- Enterrados. Los hidrantes enterrados pueden ser de 80 mm o de 100 mm y se encuentran recogidos en una arqueta.

En la presente práctica, se van a utilizar hidrantes de columna de tipo 80 mm de diámetro, ya que la población de Beire no es muy grande.

Como se puede observar en la Fig. 6.57, se ha colocado un hidrante en el nudo 215, ya que el incendio transcurre cerca.

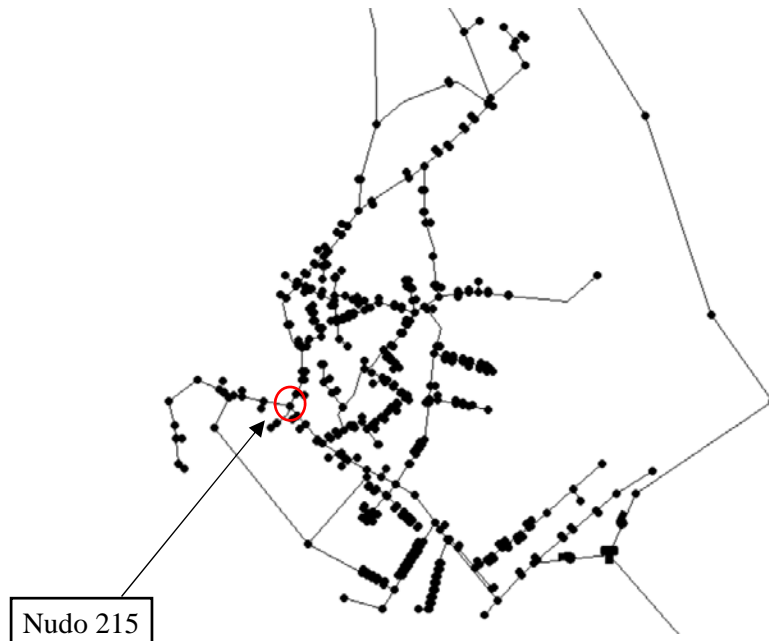


Fig. 6.57. Indicación de la ubicación del hidrante

La demanda base del nudo 215 es cero, por lo tanto, se va a incrementar esa demanda en 8,33 l/s, ya que es la cantidad de caudal que proporciona cada hidrante.

A continuación, en la Fig. 6.58 se muestran los resultados de la red antes de introducir el nuevo valor de demanda en el nodo 215.

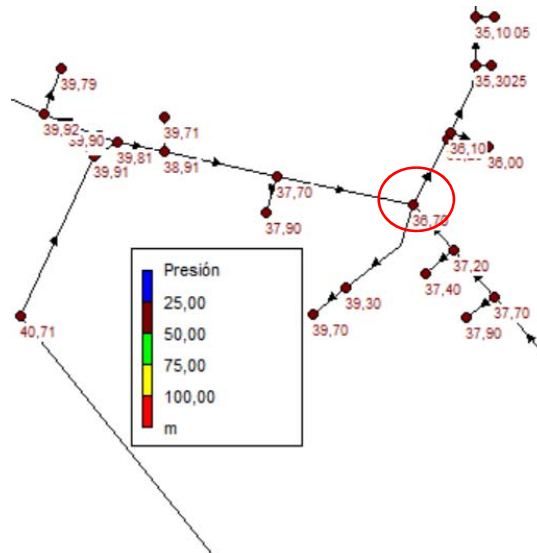


Fig. 6.58. Presiones antes del incendio



#### 6.5.8.- Trabajo a realizar

De manera similar a la práctica realizada en clase, el alumno, partiendo de la red diseñada en la segunda práctica debe:

- Eliminar todas las tuberías posibles con las cuales la demanda de agua no se ve afectada.
- Analizar los cambios obtenidos tras la ruptura de las tuberías.
- Eliminar una tubería fundamental, con la cual sin ella no podría llegar el agua a varios destinos e introducir una posible solución para cubrir la demanda.
- Analizar los resultados obtenidos tras la introducción de la solución.
- Elección del lugar donde se va a desarrollar el posible incendio y aumento en el caudal de algún nodo próximo al incendio hasta 8,33 l/s, simulando la demanda que tiene un hidrante.



## **CAPÍTULO 7**

---

### **Conclusiones y trabajos futuros**



## 7.- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 7.1.- CONCLUSIONES GENERALES

Como conclusiones generales se puede decir que la realización del Trabajo Fin de Grado ha sido de gran utilidad. Con este trabajo se ha aprendido a utilizar el software Epanet, que hasta el momento no se había tenido que utilizar en ninguna de las asignaturas cursadas. Se considera que el software Epanet es muy útil e importante para el análisis hidráulico de una red de abastecimiento de agua, por lo tanto, los conocimientos adquiridos tras la realización del trabajo serán de gran ayuda.

Por otro lado, ha servido como refuerzo a lo aprendido en las asignaturas del área de Mecánica de Fluidos.

### 7.2.- CONCLUSIONES PARTICULARES

En la primera práctica se ha diseñado una red de abastecimiento. Para ello, se han necesitado las cotas de cada nodo, la demanda base, la rugosidad de cada tubería, el diámetro y la longitud. Inicialmente, se han definido dos límites de diseño: Presiones comprendidas entre 20 m.c.a y 50 m.c.a y velocidades menores que 2 m/s. Tras lanzar la simulación, se han analizado las presiones y velocidades. Todas las velocidades obtenidas han sido menores que 2 m/s, por lo tanto, cumplen uno de los dos límites de diseño. En cuanto a las presiones, en muchos nodos se han dado valores inferiores a 20 m.c.a. Para conseguir aumentar las presiones se han planteado dos soluciones: Aumento del diámetro de las tuberías con objeto de disminuir la velocidad del agua y aumentar la presión, o la segunda alternativa y por la que se ha decantado, que es el uso de estaciones de bombeo.

El aumento de la presión se ha conseguido a través del uso de bombas y es en la segunda práctica donde se ha explicado y enseñado un buen manejo en la elección e introducción de las mismas. Del depósito del municipio de Beire salen dos ramales, uno de ellos conduce a casi todo el municipio de Beire y el otro a las afueras del municipio. Las bajas presiones se han dado por toda la red, tanto en los nodos de un ramal como en los nodos del otro ramal. Por dicho motivo, se han colocado dos bombas, una en cada ramal. Una vez introducidas las bombas y lanzada la simulación, se ha conseguido que las presiones aumentasen, encontrándose entre los límites de diseño establecidos.

En una red de abastecimiento no siempre se tiene la misma demanda en cada nodo, ya que la cantidad de agua necesaria para abastecer el municipio varía según la hora del día. Por dicho motivo, se ha realizado la tercera práctica, donde se han introducido los patrones que hacen que varíe el comportamiento de la red, según las necesidades de cada uno de los nodos. La demanda en la red varía con el tiempo, por lo tanto, si se utiliza una sola bomba estaría trabajando fuera de su punto óptimo la mayor parte del tiempo, por lo tanto, se ha decidido colocar dos bombas en paralelo, que dependiendo de la demanda de la red se tenga que trabajar con una bomba o con las dos.

Para determinar cuándo abrir o cerrar las bombas se ha calculado la curva de consigna de cada ramal. Se ha podido establecer para el ramal de la derecha que, cuando la demanda sea inferior al 85 % del consumo total, sólo se ponga en funcionamiento una bomba y para consumos mayores se abran las dos bombas. Para el ramal de la izquierda se ha podido establecer que, cuando se tenga una demanda mayor al 75 % del consumo total solo se tiene que tener una bomba abierta, mientras que para demandas mayores que el 75 % se tenga que tener abiertas las dos bombas.

