

# GESTIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LEIOA

---



**Bilbao Bizkaia Ur Partzuergoa**  
Consortio de Aguas Bilbao Bizkaia

AUTOR: Julen Pérez Urkullu

DIRECTORA: Natalia Alegría Gutiérrez

CURSO 2016/2017

## 1. RESUMEN

## 2. CONTEXTO

## 3. ESTADO DEL ARTE

## 4. OBJETIVO Y ALCANCE

## 5. BENEFICIOS DEL PROYECTO

### 5.1. BENEFICIOS SOCIALES

### 5.2. BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES

### 5.3. BENEFICIOS ECONÓMICOS

## 6. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 6.1. RED DE DISTRIBUCIÓN

#### 6.1.1 Tipos de redes de distribución

#### 6.1.2. Componentes básicos de una red de distribución

### 6.2. CONTINUIDAD DE LA MASA

### 6.3. CONSERVACIÓN DE LA MASA

### 6.4. PRESIÓN

### 6.5. FUGAS DE AGUA

## 7. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

### 7.1. PAQUETE MICROSOFT OFFICE

### 7.2. EPANET

### 7.3. AUTOCAD

### 7.4. GIS

### 7.5. TAKADU

## 8. MODELO MATEMÁTICO Y MODELIZACIÓN

### 8.1. OBTENCIÓN MODELO MATEMÁTICO

### 8.2. MODELIZACIÓN DEL MUNICIPIO

## 9. MODULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

## 10. CALIBRACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

## 11. SECTORIZACIÓN

### 11.1. ALTERNATIVA 01

### 11.2. ALTERNATIVA 02

## 12. COMPARATIVA DE PROPUESTAS

## 13. DIAGRAMA DE GANTT

## 14. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

## 15. CONCLUSIÓN

## 16. BIBLIOGRAFÍA

## ANEXO

- LISTADO DE TABLAS
- LISTADO DE ECUACIONES
- LISTADO DE ILUSTRACIONES
- LISTADO DE GRÁFICOS
- LISTADO DE ACRÓNIMOS

## 1. RESUMEN

Encontrar y reducir las pérdidas de agua que se originan a lo largo de la red, es una de los objetivos principales a la hora de gestionar eficientemente los recursos hídricos de una población. La presión del fluido es una de las variables que influyen en estas pérdidas. En el presente trabajo, se ha mostrado la manera de realizar una gestión adecuada a través de la organización mediante sectores del municipio vizcaíno de Leioa. Se detallará cada paso, de manera que el lector pueda entender y aplicar este modelo de gestión a cualquier otro municipio.

**Palabras clave:** red de distribución, fugas, gestión de la presión, sectorización, válvulas reductoras de presión, fiabilidad, eficiencia



Las principales labores del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia son las siguientes:

- **Abastecimiento de Agua en Red Primaria.**

Comprende las funciones de captación, embalse, transporte, tratamiento y conducción hasta grandes usuarios finales o hasta los depósitos cabecera de la red de distribución.

- **Saneamiento en Red Primaria**

Comprende los colectores e interceptores generales, las estaciones depuradoras y los emisarios.

- **Control de Vertidos Industriales**

Comprende la autorización, seguimiento, control e inspección de los vertidos de aguas residuales, tanto a la red primaria de saneamiento como a la de alcantarillado, así como la facultad sancionadora de las infracciones que se produzcan o la declaración de nulidad del contrato de suministro de agua correspondiente.

- **Relaciones con Clientes**

Son competencia del Consorcio las relaciones con los clientes, entendiéndose por tal el control de los equipos de medida, la contratación de los servicios, el control de los consumos, su facturación y gestión recaudatoria, la resolución de reclamaciones, así como la potestad de imposición de sanciones derivadas de esta actividad.

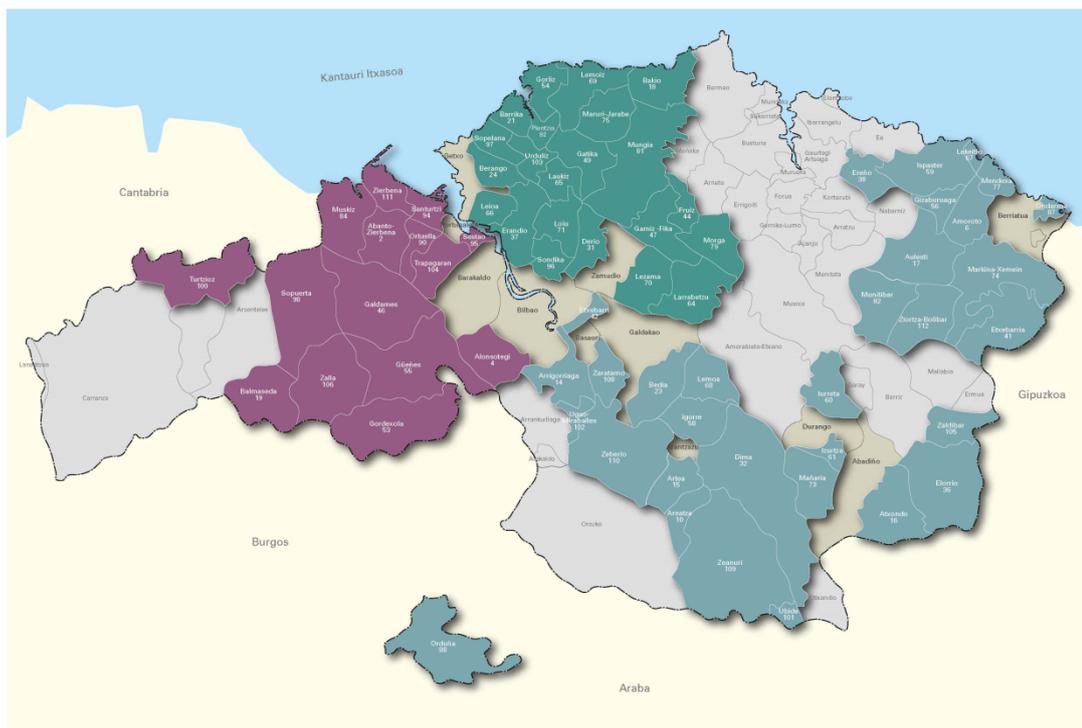
Como entidad responsable y pública, en su página web [1] se muestra toda la información.

Una vez controlado y gestionado el abastecimiento y saneamiento de los recursos hídricos a nivel provincial, el siguiente paso que se requirió fue el control y mantenimiento de las infraestructuras municipales con la intención de mejorar el sistema de abastecimiento.

El Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia, el 9 de Mayo de 2000, constituyó Udal Sareak S.A. con la intención de gestionar la distribución del agua potable en los municipios que así se lo han solicitado al CABB con la firma del correspondiente convenio.

Actualmente Udal Sareak S.A. presta el servicio de distribución de agua potable en 67 municipios consorciados, a lo largo de todo el río de Bizkaia, los cuales se aprecian en la ilustración 2.

Los ayuntamientos en los que trabaja Udal Sareak S.A. se comprometen a ejecutar a su cargo una serie de obras de mejora de las instalaciones del sistema de abastecimiento de agua, integradas en un Plan de Reposición. El Plan de Reposición tiene por objetivo homogeneizar el estado en el que los diferentes ayuntamientos entregan sus instalaciones al Consorcio de Aguas, para que Udal Sareak S.A. asuma la gestión del servicio de distribución.



**Ilustración 2. Mapa de Bizkaia con los municipios que integran USSA**

Udal Sareak S.A. gestiona la distribución de agua potable en 69 municipios consorciados:

- 25 Hm a distribuir anualmente a más de 300.000 habitantes.
- más de 2.000 km de redes de distribución.
- más de 25.000 acometidas a las redes de distribución.
- 150.000 clientes del servicio de agua potable.
- más de 7.000 operaciones realizadas en la red de distribución.