Las válvulas regulan y automatizan la presión y el volumen del flujo, además de proteger tuberías, bombas y componentes contra posibles daños. En la cuarta práctica se ha enseñado el manejo e introducción de válvulas en la red y se ha analizado el comportamiento de ellas cuando se encontraban abiertas o parcialmente cerradas. Analizando los resultados en cuanto a los caudales, cuando una válvula ha sido parcialmente cerrada, si el flujo de agua tenía otra posibilidad de circulación se redistribuía, causando una disminución en el caudal circulatorio de la válvula. Sin embargo, una vez semi cerrada la válvula, si el flujo de agua no disponía de un segundo recorrido de tuberías para seguir abasteciendo las demandas de la red, el caudal de la válvula se mantenía contante. En cuanto a las presiones, cuando la válvula se ha cerrado parcialmente las presiones de los nodos que se encontraban aguas debajo de las válvulas disminuían.

Además de las situaciones normales que se dan en una red de abastecimiento, también pueden existir otro tipo de situaciones anómalas. Por ello, se tiene que estar preparado para hacer frente a cualquier situación que pueda venir fuera de lo común. En la quinta práctica, se han propuesto dos casos extraordinarios que se dan con bastante frecuencia en redes de abastecimiento y que, si no se tiene ninguna alternativa a ellos,

ocasionarían grandes problemas. Se han tratado dos casos posibles: Ruptura de tuberías y la formación de un incendio en las proximidades de algún nodo.

Para el caso de la ruptura de tuberías se han eliminado 6 tuberías principales, pero al ser una red grande con unos 650 nodos no se han producido variaciones significativas. Dentro de la ruptura de tuberías se ha decidido simular también, que pasaría si una de las tuberías rotas fuera fundamental y que sin ella el agua no podría llegar a abastecer varios nodos. Dicho esto, se ha decidido colocar una tubería que conectando el ramal de la derecha que conduce a las afueras de Beire con el ramal de la izquierda que conduce a casi todo el municipio. Se ha comprobado que tras la introducción de esta nueva tubería y la eliminación de una de las tuberías fundamentales las presiones se han seguido manteniendo entre los límites de diseño.

En cuanto al caso del incendio, la red en situaciones normales tiene una demanda de 5,72 l/s, cuando se ha producido un incendio dicha demanda aumentaba en un 8,33 l/s, dando un total de 14,05 l/s. La bomba colocada para el aumento de presiones solo podía proporcionar un máximo de 6,7 l/s, por lo tanto, se ha decidido colocar otras dos bombas en paralelo que, triplicasen dicha demanda máxima y así poder hacer frente al consumo exigido cuando sufra la red un incendio. La cantidad de caudal necesario para hacer frente a un incendio lo proporcionan los hidrantes, que corresponde a 8,33 l/s. Los reglamentos acerca de hidrantes establecen que la presión mínima de servicio tiene que ser de 10 m.c.a mientras el transcurso del incendio. Tras lanzar la simulación se ha obtenido un total de 37,15 m.c.a, cumpliendo el límite mínimo.

### 7.3.- DESARROLLOS FUTUROS

Tras la realización del presente TFG se plantean los siguientes trabajos futuros como continuación del realizado:

- Estudio de la red de abastecimiento de otros municipios.
- Estudio del comportamiento de la red de abastecimiento cuando se emplean bombas diferentes en paralelo.
- Dimensionamiento de redes reales de regadío en periodo extendido.



## **CAPÍTULO 8**

---

### **Bibliografía**





## 8.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ley Foral 18/2016, de 13 de diciembre, de regulación del Plan de Inversiones Locales 2017-2019. RCL 2016/12489.
- [2] Servicio de Comunicación (Universidad Pública de Navarra), “Conocer la Universidad Pública de Navarra”, *UPNA*, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.unavarra.es/conocerlauniversidad/presentacion>. [Accedido: 5-abr-2017]
- [3] “El Rector”, *UPNA*, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.unavarra.es/conocerlauniversidad/organos-de-gobierno/generales/el-rector>. [Accedido: 10-jun-2017]
- [4] “Bolonia en Secundaria, damos respuesta a tus dudas”, *Ministerio de Educación, Cultura y Deporte*, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.educacion.gob.es/boloniaensecundaria/09-damos-respuesta.htm>. [Accedido: 25-abr-2017]
- [5] I. P. Chávarri, “Qué es el Plan Bolonia”, *El País*, 2010. [En línea]. Disponible en: [http://elpais.com/diario/2010/09/19/paisvasco/1284925215\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2010/09/19/paisvasco/1284925215_850215.html). [Accedido: 25-abr-2017]
- [6] C. Mataix, *Mecánica de Fluidos y Máquinas hidráulicas*. Madrid, España: Ediciones del Castillo, S. A., 1982.
- [7] “Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales”, *UPNA*, 1987. [En línea]. Disponible en: <https://www.unavarra.es/dep-mecanicaenergeticaymateriales/>. [Accedido en 10-jun-2017]
- [8] “El Gobierno financia con 1,5 millones la futura estación de tratamiento de agua potable de La Pedrera en Tafalla”, Navarra, 2014. [En línea]. Disponible en: [http://www.navarra.es/home\\_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2014/12/09/estacion+tratamiento+agua+potable+la+pedrera+mairaga+tafalla.htm](http://www.navarra.es/home_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2014/12/09/estacion+tratamiento+agua+potable+la+pedrera+mairaga+tafalla.htm). [Accedido: 1-abr-2017]
- [9] “Veintiséis entidades de la Zona Media de Navarra aseguran su suministro de agua”, *Navarra*, 2008. [En línea]. Disponible en:

- [http://www.navarra.es/home\\_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2008/08/12/120808al10.htm](http://www.navarra.es/home_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2008/08/12/120808al10.htm). [Accedido: 26-mar-2017]
- [10] “El vicepresidente Jiménez presenta a la Mancomunidad de Mairaga las soluciones adoptadas para su abastecimiento”, *Navarra*, 2012. [En línea]. Disponible en: [https://www.navarra.es/home\\_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2012/03/16/soluciones+abastecimiento+Mancomunidad+Mairaga+Canal+Navarra.htm](https://www.navarra.es/home_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2012/03/16/soluciones+abastecimiento+Mancomunidad+Mairaga+Canal+Navarra.htm). [Accedido: 10-abr-2017]
- [11] L. Unzué Indurain, “Nuevos regadíos del Canal de Navarra. Ampliación de la primera fase”, *Navarra*, 2017. Disponible en: [https://www.navarra.es/home\\_es/especial/CanaldeNavarra/Itoiz+Canal+de+Navarra.htm](https://www.navarra.es/home_es/especial/CanaldeNavarra/Itoiz+Canal+de+Navarra.htm). [Accedido: 3-abr-2017]
- [12] “Beire, Navarra”, *Beire*, 2017. Disponible en: <http://www.beire.es/>. [Accedido: 27-mar-2017]
- [13] José Pastor Torín, “¿Qué es Epanet?”, 20-sep-2011. [Entrada del blog]. Disponible en: <http://optimizaciondeprocesostorin.blogspot.com.es/2011/09/que-es-epanet.html>. [Accedido: 23-may-2017]
- [14] *Epanet 2, Manual de Usuario*. United States: Environmental Protection Agency, 2017.
- [15] Territorial Information System of Navarre, SITNA, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://sitna.navarra.es/navegar/>. [Accedido: 20-feb-2017]
- [16] J. Agüera Soriano, *Mecánica de Fluidos Incompresibles y turbomáquinas hidráulicas*. Córdoba, España: Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba, 2002.
- [17] Catalog No. Curvas Características, KSB, Frankenthal, DE.
- [18] “Las válvulas reguladoras y su funcionamiento”, *Quiminet*, 2012. [En línea]. Disponible en : <https://www.quiminet.com/articulos/las-valvulas-reguladoras-y-su-funcionamiento-2717586.htm> [Accedido: 5-jun-2017]
- [19] Real Decreto 2177/1996, de 4 de octubre, por el que se aprobó la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI/96. RCL 1996/23836.