### 3. ESTADO DEL ARTE

El presente Trabajo Fin de Máster se realizará sobre la red municipal de abastecimiento de Leioa. Previo al desarrollo del mismo, uno de los hechos más importantes es conocer la zona donde se va a trabajar. Para ello, a continuación se introducirá brevemente el municipio de Leioa y sus principales características demográficas y geográficas.

Dentro del marco europeo, la Comunidad Autónoma de Euskadi es el territorio administrativo que acoge el municipio de Leioa. Situado actualmente en la Comarca del Gran Bilbao, tiene una superficie de 8,36 km<sup>2</sup>. Se encuentra próximo a la desembocadura de la ría del Nervión-Ibaizabal, en la margen derecha, limitando al Norte con Getxo y Berango, al Este y Sur con Erandio, y al Oeste también con Getxo y con la ría.

El municipio vizcaíno de Leioa, destacado en rojo en la ilustración 3, se encuentra a 12 kilómetros de Bilbao, con una población de 30.685 habitantes. Se trata de una localidad en continuo crecimiento, debido a que en los últimos años se han instalado en Leioa muchas personas de localidades vecinas. De este modo, la población se encuentra muy dispersa en los distintos barrios de los tres principales núcleos de población que forman el municipio.



Ilustración 3. Situación geográfica de Leioa

Leioa a lo largo de su historia ha acogido dos zonas habitadas bien diferenciadas. Una más rural que integraba la casi totalidad del municipio y otra más urbana, creada al calor de la industrialización a los pies del ferrocarril que discurría paralelo a la Ría. Durante las décadas de 1960 y 1970 el desarrollo económico hizo que se diese un flujo importante de personas que llegaron a instalarse en Leioa. Este movimiento demográfico tuvo un enorme impacto en muchos de los núcleos de población, provocó un crecimiento aceleradísimo de los mismos, así como un importante cambio en su fisonomía urbana hasta llegar al modelo actual.

Muchas zonas de Leioa, hasta entonces escasamente pobladas, crecieron y se transformaron de una forma importante. En las últimas décadas del siglo XX fue cuando se produjo el fenómeno de mayor repercusión desde el punto de vista demográfico: la inmigración y el consecuente aumento poblacional transformó completamente el municipio, que fue

adquiriendo poco a poco su aspecto actual. Todo este proceso creó un Leioa desestructurado, disperso y carente de una estructura urbana de calidad, huérfano de espacios y equipamientos públicos al servicio de la comunidad.

Leioa acoge hoy un hábitat todavía mixto de zonas rurales y urbanizadas, si bien con gran predominio de estas últimas. Los barrios que componen Leioa son en su parte más alta y lejana a la Ría del Nervión: Peruri, Sarriena y Santsoena. A partir de ellos y hacia el centro urbano, nos encontramos con los barrios de: Tellería, Basaez, Artatzagana y Aldekoena, así como la zona rural de Santi Mami. La zona central la componen los núcleos de Elexalde, Iturribide, Ikea, Mendibil y Udondo. Los barrios más cercanos a la Ría son Ibaiondo-Santa Ana, Pinueta, Lamiako, Txorierri, Ondiz y Aketxe.

Los montes más altos son Kurkudi (126 m), Bolumburu e Ikea. Desde estos altos discurren los numerosos arroyos que surcan el municipio en sentido Norte-Sur, dando lugar a su paso a la formación de pequeños barrancos. En la mitad Sur, las altitudes son inferiores a los 50 m, con abundantes espacios llanos generados por las vegas de Udondo y Lamiako, destacando en el centro el alto de Artatza, de tan solo 76 m. Prácticamente a nivel del mar se sitúa la vega de Lamiako, formada en la margen derecha del río Udondo en su confluencia con el río Gobela, antes de su desembocadura en la ría.

El tramo objeto de actuaciones pertenece a la red de abastecimiento de la localidad de Leioa. Con el fin de facilitar el estudio de la red municipal, a continuación se detallarán las características hidrográficas del municipio vizcaíno.

El municipio de Leioa entró en convenio con Udal Sareak en abril de 2016. Cuenta con 8.114 abonados a lo largo de una superficie de 8,32 km<sup>2</sup>. La red secundaria tiene una longitud de 66,30 km extendida a lo largo de la localidad. La presión media en la red es de 69,45 mca. En su organización de red predomina una distribución mallada, salvo en lugares específicos en las que adopta las características de una red de distribución mixta. El agua puede circular en cualquier sentido, por lo que, cada punto de la red se puede abastecer por diferentes tuberías y en caso de avería, no implicaría dejar sin servicio a ciertos abonados.

A continuación se presentarán uno a uno los sectores en los que se divide el municipio de Leioa, los cuales facilitan su gestión y su mantenimiento. Todos ellos han sido diseñados de tal manera que sea posible abastecer el municipio por gravedad, evitando costes de bombeos. La distribución de sectores, se muestra en la ilustración 4, dibujando cada sector de un color diferente para ser distinguidos.

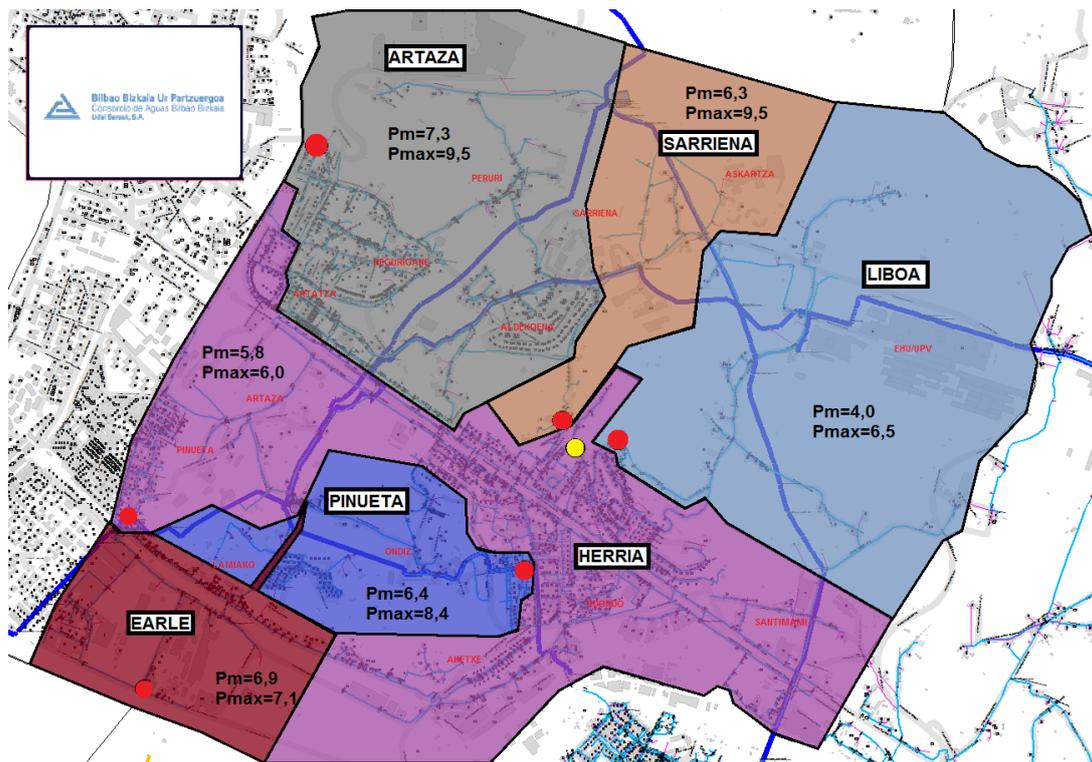


Ilustración 4. Sectores de presión de Leioa

- **Artaza** es el sector que comparte límite con el municipio de Getxo en su zona más alejada a la ría del Nervión y que abastece al centro comercial Arteaga entre otros. Su punto de abastecimiento es el depósito de Kurkudi a 164 m de altura mediante gravedad. Posee una válvula reguladora de presión en Dominicas a una altura de 92,55 m, para evitar la sobrepresión a final de red que se encuentra a una cota cercana a nivel de mar. Registrados más de 2.067 abonados con un consumo de 253.196 m<sup>3</sup> al trimestre, Artaza es uno de los sectores más conflictivos de Leioa por su diferencia de cota entre la válvula reguladora de cabecera y la cota de los consumos a final de red. El esquema hidrográfico de Artaza se define en la ilustración 5.