- 
- [20] Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. RCL 1993/29581.
- [22] M. M. García Alcaraz, “Modelización y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas”, Trabajo Fin de grado, Univ. Pol. Cartagena, 2006.



# **ANEXOS**

---

**ANEXO I: Demandas bases y patrones**

**ANEXO II: Tablas de los patrones**

**ANEXO III: Características bombas etabloc**

## **ANEXO I: DEMANDAS BASE Y PATRONES**

Demandas base:

<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>l/s</b>	
Vivienda unifamiliar	0,010879630	
Vivienda multifamiliar	0,020833333	
Hospitales y clínicas	0,00462963	Por cama
Residencias (ancianos, estudiantes)	0,00462963	Por cama
Vestuarios/duchas colectivas	0,001157407	
Escuelas	0,000289352	Por alumnos
Fábricas y talleres, almacenes, bodega	0,001157407	
Oficinas	0,002893519	Por persona
Cafeterías	0,000115741	Por cliente
Restaurantes/Comedor	0,000462963	Por comensal
Jardines	$8,10185 \cdot 10^{-5}$	Por metro cuadrado
Piscina	$2,31481 \cdot 10^{-5}$	Por metro cuadrado
Nave industrial	0,023148148	
Locales industriales	0,011574074	
Establos	0,027777778	
Locales comerciales	0,010000000	
Iglesia	0,010000000	

**Tabla A.I.1.** Demandas base

Demandas base aplicadas a cada edificación separadas por calles:

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>BOYERAL (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
2	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10
3	Unifamiliar Taller Multifamiliar	0,0329	10
4	Unifamiliar	0,0109	6
5	Dos unifamiliares Dos multifamiliares	0,0634	6
6	Unifamiliar Taller	0,0120	10

7	Unifamiliar Taller	0,0120	10
8	Multifamiliar Unifamiliar	0,0317	6
9	Unifamiliar Taller	0,0120	10
10	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
11	Unifamiliar Dos talleres Piscina (48 m <sup>2</sup> )	0,0143	10
13	Multifamiliar Unifamiliar	0,0317	6
17	Taller Oficinas (20 pers.) Locales Industriales Nave Industrial	0,0938	10

**Tabla A.I.2.** Calle Boyeral demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>CARRERA DE ARAGÓN (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Cinco talleres	0,1655	10
2	Unifamiliar Taller	0,0120	10
S/N	Taller	0,0012	3
4	Escuela (100 pers.) Taller Multifamiliar Unifamiliar	0,0618	10
6	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
8	Unifamiliar Dos talleres Dos cafeterías (30 pers.)	0,0201	10
10	Unifamiliar Dos talleres Jardines (414 m <sup>2</sup> )	0,0467	10

12	Vestuarios Comedor (100 pers.) Locales comerciales Hospital (15 pers.)	0,1431	10
16	Escuela (100 pers.)	0,0289	2
3	Unifamiliar Dos talleres Multifamiliar	0,0340	10
5	Dos talleres Unifamiliar	0,0132	10
7	Dos talleres Unifamiliar	0,0132	10
13	Locales Industriales Tres talleres Oficinas (10 pers.) Multifamiliar	0,0648	10
17	Cafetería (30 pers.)	0,0035	1
19	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10

**Tabla A.I.3.** Calle Carrera de Aragón demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>PITILLAS (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Unifamiliar Taller	0,0120	10
3	Unifamiliar	0,0109	6
5	Multifamiliar Jardines (13 m <sup>2</sup> ) Piscina (39 m <sup>2</sup> )	0,0128	10
7	Unifamiliar Jardines (13 m <sup>2</sup> )	0,0119	10
9	Unifamiliar Taller	0,0120	10
11	Unifamiliar	0,0109	6
13	Unifamiliar Jardines (15 m <sup>2</sup> )	0,0121	10



15	Unifamiliar Jardines (15 m <sup>2</sup> )	0,0121	10
4	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10

**Tabla A.I.4.** Calle Pitillas demandas base

Nº PARCELA	TIPO DE CONSUMO	PESO (l/s)	PATRONES
2	Taller Multifamiliar Unifamiliar	0,0329	10

**Tabla A.I.5.** Calle Peso demandas base

Nº PARCELA	TIPO DE CONSUMO	EL PRADO (l/s)	PATRONES
2	Jardines (3283 m <sup>2</sup> )	0,2660	7
4	Multifamiliar Unifamiliar	0,0317	6

**Tabla A.I.6.** Calle El Prado demandas base

Nº PARCELA	TIPO DE CONSUMO	SAN MILLAN (l/s)	PATRONES
1	Unifamiliar	0,0109	6
2	Multifamiliar Unifamiliar	0,0317	6
3	Taller Multifamiliar Unifamiliar	0,0329	10
4	Unifamiliar Taller	0,0120	10
5	Multifamiliar Unifamiliar	0,0317	6
7	Multifamiliar Unifamiliar	0,0317	6
8	Dos unifamiliares Dos talleres	0,0241	10
9	Multifamiliar Unifamiliar	0,0317	6
10	Taller Multifamiliar Unifamiliar	0,0329	10

11	Multifamiliar Unifamiliar	0,0317	6
12	Unifamiliar Taller Jardines (60 m <sup>2</sup> ) Piscina (16 m <sup>2</sup> )	0,0173	10
14	Escuela (50 pers.)	0,0145	2

**Tabla A.I.7.** Calle San Millan demandas base

Nº PARCELA	TIPO DE CONSUMO	LA RUEDA (l/s)	PATRONES
2	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10

**Tabla A.I.8.** Calle La Rueda demandas base

Nº PARCELA	TIPO DE CONSUMO	LA SERNA (l/s)	PATRONES
1	Unifamiliar Taller	0,0120	10
2	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
4	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10
5	Unifamiliar Taller	0,0120	10
6	Unifamiliar Taller	0,0120	10
7	Unifamiliar Taller	0,0120	10
9	Unifamiliar Taller	0,0120	10
10	Unifamiliar Taller	0,0120	10
11	Unifamiliar Taller Jardines (63,22 m <sup>2</sup> )	0,0172	10
12	Unifamiliar Taller Jardines (61,46 m <sup>2</sup> )	0,0170	10
13	Unifamiliar Taller Jardines (55,13 m <sup>2</sup> )	0,0165	10

14	Unifamiliar Taller Jardines (10,41 m <sup>2</sup> )	0,0129	10
----	---	--------	----

**Tabla A.I.9.** Calle La Serna demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>ZAFRANALES (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Dos talleres Dos unifamiliares	0,0241	10
2	Unifamiliar Tres talleres Multifamiliar	0,0352	10
3	Taller Unifamiliar	0,0120	10
5	Cafetería (30 pers.)	0,0035	1
9	Unifamiliar Dos talleres Multifamiliar	0,0340	10
11	Taller Unifamiliar	0,0120	10
13	Taller Unifamiliar	0,0120	10
19	Multifamiliar Taller Unifamiliar Establo	0,0606	10
21	Multifamiliar Taller Unifamiliar	0,0329	10

**Tabla A.I.10.** Calle Zafranales demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>CARDETE (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
S/N	Establos	0,0278	5
1	Unifamiliar Tres talleres	0,0144	10
2	Cafetería (30 pers.)	0,0035	1
5	Unifamiliar Taller	0,0120	10
11	Unifamiliar	0,0109	6

13	Multifamiliar Unifamiliar	0,0317	6
final	Nave Industrial Taller Oficinas (20 pers.) Locales Industriales	0,0938	10

**Tabla A.I.11.** Calle Cardete demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>LAVANDERA (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10
13	Establos	0,0278	5
huertas	Jardines (10000 m <sup>2</sup> )	0,8102	9

**Tabla A.I.12.** Calle Lavandera demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>CENTRO (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
2	Unifamiliar Taller	0,0120	10
3	Unifamiliar	0,0109	6

**Tabla A.I.13.** Calle Centro demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>CIERZO (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
4	Unifamiliar	0,0109	6
3	Unifamiliar Taller	0,0120	10
1	Unifamiliar Taller	0,0120	10

**Tabla A.I.14.** Calle Cierzo demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>CORDON (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Unifamiliar Taller	0,0120	10

**Tabla A.I.15.** Calle Cordon demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>CORTA (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10

2	Unifamiliar	0,0109	6
3	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
4	Unifamiliar	0,0109	6

**Tabla A.I.16.** Calle Corta demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>FONTANA (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10
3	Unifamiliar	0,0109	6
5	Unifamiliar	0,0109	6
7	Unifamiliar	0,0109	6
13	Unifamiliar	0,0109	6
14	Taller Unifamiliar	0,0120	10
16	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
20	Unifamiliar Tres talleres	0,0144	10

**Tabla A.I.17.** Calle Fontana demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>SANTA CATALINA (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Unifamiliar	0,0109	6
5	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
7	Taller Unifamiliar	0,0120	10
9	Multifamiliar Unifamiliar Taller	0,0329	10
11	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10

**Tabla A.I.18.** Calle Santa Catalina demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>ILAGARES (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10
2	Dos unifamiliares Tres talleres	0,0252	10
4	Unifamiliar	0,0109	6
5	Unifamiliar	0,0109	6
10	Taller Unifamiliar	0,0120	10
11	Tres unifamiliares Dos talleres	0,0350	10

**Tabla A.I.19.** Calle Ilagares demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>BLANCA (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
3	Unifamiliar Taller	0,0120	10
5	Unifamiliar Taller	0,0120	10
7	Unifamiliar Taller	0,0120	10

**Tabla A.I.20.** Calle Blanca demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>ERAS (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Unifamiliar Taller Locales Industriales	0,0236	10
2	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
6	Unifamiliar Cuatro talleres Jardines (275,8 m <sup>2</sup> ) Piscina (31,6 m <sup>2</sup> )	0,0386	10
7	Unifamiliar	0,0109	6
7A	Unifamiliar Taller Jardines (374,3 m <sup>2</sup> )	0,0424	10

**Tabla A.I.21.** Calle Eras demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>LAZARO GALDIANO (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
3	Unifamiliar Taller	0,0120	10
5	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10
6	Unifamiliar Tres talleres Multifamiliar Jardines (140 m <sup>2</sup> ) Piscina (33 m <sup>2</sup> )	0,0473	10

**Tabla A.I.22.** Calle Lazaro Galdiano demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>VICTORIANO FLAMARIQUE (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
3	Unifamiliar Taller	0,0120	10
4	Iglesia Escuelas (100 pers.)	0,0389	2

**Tabla A.I.23.** Calle Victoriano Flamarique demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>AYUNTAMIENTO (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Escuelas (100 pers.)	0,0289	2
2	Dos unifamiliares Jardines (118,9 m <sup>2</sup> )	0,0314	10
4	Cuatro unifamiliares	0,0435	6

**Tabla A.I.24.** Calle Ayuntamiento demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>DISEMINADO (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
s-p	Veinte talleres Dos oficinas (10 pers.)	0,0810	10
obras	Unifamiliar Multifamiliar Cinco establos Taller	0,1926	10

**Tabla A.I.25.** Calle Diseminado demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>MAIRAGA (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Taller Unifamiliar Jardines (32,58 m <sup>2</sup> )	0,0147	10
3	Taller Unifamiliar Jardines (11,24 m <sup>2</sup> )	0,0129	10
5	Taller Unifamiliar Jardines (142,95 m <sup>2</sup> )	0,0236	10
7	Taller Unifamiliar Jardines (144,79 m <sup>2</sup> )	0,0238	10
9	Taller Unifamiliar Jardines (144,3 m <sup>2</sup> )	0,0237	10
11	Taller Unifamiliar Jardines (152,88 m <sup>2</sup> )	0,0244	10
13	Taller Unifamiliar Jardines (27,56 m <sup>2</sup> )	0,0143	10
15	Taller Unifamiliar Jardines (27,36 m <sup>2</sup> )	0,0143	10
17	Taller Unifamiliar Jardines (42,69 m <sup>2</sup> )	0,0155	10
19	Taller Unifamiliar Jardines (13,66 m <sup>2</sup> )	0,0131	10
21	Taller Unifamiliar Jardines (79,53 m <sup>2</sup> )	0,0185	10
23	Taller Unifamiliar Jardines (76,94 m <sup>2</sup> )	0,0183	10



25	Taller Unifamiliar Jardines (73,93 m <sup>2</sup> )	0,0180	10
regadio	Jardines (974,51 m <sup>2</sup> )	0,0790	7

**Tabla A.I.26.** Calle Mairaga demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>MAYOR (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Tres unifamiliares Taller Jardines (156 m <sup>2</sup> )	0,0464	10
2	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
6	Multifamiliar	0,0208	6
8	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
9	Unifamiliar Taller	0,0120	10
11	Unifamiliar Taller	0,0120	10
13	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10
16	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10

**Tabla A.I.27.** Calle Mayor demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>NAVA (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Dos talleres	0,0023	3
2	Unifamiliar Taller	0,0120	10
5	Unifamiliar Taller	0,0120	10
7	Taller	0,0012	3

13	Unifamiliar	0,0109	6
19	Unifamiliar Taller Multifamiliar Piscina (45 m <sup>2</sup> )	0,0339	10
pastos	Jardines (5381,47 m <sup>2</sup> )	0,4360	7

**Tabla A.I.28.** Calle Nava demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>NORTE (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
2	Unifamiliar Tres talleres	0,0144	10
3	Unifamiliar Taller	0,0120	10
4	Unifamiliar	0,0109	6
6	Unifamiliar	0,0109	6
8	Unifamiliar	0,0109	6
10	Cafetería (30 pers.)	0,0035	1

**Tabla A.I.29.** Calle Norte demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>NUEVA (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Unifamiliar Taller	0,0120	10
2	Unifamiliar Dos talleres Multifamiliar	0,0340	10
3	Unifamiliar Taller	0,0120	10
5	Unifamiliar Taller	0,0120	10
6	Taller Multifamiliar	0,0220	10
7	Unifamiliar	0,0109	6
8	Unifamiliar Tres talleres Multifamiliar	0,0352	10
9	Unifamiliar Cuatro talleres	0,0155	10

10	Taller	0,0012	3
11	Unifamiliar Taller	0,0120	10
13	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
14	Taller	0,0012	3
15	Unifamiliar Taller	0,0120	10
17	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
18	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10
19	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10
20	Unifamiliar Taller	0,0120	10
21	Unifamiliar Jardines (144 m <sup>2</sup> )	0,0225	10
22	Unifamiliar	0,0109	6