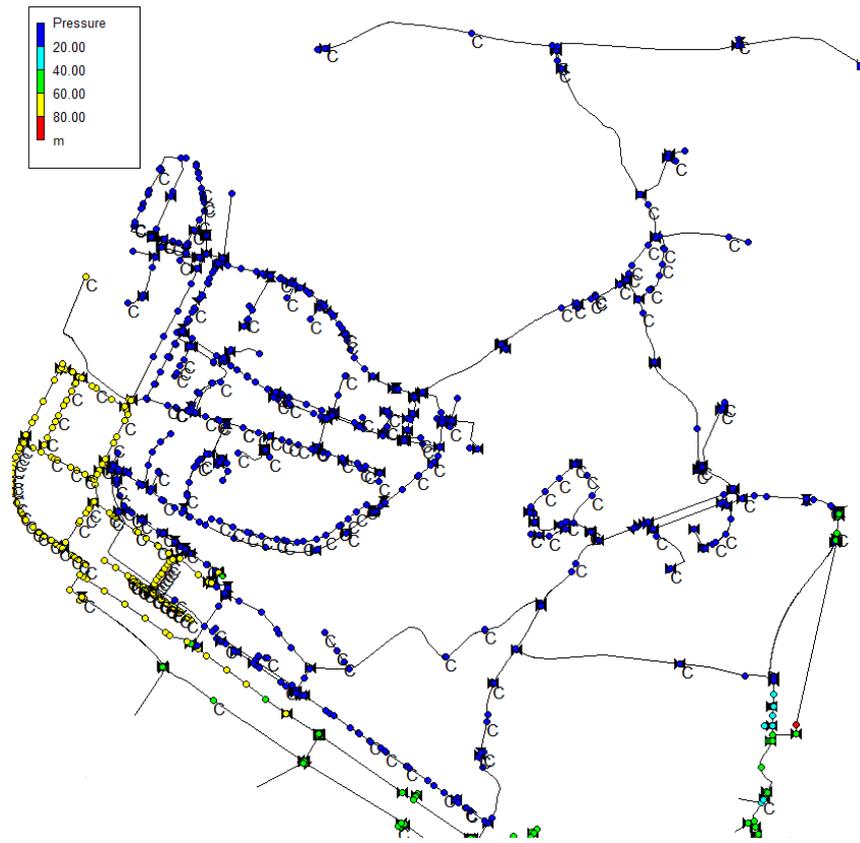


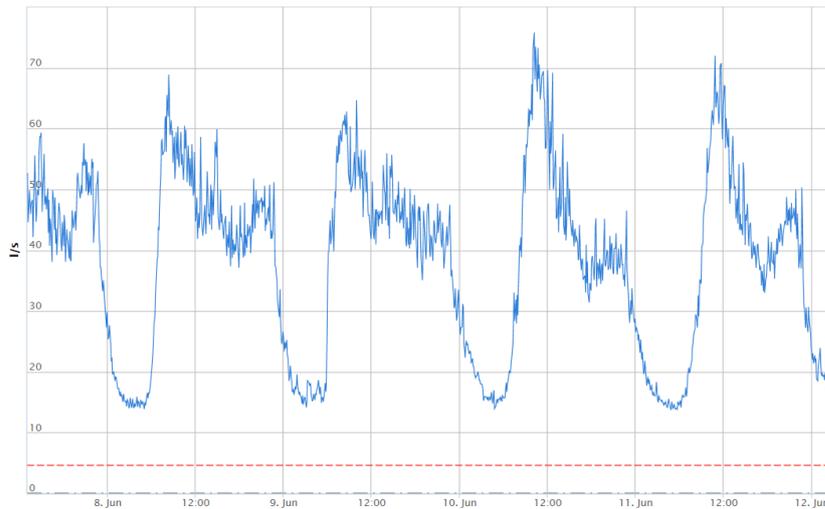
Ilustración 5. Sector de Artaza

- **Earle** se sitúa en la frontera con Getxo pero por la zona cercana a la ría del Nervión. Se abastece directamente desde el depósito de Gaztelueta a 80 m de cota. No existe ningún tipo de regulación para la presión y consecuencia de ello, en las zonas cercanas a la ría la presión es ligeramente elevada. Con 1.333 abonados y un consumo trimestral de 180.850 m<sup>3</sup>, Liboa es un sector estratégico ya que permite ampliar sus límites en varios puntos de su red mejorando la gestión del municipio.



Ilustración 6. Depósito de Gaztelueta situado en Leioa

- **Sarriena** actualmente abastecido desde un pinchazo de la red primaria con agua procedente directamente desde Venta Alta y con una válvula reguladora de presión en la cabeza del sector que impone una presión adecuada. Entre los consumidores más importantes se encuentran las instalaciones deportivas de Sarriena y el colegio de Askartza. Registrados 86 abonados, posee un consumo de  $46.310 \text{ m}^3$  al trimestre. Sarriena es el sector más pequeño de Leioa en cuanto a número de habitantes.
- **Herria** es el corazón de Leioa. El sector abastece a más de 6.000 habitantes, casi un cuarto de la población. Su eje principal coincide con la carretera de la Avanzada y su frontera limita con Getxo por un lado y con Erandio al otro extremo. Se abastece directamente desde el depósito de Gaztelueta por dos vías, referenciado en la ilustración 6. Su longitud de red equivale casi a la mitad del municipio. Los 8.114 abonados del sector Herria consumen  $691.957 \text{ m}^3$  al trimestre, con un patrón definido en el gráfico 1. La presión a lo largo de la red es muy irregular pero con valores óptimos. Su fondo nocturno es el más elevado del municipio con  $15,63 \text{ l/s}$ .



**Gráfico 1. Gráfica de consumo diario del sector Herria**

- **Pinueta** está rodeado por los sectores Herria y Earle. Situado en los alrededores del depósito de Gaztelueta, suministra al barrio de Txorierri y unos pocos consumos más de alrededor. Es el sector más estable del municipio ya que la válvula reguladora que está instalada en la cabeza, limita la presión a un sector prácticamente llano. Abastece 112481 m<sup>3</sup> trimestrales a los 1.091 abonados.
- **Liboa** se abastece al igual que Sarriena desde un pinchazo con la red primaria procedente de Venta Alta y con una válvula reguladora de presión en dicho punto. Dentro del sector se encuentra entre otros parte de las instalaciones del Campus de Leioa propiedad de la Universidad del País Vasco. Suministra 18.455 m<sup>3</sup> a 236 abonados.



**Ilustración 7. Arqueta de unión de red primaria con secundaria de Liboa**

## 4. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objeto de este Trabajo Fin de Master es definir los campos de acción para el análisis, obtención del modelo matemático y sectorización del municipio vizcaíno de Leioa y su alcance dentro del trabajo realizado. De esta manera quedará especificada la labor a realizar en cada apartado y su objetivo principal.

Se puede considerar como objetivo principal la obtención de un municipio con una presión de red óptima. Una red de abastecimiento en el que la presión esté dentro de unos rangos de valores marcados y sea suficiente para una distribución por gravedad. Para ello se obtendrá un modelo matemático que sirva para simular la realidad, es decir, en el que los cambios hechos en la realidad generen los mismo cambios en archivo informático y viceversa. Una vez obtenido un plano de red calibrado, se propondrá una repartición del municipio en diferentes sectores, con la intención de conseguir el objetivo principal y facilitar la gestión de la zona.

Como objetivo secundario acontecerá indirectamente de la búsqueda del objetivo principal. El camino recorrido, permitirá encontrar y descubrir situaciones desconocidas que permitan justificar cosas que hasta ahora no se podían explicar.

A continuación se hace una breve descripción de cada tarea a realizar y se especifica qué objetivos se deben de cumplir en cada una de ellas:

- Modelo matemático: será necesario tener un modelo de Epanet del municipio de Leioa para poder simular informáticamente la realidad. Para ello, el primer paso a realizar será crear un modelo matemático. Mediante el sistema de información geográfica y AutoCAD será posible generar un archivo que recree la red municipal de Leioa.
- Modulación del modelo matemático: una vez obtenido el archivo de Epanet, será necesario conocer el consumo correspondiente de cada abonado. El consumo de cada portal es diferente y para definirlo es necesario conocer dos partes: el consumo constante diario y un patrón de consumo. La primera parte se obtiene directamente en el apartado anterior. El patrón de consumo será el objetivo de esta fase. Para ello se resumirá el consumo trimestral de cada sector en una gráfica de consumo de un solo día y se añadirá a los puntos correspondientes de cada sector en el archivo informático.
- Calibración del modelo matemático: conseguir que el modelo no dé errores no significa haber obtenido un buen resultado. Del papel a la realidad hay muchos factores que originan cambios. Para conseguir un modelo informático que simule correctamente la realidad será necesario una calibración. Se medirá la presión en varios puntos estratégicos elegidos por un servidor y se realizarán ajustes para poder tener un modelo matemático idéntico a la realidad.
- Sectorización del municipio: una vez obtenido un modelo que simule a la perfección la realidad, el último paso será conseguir el objetivo principal. Una red municipal que tenga unos valores de presión óptimos, dividiendo la red en diferentes zonas que generen sectores de presión.

- Objetivos secundarios: el trayecto recorrido servirá para aplicar diferentes fundamentos teóricos que al comenzar el trabajo no se estipulaban. Uno de los objetivos será confirmar el inventario hidráulico que se ha heredado desde el Ayuntamiento de Leioa, confirmando el estado y características de las tuberías y válvulas. Por otro lado, durante la calibración se podrán estudiar las curvas de consumo diario en busca de fugas y entre otras cosas el presente trabajo servirá de experiencia para coordinar trabajos y prestaciones entre diferentes personas.

## 5. BENEFICIOS DEL PROYECTO

La realización del presente trabajo aportará beneficios tanto a Udal Sareak S.A. como empresa, como al municipio de Leioa y sus abonados y al ecosistema:

### 5.1. Beneficios sociales

Entre los objetivos del trabajo destaca una mejora de la gestión de la presión. La gestión de la presión puede definirse de la siguiente manera: la práctica de manejar presiones del sistema a niveles óptimos de servicio, asegurando suministro suficiente y eficiente para usos y consumidores legítimos, a la vez que se reduce las presiones excesivas o innecesarias, todo lo cual hace que el sistema de distribución fugue innecesariamente.

La gestión de la presión tiene un enorme potencial para ayudar a aliviar problemas relacionados con la escasez de agua. Un problema que afecta alrededor de 2.800 millones de personas en todos los continentes del mundo durante al menos un mes en cada año.

Otro punto positivo que aporta un valor óptimo de presión, es el confort en el abonado. El número de reventones y averías se reduce en un alto porcentaje, lo que conlleva a una reducción de la responsabilidad pública y evita una imagen negativa de la empresa. Concluyendo en una disminución en el número de quejas y averías en las acometidas.

Una buena imagen de la opinión pública, manteniendo unas instalaciones de abastecimiento en estado óptimo y sin obras en la red municipal de agua, es algo que beneficia al ayuntamiento y al nombre del municipio.

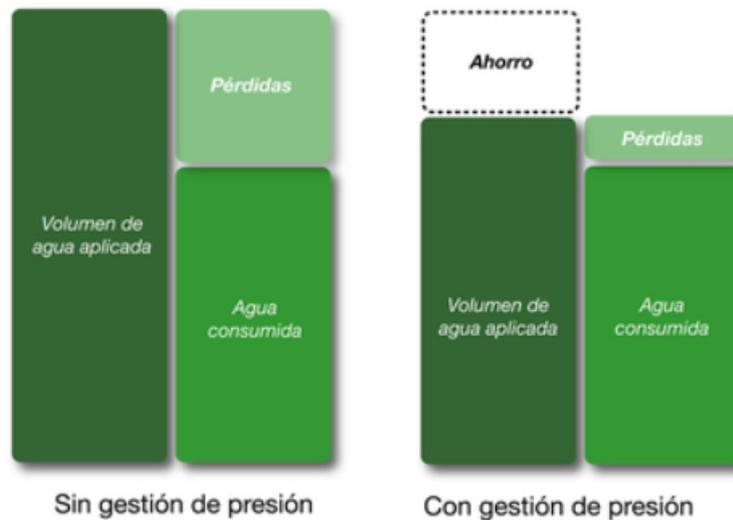
La situación económica actual, que tiene un índice de paro elevado, se verá “ligeramente” aliviada debido a la contratación de trabajadores para el presente trabajo. Esto, además de proporcionar empleo también reducirá el gasto del estado, el cual no necesitará pagar el paro a los nuevos empleados y estos últimos, aportarán dinero mediante su cotización a la seguridad social y los impuestos sobre la renta. Un ciclo de acontecimientos que ayudará tanto a unos como a otros.

En definitiva, el actual trabajo beneficiará a la sociedad en una mayor carga laboral, reduciendo el número de agua desperdiciada, aumentando el confort de los abonados y mejorando la reputación de la empresa que lleva a cabo el trabajo y la del ayuntamiento.

### 5.2. Beneficios medioambientales

El ciclo de agua en la provincia de Bizkaia está bajo la responsabilidad del Consorcio de Aguas de Bilbao. En todos los procesos en los que el agua es transportada, uno de los contratiempos más habituales es el de las fugas de agua. En el proceso del ciclo de agua en el que se desarrolla este trabajo, ese inconveniente es de una magnitud mayor, ya que el agua ha sido tratada y depurada para un consumo. En algunos países, las fugas en los sistemas de abastecimiento llegan incluso al 50% del agua transportada. Esto supone un drama oculto para el medioambiente, mediante la ilustración 8 se muestra visualmente lo explicado.

En el caso de Leioa, ese valor no es tan alto. Las fugas definen el 30% de volumen de agua aplicada a la red, que a pesar de ser un valor bajo, sigue siendo una cantidad de volumen de agua perdida muy grande.



**Ilustración 8. Comparativa de volúmenes de agua en sistemas con gestión de la presión**

Un aumento de la productividad de la logística hidráulica mediante la óptima regulación de la presión le permite al operador de la red satisfacer el consumo existente con un menor volumen de agua potable producida. La reducción de estos volúmenes de agua es un resultado directo de un sistema de abastecimiento con unos valores de presión óptimos. Es decir, un sistema en el que la presión está siendo gestionada por un ente.

El hecho de utilizar un menor volumen del agua, es otra buena noticia para la gestión de los recursos acuíferos. A pesar de que en la Comunidad Autónoma del País Vasco el agua es un recurso abundante, no hay que olvidar que los principales suministros de la provincia de Vizcaya se encuentran fuera de sus fronteras. Además de que la demografía está en un constante crecimiento. Por lo que no hay que dejar de lado una buena gestión de los recursos de un factor determinante para la evolución de la sociedad.

En definitiva, el actual trabajo beneficiará al medioambiente en una mejor gestión de los recursos hídricos, reduciendo el volumen de agua no consumido.

### 5.3. Beneficios económicos

Por parte del ayuntamiento convenido a la empresa responsable del mantenimiento de la red municipal de abastecimiento, el ahorro que supone una mejor gestión de las instalaciones del municipio es evidente. Según unos estudios realizados, el 73% de las averías han ocurrido en conductos en los que la presión superaba los 6 bar y un 68% en tuberías con una edad media superior a los 30 años. Por lo tanto, una buena gestión tanto de la presión en la red como del mantenimiento de las instalaciones, puede suponer un ahorro de millones de euros.