**Tabla A.I.30.** Calle Nueva demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>SAN FRANCISCO (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10

**Tabla A.I.31.** Calle San Francisco demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>SUR (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
1	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
3	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
5	Dos unifamiliares Taller	0,0229	10
7	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10

**Tabla A.I.32.** Calle Sur demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>UJUÉ (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
2	Unifamiliar Dos talleres	0,0132	10
3	Multifamiliar Taller Unifamiliar	0,0329	10
5	Dos talleres	0,0023	3
6	Unifamiliar Tres talleres	0,0144	10
7	Taller	0,0012	3
8	Taller Unifamiliar	0,0120	10
9	Unifamiliar	0,0109	6
13	Taller Unifamiliar	0,0120	10
15	Unifamiliar Dos talleres Multifamiliar	0,0340	10
17	Unifamiliar	0,0109	6
19	Unifamiliar	0,0109	6

**Tabla A.I.33.** Calle Ujué demandas base

<b>Nº PARCELA</b>	<b>TIPO DE CONSUMO</b>	<b>PASTOS (l/s)</b>	<b>PATRONES</b>
-	Jardines (1000 m <sup>2</sup> )	0,0810	7

**Tabla A.I.34.** Calle Pastos demandas base

## **ANEXO II: TABLAS DE LOS PATRONES**

### **1- AC COMERCIAL**

<b>Periodo</b>	<b>Coficiente</b>	<b>Periodo</b>	<b>Coficiente</b>	<b>Periodo</b>	<b>Coficiente</b>	<b>Periodo</b>	<b>Coficiente</b>
1	0.000000	43	2.400000	85	2.400000	127	0.000000
2	0.000000	44	2.400000	86	2.400000	128	0.000000
3	0.000000	45	0.000000	87	2.400000	129	0.000000
4	0.000000	46	0.000000	88	2.400000	130	0.000000
5	0.000000	47	0.000000	89	2.400000	131	0.000000
6	0.000000	48	0.000000	90	2.400000	132	0.000000
7	0.000000	49	0.000000	91	2.400000	133	0.000000
8	0.000000	50	0.000000	92	2.400000	134	0.000000
9	0.000000	51	0.000000	93	2.400000	135	0.000000
10	0.000000	52	0.000000	94	0.000000	136	0.000000
11	2.400000	53	0.000000	95	0.000000	137	0.000000
12	2.400000	54	0.000000	96	0.000000	138	0.000000
13	2.400000	55	0.000000	97	0.000000	139	0.000000
14	2.400000	56	0.000000	98	0.000000	140	0.000000
15	2.400000	57	0.000000	99	0.000000	141	0.000000
16	2.400000	58	0.000000	10	0.000000	142	0.000000
17	2.400000	59	2.400000	101	0.000000	143	0.000000
18	2.400000	60	2.400000	102	0.000000	144	0.000000
19	2.400000	61	2.400000	103	0.000000	145	0.000000
20	2.400000	62	2.400000	104	0.000000	146	0.000000
21	0.000000	63	2.400000	105	0.000000	147	0.000000
22	0.000000	64	2.400000	106	0.000000	148	0.000000
23	0.000000	65	2.400000	107	0.000000	149	0.000000
24	0.000000	66	2.400000	108	0.000000	150	0.000000
25	0.000000	67	2.400000	109	0.000000	151	0.000000
26	0.000000	68	2.400000	110	0.000000	152	0.000000
27	0.000000	69	0.000000	111	0.000000	153	0.000000
28	0.000000	70	0.000000	112	0.000000	154	0.000000
29	0.000000	71	0.000000	113	0.000000	155	0.000000
30	0.000000	72	0.000000	114	0.000000	156	0.000000
31	0.000000	73	0.000000	115	0.000000	157	2.400000
32	0.000000	74	0.000000	116	0.000000	158	2.400000
33	0.000000	75	0.000000	117	0.000000	159	2.400000
34	0.000000	76	0.000000	118	0.000000	160	2.400000
35	2.400000	77	0.000000	119	0.000000	162	2.400000
36	2.400000	78	0.000000	120	0.000000	163	2.400000
37	2.400000	79	0.000000	121	0.000000	164	2.400000
38	2.400000	80	0.000000	122	0.000000	165	2.400000
39	2.400000	81	0.000000	123	0.000000	166	2.400000
40	2.400000	82	0.000000	124	0.000000	167	0.000000
41	2.400000	83	0.000000	125	0.000000	168	0.000000
42	2.400000	84	2.400000	126	0.000000	169	0.000000

**Tabla A.II.1.** Patrón AC comercial

## 2- DOTACIÓN INSTITUCIONAL

Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente
1	0.000000	43	1.000000	85	2.000000	127	0.850000
2	0.000000	44	1.000000	86	2.000000	128	0.850000
3	0.000000	45	1.000000	87	2.000000	129	0.850000
4	0.000000	46	1.000000	88	2.000000	130	0.850000
5	0.000000	47	0.000000	89	2.000000	131	1.700000
6	0.000000	48	0.000000	90	2.000000	132	1.700000
7	1.000000	49	0.000000	91	1.000000	133	1.700000
8	1.000000	50	0.000000	92	1.000000	134	1.700000
9	1.000000	51	0.000000	93	1.000000	135	1.700000
10	1.000000	52	0.000000	94	1.000000	136	1.700000
11	2.000000	53	0.000000	95	0.000000	137	1.700000
12	2.000000	54	0.000000	96	0.000000	138	1.700000
13	2.000000	55	1.000000	97	0.000000	139	0.850000
14	2.000000	56	1.000000	98	0.000000	140	0.850000
15	2.000000	57	1.000000	99	0.000000	141	0.850000
16	2.000000	58	1.000000	100	0.000000	142	0.850000
17	2.000000	59	2.000000	101	0.000000	143	0.000000
18	2.000000	60	2.000000	102	0.000000	144	0.000000
19	1.000000	61	2.000000	103	0.850000	145	0.000000
20	1.000000	62	2.000000	104	0.850000	146	0.000000
21	1.000000	63	2.000000	105	0.850000	147	0.000000
22	1.000000	64	2.000000	106	0.850000	148	0.000000
23	0.000000	65	2.000000	107	1.700000	149	0.000000
24	0.000000	66	2.000000	108	1.700000	150	0.000000
25	0.000000	67	1.000000	109	1.700000	151	1.000000
26	0.000000	68	1.000000	110	1.700000	152	1.000000
27	0.000000	69	1.000000	111	1.700000	153	1.000000
28	0.000000	70	1.000000	112	1.700000	154	1.000000
29	0.000000	71	0.000000	113	1.700000	155	2.000000
30	0.000000	72	0.000000	114	1.700000	156	2.000000
31	1.000000	73	0.000000	115	0.850000	157	2.000000
32	1.000000	74	0.000000	116	0.850000	158	2.000000
33	1.000000	75	0.000000	117	0.850000	159	2.000000
34	1.000000	76	0.000000	118	0.850000	160	2.000000
35	2.000000	77	0.000000	119	0.000000	162	2.000000
36	2.000000	78	0.000000	120	0.000000	163	1.000000
37	2.000000	79	1.000000	121	0.000000	164	1.000000
38	2.000000	80	1.000000	122	0.000000	165	1.000000
39	2.000000	81	1.000000	123	0.000000	166	1.000000
40	2.000000	82	1.000000	124	0.000000	167	0.000000
41	2.000000	83	2.000000	125	0.000000	168	0.000000
42	2.000000	84	2.000000	126	0.000000		