El ahorro no sólo sería en evitar reparaciones por avería o por antigüedad. Se reducirían los gastos en costes de operación y mantenimiento. El hecho de que los elementos trabajen en un estado de presión y caudal óptimos, supondría un mejor rendimiento y una vida útil más larga.

Ahorrar agua es ahorrar energía. El abastecimiento de agua requiere de bombes y otro tipo de elementos alimentados por electricidad y en el consumo doméstico o industrial la energía es esencial. Desde el punto de vista del abonado, el ahorro que supondría el presente trabajo traería directamente un ahorro energético tan necesario estos días. Un ahorro de 100 litros diarios por habitante, supondría una reducción de la factura eléctrica del 30%.

En definitiva, el actual trabajo beneficiará al ayuntamiento y a la empresa en una manera preventiva, ahorrar una gran cantidad económica y a los abonados una reducción de la tarifa.

## 6. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el presente punto, se detallarán y explicarán los fundamentos aplicados de la mecánica de fluidos que servirán de base para poder desarrollar el trabajo.

### 6.1 Red de distribución

Una red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta las tomas domiciliarias o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias. La red debe proporcionar este servicio todo el tiempo, en cantidad suficiente, con la que la calidad requerida y a una presión adecuada, para que pueda ser considerada agua potable.

#### 6.1.1. Tipos de redes de distribución

Las redes de distribución para el abastecimiento de agua potable en núcleos urbanos, son en general el resultado de un crecimiento desordenado y poco planificado. El diseño de estas redes de distribución está condicionado principalmente por la topografía del terreno.

Más allá del crecimiento desordenado de las redes de distribución de agua potable, éstas se pueden clasificar en tres tipos de redes diferentes: las redes ramificadas, las redes malladas y las redes mixtas.

- Red de distribución ramificada

En las redes ramificadas, ilustración 9, el agua circula por la red en un único sentido. A través de una tubería principal se van conectando tuberías secundarias, terciarias,... cada vez con un diámetro menor. Son llamadas también redes de distribución arboladas, por su semejanza con las ramas de los árboles.

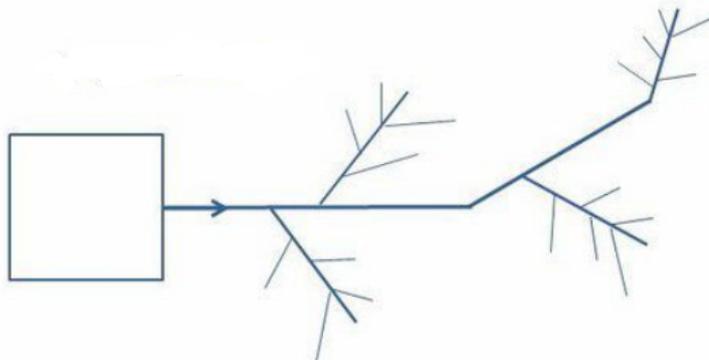


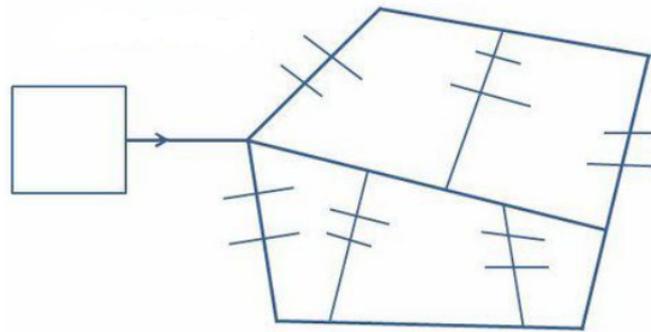
Ilustración 9. Ejemplo de red ramificada

Cada punto de la red solo recibe agua por una tubería, por lo que el cálculo de las mismas es muy sencillo. A pesar de ello, las redes ramificadas presentan los siguientes problemas: posibilidad de estancamiento de agua, un único camino de distribución para cada punto final y que la posibilidad de pérdida del cloro en las zonas con poco consumo.

Este tipo de redes de abastecimiento tiene mucha utilidad en pequeñas poblaciones o pueblos aislados, por su sencillez y costo.

- Red de distribución malladas

Como su propio nombre indica, este tipo de redes se disponen en forma de malla o cuadrícula como se observa en la ilustración 10. A diferencia de las redes ramificadas, en estas redes el agua puede circular en cualquier sentido, por lo que, cada punto de la red se puede abastecer por diferentes tuberías, una avería en una tubería no implica dejar sin servicio a una parte de la red. Este hecho complica el cálculo de este tipo de redes, por lo que hoy en día se utilizan potentes y costosos programas de ordenador para su diseño. Una alternativa gratuita y que funciona muy bien para mallas no muy grandes es EPANET, que se explicará más adelante.

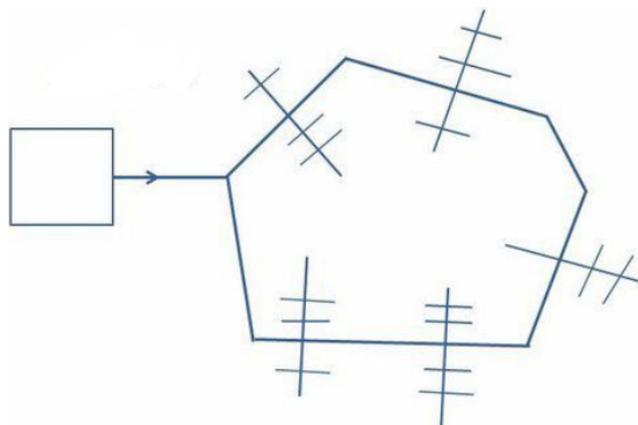


**Ilustración 10. Ejemplo de red mallada**

Como principales ventajas destacan la posibilidad de aislar determinados sectores de la red, permitiendo labores de reparación y mantenimiento de la misma y un reparto más equilibrado de las presiones. Entre las desventajas destacan el costo de la infraestructura, ya que la longitud de red es mayor y la complejidad de los cálculos.

- Red de distribución mixtas

Las redes mixtas, ilustración 11, son una combinación de las características de las redes ramificadas y malladas. Surgen como el resultado de cerrar o mallar una red ramificada. Se coloca una red mallada en los puntos de consumo más críticos y en el ramal, la parte de la red con menos exigencias.



**Ilustración 11. Ejemplo de red mixta**

## 6.1.2. Componentes básicos de una red de distribución

Una red de abastecimiento se compone generalmente de los siguientes elementos:

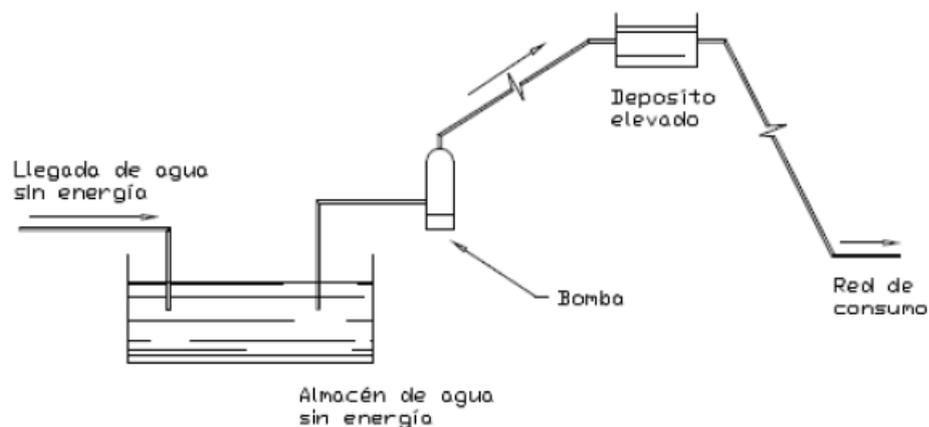
- **Tuberías:** se le llama así al conjunto formado por conductos de sección circular y su sistema de unión. En la selección del material de la tubería interviene características tales como: resistencia mecánica, durabilidad, resistencia a la corrosión, capacidad de conducción, economía, facilidad de conexión y conservación de la calidad del agua.