**Tabla A.II.2.** Patrón Dotación Institucional

### 3- INDUSTRIAL

Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente
1	0.810000	43	0.990000	85	1.190000	127	0.590000
2	0.840000	44	0.900000	86	1.040000	128	0.460000
3	0.850000	45	0.870000	87	1.180000	129	0.460000
4	0.780000	46	0.900000	88	1.230000	130	0.510000
5	0.780000	47	0.840000	89	1.090000	131	0.560000
6	0.920000	48	0.980000	90	0.990000	132	0.570000
7	0.920000	49	0.810000	91	0.900000	133	0.590000
8	1.060000	50	0.840000	92	0.870000	134	0.530000
9	1.130000	51	0.850000	93	0.900000	135	0.520000
10	1.070000	52	0.780000	94	0.840000	136	0.460000
11	1.160000	53	0.780000	95	0.980000	137	0.450000
12	1.190000	54	0.920000	96	1.690000	138	0.440000
13	1.290000	55	0.920000	97	1.670000	139	0.470000
14	1.190000	56	1.060000	98	1.500000	140	0.520000
15	1.040000	57	1.130000	99	1.440000	141	0.820000
16	1.180000	58	1.070000	10	1.500000	142	0.930000
17	1.230000	59	1.160000	101	1.420000	143	1.200000
18	1.090000	60	1.190000	102	1.090000	144	0.810000
19	0.990000	61	1.290000	103	0.590000	145	0.840000
20	0.900000	62	1.190000	104	0.460000	146	0.850000
21	0.870000	63	1.040000	105	0.460000	147	0.780000
22	0.900000	64	1.180000	106	0.510000	148	0.780000
23	0.840000	65	1.230000	107	0.560000	149	0.920000
24	0.980000	66	1.090000	108	0.570000	150	0.920000
25	0.810000	67	0.990000	109	0.590000	151	1.060000
26	0.840000	68	0.900000	110	0.530000	152	1.130000
27	0.850000	69	0.870000	111	0.520000	153	1.070000
28	0.780000	70	0.900000	112	0.460000	154	1.160000
29	0.780000	71	0.840000	113	0.450000	155	1.190000
30	0.920000	72	0.980000	114	0.440000	156	1.290000
31	0.920000	73	0.810000	115	0.470000	157	1.190000
32	1.060000	74	0.840000	116	0.520000	158	1.040000
33	1.130000	75	0.850000	117	0.820000	159	1.180000
34	1.070000	76	0.780000	118	0.930000	160	1.230000
35	1.160000	77	0.780000	119	1.200000	162	1.090000
36	1.190000	78	0.920000	120	1.690000	163	0.990000
37	1.290000	79	0.920000	121	1.670000	164	0.900000
38	1.190000	80	1.060000	122	1.500000	165	0.870000
39	1.040000	81	1.070000	123	1.440000	166	0.900000
40	1.180000	82	1.160000	124	1.500000	167	0.840000
41	1.230000	83	1.190000	125	1.420000	168	0.980000
42	1.090000	84	1.290000	126	1.090000	169	1.000000

**Tabla A.II.3. Patrón Industrial**

#### 4- GRANJAS

Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente
1	0.880000	43	0.860000	85	0.900000	127	0.720000
2	0.860000	44	1.290000	86	0.670000	128	0.750000
3	0.840000	45	1.850000	87	0.690000	129	1.260000
4	0.830000	46	1.930000	88	0.630000	130	1.210000
5	0.770000	47	1.780000	89	0.520000	131	1.060000
6	0.640000	48	1.500000	90	0.600000	132	0.990000
7	0.670000	49	0.880000	91	0.860000	133	0.910000
8	1.030000	50	0.860000	92	1.290000	134	0.960000
9	1.230000	51	0.840000	93	1.850000	135	1.050000
10	1.090000	52	0.830000	94	1.930000	136	0.630000
11	1.050000	53	0.770000	95	1.780000	137	0.610000
12	0.890000	54	0.640000	96	1.500000	138	0.540000
13	0.900000	55	0.670000	97	1.100000	139	0.530000
14	0.670000	56	1.030000	98	1.030000	140	0.460000
15	0.690000	57	1.230000	99	0.940000	141	0.550000
16	0.630000	58	1.090000	10	0.890000	142	0.690000
17	0.520000	59	1.050000	101	0.890000	143	0.930000
18	0.600000	60	0.890000	102	0.780000	144	0.920000
19	0.860000	61	0.900000	103	0.720000	145	0.880000
20	1.290000	62	0.670000	104	0.750000	146	0.860000
21	1.850000	63	0.690000	105	1.260000	147	0.840000
22	1.930000	64	0.630000	106	1.210000	148	0.830000
23	1.780000	65	0.520000	107	1.060000	149	0.770000
24	1.500000	66	0.600000	108	0.990000	150	0.640000
25	0.880000	67	0.860000	109	0.910000	151	0.670000
26	0.860000	68	1.290000	110	0.960000	152	1.030000
27	0.840000	69	1.850000	111	1.050000	153	1.230000
28	0.830000	70	1.930000	112	0.630000	154	1.090000
29	0.770000	71	1.780000	113	0.610000	155	1.050000
30	0.640000	72	1.500000	114	0.540000	156	0.890000
31	0.670000	73	0.880000	115	0.530000	157	0.900000
32	1.030000	74	0.860000	116	0.460000	158	0.670000
33	1.230000	75	0.840000	117	0.550000	159	0.690000
34	1.090000	76	0.830000	118	0.690000	160	0.630000
35	1.050000	77	0.770000	119	0.930000	162	0.520000
36	0.890000	78	0.640000	120	0.920000	163	0.600000
37	0.900000	79	0.670000	121	1.100000	164	0.860000
38	0.670000	80	1.030000	122	1.030000	165	1.290000
39	0.690000	81	1.230000	123	0.940000	166	1.850000
40	0.630000	82	1.090000	124	0.890000	167	1.930000
41	0.520000	83	1.050000	125	0.890000	168	1.780000
42	0.600000	84	0.890000	126	0.780000	169	1.500000

**Tabla A.II.4.** Patrón Granjas



## 5- VIVIENDAS

Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente
1	0.880000	43	0.860000	85	0.900000	127	0.720000
2	0.860000	44	1.290000	86	0.670000	128	0.750000
3	0.840000	45	1.850000	87	0.690000	129	1.260000
4	0.830000	46	1.930000	88	0.630000	130	1.210000
5	0.770000	47	1.780000	89	0.520000	131	1.060000
6	0.640000	48	1.500000	90	0.600000	132	0.990000
7	0.670000	49	0.880000	91	0.860000	133	0.910000
8	1.030000	50	0.860000	92	1.290000	134	0.960000
9	1.230000	51	0.840000	93	1.850000	135	1.050000
10	1.090000	52	0.830000	94	1.930000	136	0.630000
11	1.050000	53	0.770000	95	1.780000	137	0.610000
12	0.890000	54	0.640000	96	1.500000	138	0.540000
13	0.900000	55	0.670000	97	1.100000	139	0.530000
14	0.670000	56	1.030000	98	1.030000	140	0.460000
15	0.690000	57	1.230000	99	0.940000	141	0.550000
16	0.630000	58	1.090000	10	0.890000	142	0.690000
17	0.520000	59	1.050000	101	0.890000	143	0.930000
18	0.600000	60	0.890000	102	0.780000	144	0.920000
19	0.860000	61	0.900000	103	0.720000	145	0.880000
20	1.290000	62	0.670000	104	0.750000	146	0.860000
21	1.850000	63	0.690000	105	1.260000	147	0.840000
22	1.930000	64	0.630000	106	1.210000	148	0.830000
23	1.780000	65	0.520000	107	1.060000	149	0.770000
24	1.500000	66	0.600000	108	0.990000	150	0.640000
25	0.880000	67	0.860000	109	0.910000	151	0.670000
26	0.860000	68	1.290000	110	0.960000	152	1.030000
27	0.840000	69	1.850000	111	1.050000	153	1.230000
28	0.830000	70	1.930000	112	0.630000	154	1.090000
29	0.770000	71	1.780000	113	0.610000	155	1.050000
30	0.640000	72	1.500000	114	0.540000	156	0.890000
31	0.670000	73	0.880000	115	0.530000	157	0.900000
32	1.030000	74	0.860000	116	0.460000	158	0.670000
33	1.230000	75	0.840000	117	0.550000	159	0.690000
34	1.090000	76	0.830000	118	0.690000	160	0.630000
35	1.050000	77	0.770000	119	0.930000	162	0.520000
36	0.890000	78	0.640000	120	0.920000	163	0.600000
37	0.900000	79	0.670000	121	1.100000	164	0.860000
38	0.670000	80	1.030000	122	1.030000	165	1.290000
39	0.690000	81	1.230000	123	0.940000	166	1.850000
40	0.630000	82	1.090000	124	0.890000	167	1.930000
41	0.520000	83	1.050000	125	0.890000	168	1.780000
42	0.600000	84	0.890000	126	0.780000	169	1.500000

Tabla A.II.5. Patrón Viviendas

6- RIEGO

Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente
1	0.000000	43	0.000000	85	6.000000	127	0.000000
2	0.000000	44	0.000000	86	0.000000	128	0.000000
3	0.000000	45	0.000000	87	0.000000	129	0.000000
4	0.000000	46	0.000000	88	6.000000	130	0.000000
5	0.000000	47	0.000000	89	6.000000	131	0.000000
6	0.000000	48	0.000000	90	0.000000	132	5.100000
7	0.000000	49	0.000000	91	0.000000	133	5.100000
8	0.000000	50	0.000000	92	0.000000	134	0.000000
9	0.000000	51	0.000000	93	0.000000	135	0.000000
10	0.000000	52	0.000000	94	0.000000	136	5.100000
11	0.000000	53	0.000000	95	0.000000	137	5.100000
12	6.000000	54	0.000000	96	0.000000	138	0.000000
13	6.000000	55	0.000000	97	0.000000	139	0.000000
14	0.000000	56	0.000000	98	0.000000	140	0.000000
15	0.000000	57	0.000000	99	0.000000	141	0.000000
16	6.000000	58	0.000000	10	0.000000	142	0.000000
17	6.000000	59	0.000000	101	0.000000	143	0.000000
18	0.000000	60	6.000000	102	0.000000	144	0.000000
19	0.000000	61	6.000000	103	0.000000	145	0.000000
20	0.000000	62	0.000000	104	0.000000	146	0.000000
21	0.000000	63	0.000000	105	0.000000	147	0.000000
22	0.000000	64	6.000000	106	0.000000	148	0.000000
23	0.000000	65	6.000000	107	0.000000	149	0.000000
24	0.000000	66	0.000000	108	5.100000	150	0.000000
25	0.000000	67	0.000000	109	5.100000	151	0.000000
26	0.000000	68	0.000000	110	0.000000	152	0.000000
27	0.000000	69	0.000000	111	0.000000	153	0.000000
28	0.000000	70	0.000000	112	5.100000	154	0.000000
29	0.000000	71	0.000000	113	5.100000	155	0.000000
30	0.000000	72	0.000000	114	0.000000	156	6.000000
31	0.000000	73	0.000000	115	0.000000	157	6.000000
32	0.000000	74	0.000000	116	0.000000	158	0.000000
33	0.000000	75	0.000000	117	0.000000	159	0.000000
34	0.000000	76	0.000000	118	0.000000	160	6.000000
35	0.000000	77	0.000000	119	0.000000	162	6.000000
36	6.000000	78	0.000000	120	0.000000	163	0.000000
37	6.000000	79	0.000000	121	0.000000	164	0.000000
38	0.000000	80	0.000000	122	0.000000	165	0.000000
39	0.000000	81	0.000000	123	0.000000	166	0.000000
40	6.000000	82	0.000000	124	0.000000	167	0.000000
41	6.000000	83	0.000000	125	0.000000	168	0.000000
42	0.000000	84	6.000000	126	0.000000	169	0.000000

Tabla A.II.6. Patrón Riego

## 7- RIEGO HUERTAS

Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente
1	2.000000	43	0.000000	85	0.000000	127	1.700000
2	2.000000	44	0.000000	86	0.000000	128	1.700000
3	2.000000	45	2.000000	87	0.000000	129	1.700000
4	2.000000	46	2.000000	88	0.000000	130	0.000000
5	2.000000	47	2.000000	89	0.000000	131	0.000000
6	2.000000	48	2.000000	90	0.000000	132	0.000000
7	2.000000	49	2.000000	91	0.000000	133	0.000000
8	2.000000	50	2.000000	92	0.000000	134	0.000000
9	0.000000	51	2.000000	93	2.000000	135	0.000000
10	0.000000	52	2.000000	94	2.000000	136	0.000000
11	0.000000	53	2.000000	95	2.000000	137	0.000000
12	0.000000	54	2.000000	96	2.000000	138	0.000000
13	0.000000	55	2.000000	97	1.700000	139	0.000000
14	0.000000	56	2.000000	98	1.700000	140	0.000000
15	0.000000	57	0.000000	99	1.700000	141	0.000000
16	0.000000	58	0.000000	10	1.700000	142	1.700000
17	0.000000	59	0.000000	101	1.700000	143	1.700000
18	0.000000	60	0.000000	102	1.700000	144	1.700000
19	0.000000	61	0.000000	103	1.700000	145	1.700000
20	0.000000	62	0.000000	104	1.700000	146	2.000000
21	2.000000	63	0.000000	105	0.000000	147	2.000000
22	2.000000	64	0.000000	106	0.000000	148	2.000000
23	2.000000	65	0.000000	107	0.000000	149	2.000000
24	2.000000	66	0.000000	108	0.000000	150	2.000000
25	2.000000	67	0.000000	109	0.000000	151	2.000000
26	2.000000	68	0.000000	110	0.000000	152	2.000000
27	2.000000	69	2.000000	111	0.000000	153	2.000000
28	2.000000	70	2.000000	112	0.000000	154	0.000000
29	2.000000	71	2.000000	113	0.000000	155	0.000000
30	2.000000	72	2.000000	114	0.000000	156	0.000000
31	2.000000	73	2.000000	115	0.000000	157	0.000000
32	2.000000	74	2.000000	116	0.000000	158	0.000000
33	0.000000	75	2.000000	117	1.700000	159	0.000000
34	0.000000	76	2.000000	118	1.700000	160	0.000000
35	0.000000	77	2.000000	119	1.700000	162	0.000000
36	0.000000	78	2.000000	120	1.700000	163	0.000000
37	0.000000	79	2.000000	121	1.700000	164	0.000000
38	0.000000	80	2.000000	122	1.700000	165	0.000000
39	0.000000	81	0.000000	123	1.700000	166	0.000000
40	0.000000	82	0.000000	124	1.700000	167	2.000000
41	0.000000	83	0.000000	125	1.700000	168	2.000000
42	0.000000	84	0.000000	126	1.700000	169	2.000000