La resistencia de la tubería debe ser mayor que la máxima carga estática que se puede presentar. La carga estática máxima en un punto de la red se calcula restando la cota de la tubería a la cota de la carga estática en dicho punto. En los tramos que se encuentran con desniveles suaves, la carga estática máxima es el mayor valor de los calculados para sus dos extremos.

En la fabricación de las tuberías se han usado diversos materiales, siendo utilizados actualmente para abastecimiento de agua potable los elaborados de: PVC, fundición dúctil (FD) y polietileno de alta densidad (PEAD).

- **Tanques de distribución:** Un tanque de distribución es un depósito situado generalmente entre la captación y la red de distribución que tiene por objeto almacenar el agua proveniente de la fuente. El almacenamiento permite regular la distribución o simplemente prever fallas en el suministro. Una vez almacenado el agua en un depósito en la altura, en el caso de Leioa, se abastece por gravedad hasta la población.

Se le llama tanque de regulación cuando guarda cierto volumen adicional de agua para aquellas horas del día en que la demanda en la red sobrepasa al volumen suministrado por la fuente.



**Ilustración 12. Ejemplo de abastecimiento por gravedad**

- **Acometidas:** Una acometida o toma domiciliaria es el conjunto de piezas y tubos que permite el abastecimiento desde una tubería de la red de distribución hasta el punto de consumo del usuario. Es la parte de la red que demuestra la eficiencia y calidad del sistema de distribución, ya que abastece el agua directamente al consumidor.

- **Válvulas:** Las válvulas son dispositivos mecánicos que son empleados para detener, iniciar o controlar las características del flujo en conductos a presión. Pueden ser accionadas manualmente o por medios automáticos o semiautomáticos. Así, existen accionadores eléctricos, hidráulicos o neumáticos, los cuales se usan en plantas de tratamiento o en instalaciones donde se requiere operar frecuentemente las válvulas. En redes de distribución son más usuales las válvulas que se operan manualmente mediante palancas, volantes y engranes, debido a que los cierres y aperturas son ocasionales.

En redes de distribución las válvulas de compuerta son las más empleadas para aislar tramos de tubería, ya sea para su revisión o reparación, debido a su bajo costo, amplia disponibilidad y baja pérdida de carga cuando están completamente abiertas.

La gestión de la presión, necesita de diferentes elementos y uno de los más importantes son las válvulas reguladores de presión, ilustración 13. Las válvulas reguladoras de presión pertenecen al grupo de las válvulas de presión. Mantienen prácticamente constante la presión de salida incluso cuando la presión de entrada ha cambiado y ha aumentado. La válvula reguladora de presión mantiene constante la presión de trabajo, sean cuales fueren las oscilaciones de presión en la red y en el consumo.

La válvula reductora de presión trabaja equilibrando la presión de salida con el resorte de control. Éste mueve un pequeño obturador contra un asiento. El fluido a través del asiento llega directamente al diafragma de la válvula principal, actuando sobre la válvula principal.

Bajo condiciones estables, la presión debajo del diafragma piloto, equilibra la fuerza fijada en el resorte de ajuste. Esto asienta la válvula piloto permitiendo un paso de fluido constante a través del diafragma principal. Esto asegura que la válvula principal está también asentada para dar una presión de baja estable.

Cuando la presión de baja aumenta, la válvula piloto cierra, y la presión se libera del diafragma de la válvula principal a través del orificio de control, para cerrar la válvula principal.

Cualquier variación de caudal o presión será inmediatamente captada por el diafragma piloto el cual actuará para ajustar la posición de la válvula principal, asegurando una presión de baja constante.

Con tal de conseguir las mejores condiciones de trabajo posibles se recomienda usar un tubo detector de presión externo. Esto resulta más importante cuando la válvula trabaja cerca de su capacidad máxima, o bajo condiciones de fluido críticas.

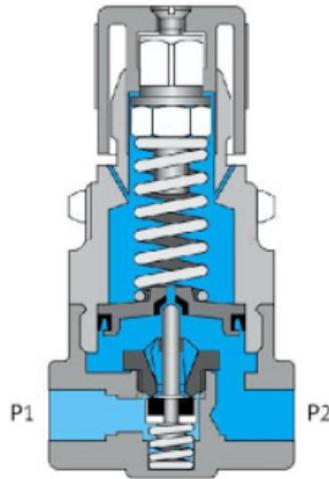


Ilustración 13. Válvula reguladora de presión [8]

De esta manera, todo el flujo del agua cumple con los principios de la dinámica de fluidos. Se aplica la conservación de la masa y de la energía, que se anuncian a continuación.

## 6.2. Continuidad de la masa

La conservación de la masa de fluido a través de dos secciones, sean éstas A1 y A2, de un conducto establece que: la masa que entra es igual a la masa que sale. La ecuación de continuidad se puede expresar como:

$$\rho_1 * A_1 * V_1 = \rho_2 * A_2 * V_2$$

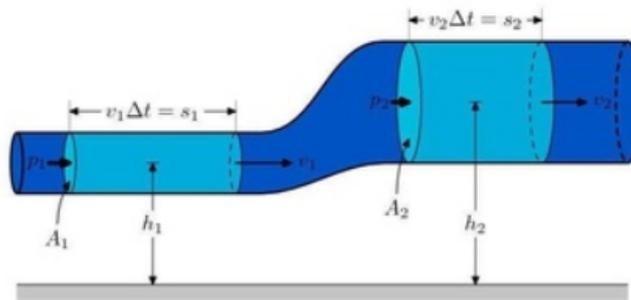
Ecuación 1. Ecuación de continuidad de un fluido

Se cumple cuando entre dos secciones de la conducción no se acumula masa, es decir, siempre que el fluido sea incompresible y por lo tanto su densidad sea constante. Esta condición la satisfacen prácticamente todos los líquidos y, particularmente, el agua. En general la geometría del conducto es conocida, por lo que el problema se reduce a estimar la velocidad media del fluido en una sección dada.

## 6.3. Conservación de la energía

La ecuación de Bernoulli, describe el comportamiento de un líquido moviéndose a lo largo de una corriente de agua. La ecuación afirma que la energía total, suma de la energía potencial, cinética y por presión permanece constante. Esta ecuación sólo es válida para fluidos ideales ya que no tiene en cuenta ni el rozamiento ni la ni la viscosidad.

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 + P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + P_2$$



**Ilustración 14. Principio de Bernoulli**

Usando unidades del Sistema Internacional, la ecuación se define con los siguientes parámetros:

- $\rho$  es la densidad del líquido en  $\text{kg/m}^3$
- $g$  es la aceleración de la gravedad en  $\text{m/s}^2$
- $h$  es la altura del fluido en metros
- $v$  es la velocidad del fluido en  $\text{m/s}$
- $P$  la presión.

Todo fluido en movimiento, salvo fluidos ideales, genera unas pérdidas de carga. La pérdida de carga en una tubería es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce. Es decir, la pérdida de carga que tiene lugar en una conducción representa la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma por efecto del rozamiento.

El cálculo de las pérdidas de carga se obtiene de muchas maneras, siendo la más habitual la fórmula de Darcy-Weisbach, denominadas pérdidas primarias. Esta fórmula permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que inciden en la pérdida de energía en una tubería. Es una de las pocas expresiones que agrupan estos factores. La ventaja de esta fórmula es que puede aplicarse a todos los tipos de flujo hidráulico debiendo el coeficiente de fricción tomar los valores adecuados, según corresponda.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

**Ecuación 2. Fórmula Darcy-Weisbach**

Las pérdidas secundarias o de carga localizadas son pérdidas de carga debidas a elementos singulares de la tubería tales como codos, estrechamientos o válvulas.

$$h_s = K_s * f * \frac{v^2}{2 * g}$$

**Ecuación 3. Fórmula de pérdidas secundarias**

Usando unidades del Sistema Internacional las pérdidas de carga se define con los siguientes parámetros:

- $f$  es factor de fricción adimensional
- $L$  es la longitud de la tubería en metros
- $D$  es el diámetro del conducto en metros
- $g$  es la aceleración de la gravedad en  $m/s^2$
- $v$  la velocidad media del fluido en  $m/s$ .
- $K$  coeficiente determinado para cada punto singular

Las pérdidas de carga generan una disminución del valor de la presión y requieren de una mayor fuerza a la hora de abastecer, las cuales se generan principalmente por un mal dimensionamiento del diámetro de la tubería.