**Tabla A.II.7.** Patrón Riego Huertas

8- VARIOS

Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente	Periodo	Coficiente
1	1.000000	43	1.000000	85	1.000000	127	1.000000
2	1.000000	44	1.000000	86	1.000000	128	1.000000
3	1.000000	45	1.000000	87	1.000000	129	1.000000
4	1.000000	46	1.000000	88	1.000000	130	1.000000
5	1.000000	47	1.000000	89	1.000000	131	1.000000
6	1.000000	48	1.000000	90	1.000000	132	1.000000
7	1.000000	49	1.000000	91	1.000000	133	1.000000
8	1.000000	50	1.000000	92	1.000000	134	1.000000
9	1.000000	51	1.000000	93	1.000000	135	1.000000
10	1.000000	52	1.000000	94	1.000000	136	1.000000
11	1.000000	53	1.000000	95	1.000000	137	1.000000
12	1.000000	54	1.000000	96	1.000000	138	1.000000
13	1.000000	55	1.000000	97	1.000000	139	1.000000
14	1.000000	56	1.000000	98	1.000000	140	1.000000
15	1.000000	57	1.000000	99	1.000000	141	1.000000
16	1.000000	58	1.000000	10	1.000000	142	1.000000
17	1.000000	59	1.000000	101	1.000000	143	1.000000
18	1.000000	60	1.000000	102	1.000000	144	1.000000
19	1.000000	61	1.000000	103	1.000000	145	1.000000
20	1.000000	62	1.000000	104	1.000000	146	1.000000
21	1.000000	63	1.000000	105	1.000000	147	1.000000
22	1.000000	64	1.000000	106	1.000000	148	1.000000
23	1.000000	65	1.000000	107	1.000000	149	1.000000
24	1.000000	66	1.000000	108	1.000000	150	1.000000
25	1.000000	67	1.000000	109	1.000000	151	1.000000
26	1.000000	68	1.000000	110	1.000000	152	1.000000
27	1.000000	69	1.000000	111	1.000000	153	1.000000
28	1.000000	70	1.000000	112	1.000000	154	1.000000
29	1.000000	71	1.000000	113	1.000000	155	1.000000
30	1.000000	72	1.000000	114	1.000000	156	1.000000
31	1.000000	73	1.000000	115	1.000000	157	1.000000
32	1.000000	74	1.000000	116	1.000000	158	1.000000
33	1.000000	75	1.000000	117	1.000000	159	1.000000
34	1.000000	76	1.000000	118	1.000000	160	1.000000
35	1.000000	77	1.000000	119	1.000000	162	1.000000
36	1.000000	78	1.000000	120	1.000000	163	1.000000
37	1.000000	79	1.000000	121	1.000000	164	1.000000
38	1.000000	80	1.000000	122	1.000000	165	1.000000
39	1.000000	81	1.000000	123	1.000000	166	1.000000
40	1.000000	82	1.000000	124	1.000000	167	1.000000
41	1.000000	83	1.000000	125	1.000000	168	1.000000
42	1.000000	84	1.000000	126	1.000000	169	1.000000

Tabla A.II.8. Patrón Varios

## **ANEXO III: CARACTERÍSTICAS BOMBAS ETABLOC**

## Etabloc – La bomba compacta



### Campos de aplicación:

Fluidos puros y no agresivos química y mecánicamente con los materiales de la bomba

- Abastecimiento de agua
- Agua de refrigeración
- Agua de piscina
- Sistemas contra incendios
- Agua marina
- Riego por aspersión
- Agua para extinción de incendios
- Irrigación
- Agua para uso industrial
- Detergentes
- Agua potable
- Agua salobre
- Drenaje
- Condensado
- Calefacción
- Climatización
- Lubricantes
- Agua caliente

### Información adicional:

[www.ksb.es/catálogo-de-productos](http://www.ksb.es/catálogo-de-productos)

Etabloc con motor KSB SuPremE®, PumpMeter y PumpDrive



Etabloc con motor KSB SuPremE®, PumpMeter y PumpDrive Eco

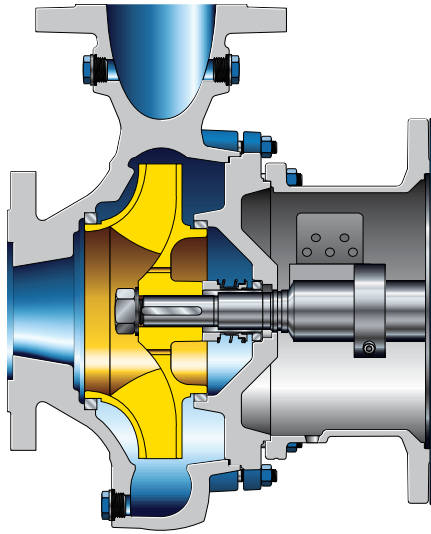


Etabloc con PumpMeter, PumpDrive y motor IE3

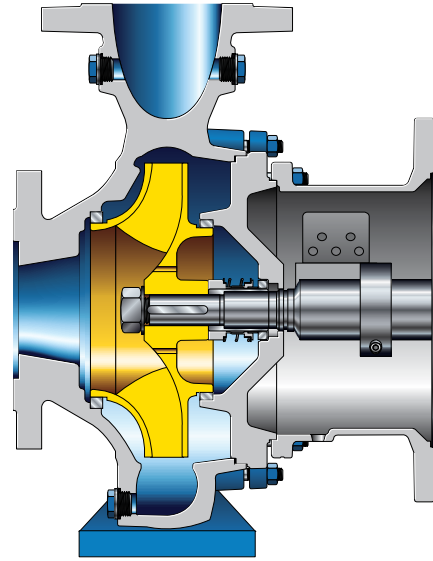


Etabloc con PumpMeter y motor IE3

# Etabloc – La bomba compacta



Etabloc – Sin pata



Etabloc – Con pata

## 1 Alta eficiencia energética

- Diseño hidráulico de alta eficiencia optimizado y probado. Los impulsores están ajustados al punto de trabajo de manera estándar.
- Satisface plenamente las exigencias de la directiva ErP para bombas de agua normalizadas, que tendrá vigencia a partir de 2015.
- Con motor KSB SuPremE® – El accionamiento para bombas sin imanes permanentes más eficiente del mundo, de eficiencia IE4 según IEC (CD) 60034-30 Ed. 2.
- Con el nuevo PumpDrive se consigue la máxima eficiencia energética y una transparencia absoluta del modo de funcionamiento.

## 2 Compacta

Bomba sin acoplamiento separado, es decir, ya no se requiere realizar alineamientos.

## 3 Seguridad operativa

Buen comportamiento en aspiración que permite bajos niveles de vibración y un funcionamiento suave.

## 4 Polivalente

La versión estándar está disponible en una gran variedad de materiales para numerosos campos de aplicación.

## 5 Gran diversidad de diseños

Los tamaños adicionales para caudales pequeños de bombeo amplían el rango de selección de curvas.

## 6 Fácil mantenimiento

- Breves plazos de suministro en caso de productos nuevos y piezas de repuesto.
- Fácil montaje y desmontaje gracias a la cajera de cierre ampliada y a las perforaciones de rosca para tornillos de presión incorporadas entre la tapa del cuerpo y el soporte del rodamiento.

### Materiales (opcionales)

Fundición gris EN-GJL-250/A48 CL 35B

Fundición esferoidal EN-GJS-400-15/A536 GR 60-40-18

Acero fino 1.4408 / A743 GR CF8M

Bronce CC480K-GS/B30 C90700

### Datos técnicos

Caudal	hasta 640 m <sup>3</sup> /h (50 Hz) hasta 753 m <sup>3</sup> /h (60 Hz)
Altura	hasta 160 m (50 Hz) hasta 148 m (60 Hz)
Temperatura	-30 °C hasta +140 °C
Presión de trabajo	hasta 16 bar



KSB Spain  
www.ksb.es