## 6.4. Presión

La presión se define como el valor que ejerce la componente normal de la fuerza sobre una superficie y el área de dicha superficie, que sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea.

Un fluido pesa y ejerce presión sobre las paredes y el fondo del recipiente que lo contiene y sobre la superficie de cualquier objeto sumergido en él.

Esta presión, llamada presión hidrostática, provoca, en fluidos en reposo, una fuerza perpendicular a las paredes del recipiente o a la superficie del objeto sumergido sin importar la orientación que adopten las caras. Si el líquido fluyera, las fuerzas resultantes de las presiones ya no serían necesariamente perpendiculares a las superficies. La presión absoluta es la suma de la presión atmosférica y de la presión manométrica.

La presión que se define a lo largo del trabajo es la presión manométrica.

A la hora de definir la presión, hay que diferenciar dos tipos: presión estática y presión dinámica.

La presión estática se define como el valor que tiene un fluido, independientemente de la velocidad del mismo, y que se puede medir mediante la utilización de tubos piezométricos, teniendo un valor positivo o negativo.

$$P = \rho * g * h + P_0$$

### Ecuación 4. Definición de la presión estática

Por otro lado, se puede decir que cuando los fluidos se mueven en un conducto, la inercia del movimiento produce un incremento adicional de la presión estática al chocar sobre un área perpendicular al movimiento. Esta fuerza se produce por la acción de la presión conocida como dinámica. La presión dinámica depende de la velocidad y la densidad del fluido, siempre será positiva. La suma de ambas define la presión total, que se puede medir con tubos de Pitot mostrado en la ilustración 15.

$$P_d = \frac{\rho * V^2}{2 * g}$$

Ecuación 5. Definición de la presión dinámica

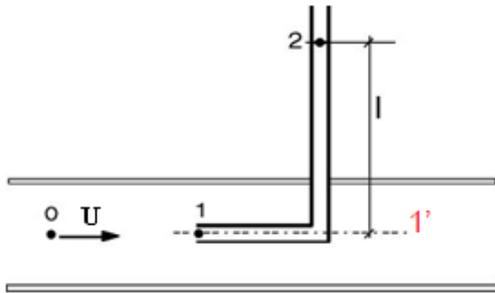


Ilustración 15. Aparato tubo de Pitot

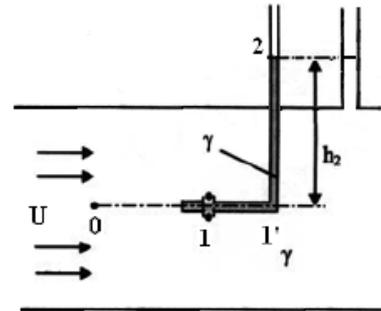


Ilustración 16. Aparato tubo Piezométrico

Usando unidades del Sistema Internacional, la presión se define con los siguientes parámetros:

- $\rho$  es la densidad del líquido en  $\text{kg/m}^3$
- $g$  es la aceleración de la gravedad en  $\text{m/s}^2$
- $h$  es la altura del fluido en metros
- $P_0$  la presión atmosférica en Pa.
- $V$  la velocidad del fluido en  $\text{m/s}$

Las unidades con las que se define la presión según el Sistema Internacional son los Pascales equivalentes a  $\text{N/m}^2$ . Usando el Sistema Técnico la unidad más utilizada es el metro de columna de agua, equivalente a 0,1 bar o  $0,1 \text{ kg/cm}^2$ .

## 6.5. Fugas de agua

Uno de los mayores problemas en el mundo de la gestión de los recursos hídricos son las pérdidas de agua o también denominadas fugas de agua. En un abastecimiento ideal, el volumen de agua que sale desde el depósito, debería de ser el mismo volumen que se consume. En la realidad, esto no es así. De hecho el municipio de Leioa al entrar en convenio con Udal Sareak en el año 2015, del volumen que se abastecía, sólo se consumía el 50% mientras que la otra mitad se iba perdiendo por el camino.

El agua perdida debido a una fuga se considera aquella que debido al mal estado de algún elemento de la red, no llega a su destino final. Esta se clasifica en dos grandes grupos:

- Pérdidas de fondo: se definen como la suma de todas las pequeñas fugas en la red que no pueden ser detectadas por métodos visuales o acústicos. Corresponden a la primera parte de las fugas ilustradas en la imagen 16.

- Pérdidas sintomáticas: son las fugas de agua como resultado de la rotura de alguna tubería a lo largo del abastecimiento. En este grupo se diferencian dos tipos de fugas: las fugas no visibles y las visibles. La primera de ellas son las que no son visibles a simple vista, pero por medio del estudio de la presión son detectadas y el segundo grupo son las que pueden observarse a pie por el terreno por cualquier persona. Corresponden a la segunda y tercera parte de las fugas ilustradas en la imagen 16.

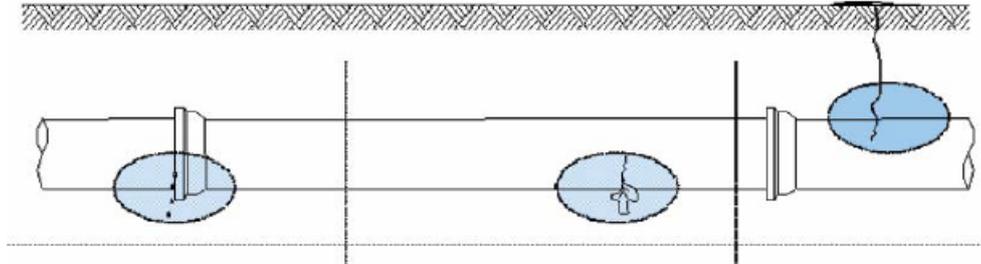


Ilustración 16. Tipos de fugas en tuberías de abastecimiento

## 7. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

En el mundo actual, el uso de mecanismos inteligentes esta al orden del día. La gestión de los recursos hídricos no es menos, los sistemas de control y medición a lo largo de la red de abastecimiento, son sistemas informáticos de respuesta inmediata. El objetivo de trabajar con herramientas informática es obtener una gestión eficaz, autónoma e instantánea, obteniendo un resultado sostenible en todos los sentidos.

Todo el trabajo hubiera sido imposible sin el uso de herramientas informáticas. A continuación se explicará de forma breve los paquetes informáticos utilizados con más frecuencia.

### 7.1. Paquete Microsoft Office

El conocido paquete de Microsoft Office contiene programas comunes como Microsoft Word que permite procesar cualquier tipo de texto, Microsoft Excel programa de hoja de cálculo para generar cruce de datos o PowerPoint que permite desarrollar y desplegar presentaciones visuales.

Microsoft Word es el procesador de texto de la suite. Word posee una posición dominante en el mercado de los procesadores de texto. Su formato propietario DOC es considerado un estándar.

Microsoft PowerPoint es un muy popular programa para desarrollar y desplegar presentaciones visuales en entornos Windows y Mac. Es usado para crear diapositivas multimedia, es decir, compuesta por texto, imágenes, sonido, animaciones y vídeos.

Microsoft Excel es una aplicación de hojas de cálculo utilizada en tareas financieras y contables, con fórmulas, gráficos y un lenguaje de programación.



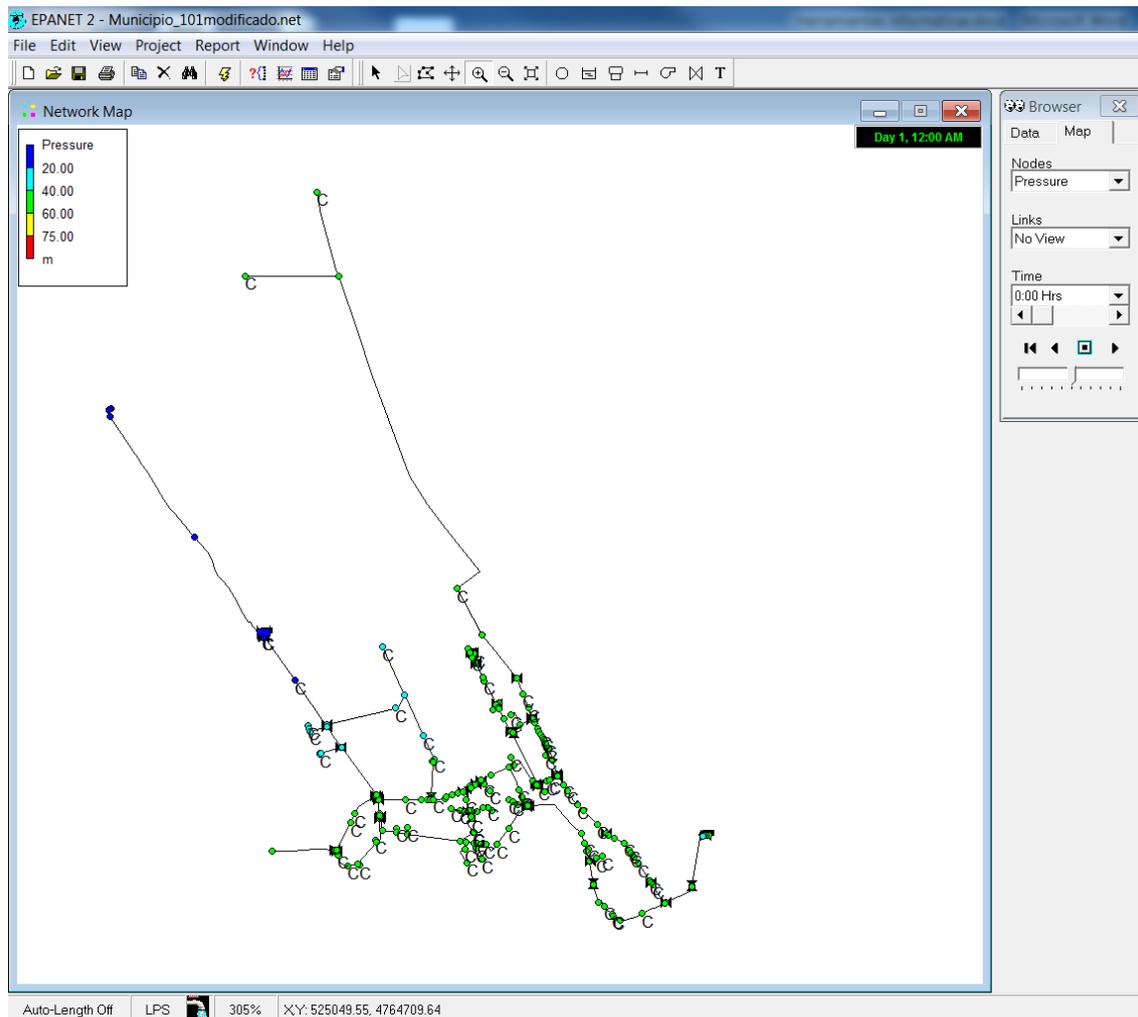
Ilustración 17. Paquete Microsoft Office

### 7.2. Epanet

Epanet es un programa para el análisis de sistemas de distribución de agua potable. El programa es de dominio público. El programa es capaz de trabajar con períodos de simulación sobre hidráulica y el comportamiento de la calidad de las aguas dentro de una red presurizada, además de estar diseñada para ser una herramienta de investigación que mejore el conocimiento del movimiento y destino del agua potable y sus constituyentes en una red de aguas.

El programa, cuya pantalla principal se muestra en la ilustración 18, permite realizar análisis hidráulicos de redes de tuberías a partir de las características físicas de las conducciones y dinámicas de los puntos de consumo, para obtener la presión y los caudales en nodos y tuberías respectivamente. Adicionalmente, Epanet permite el análisis de calidad de agua a través del cual es posible determinar el tiempo de viaje del fluido desde los depósitos, hasta los nodos del sistema.

Entre los elementos que puede simular el programa se encuentran fundamentalmente tubos, nodos, depósitos y embalses, permite utilizar elementos más complejos como bombas y válvulas.



**Ilustración 18. Simulación de la red de un municipio con Epanet**

### 6.3. AutoCAD

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más usados por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y otros. En este trabajo nos permitirá diseñar en un plano toda la red municipal de Leioa al detalle.

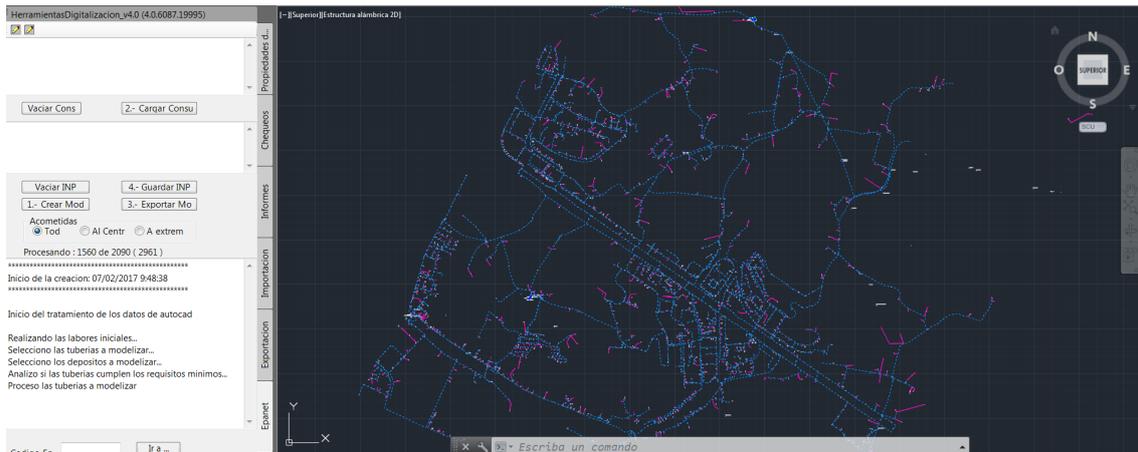


Ilustración 19. Imagen en 2D de la red del municipio de Leioa

### 7.4. GIS

Un sistema de información geográfica, GIS en su acrónimo en inglés, es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los GIS son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología de GIS puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, la gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el marketing, la logística por nombrar unos pocos.

El GIS funciona como una base de datos con información geográfica que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de los mapas digitales. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos y su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar esta herramienta es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información.



Ilustración 20. Imagen de GIS de Sarriena

## 7.5. TAKADU

Takadu es un software Israelí que brinda alertas en tiempo real, sobre datos de fugas y rupturas en la red de agua. Este servicio de software es utilizado por empresas de suministro de agua de todo el mundo para supervisar y gestionar sus redes de distribución de agua en tiempo real.

Takadu envía alertas sobre fugas, roturas y anomalías, así como también proporciona información de la ubicación de éstas, permitiendo que los equipos de detección y reparación localicen y reparen rápidamente los problemas. El servicio no necesita instalar sensores ni medidores, ya que analiza los datos existentes recogidos por la empresa de suministro mediante los caudalímetros y demás sensores de medición, utilizando algoritmos matemáticos y estadísticos avanzados, que se ejecutan en una potente infraestructura informática en nube.

El sistema está basado en los datos existentes y no necesita de ninguna investigación adicional o de ninguna habilidad analítica, simplemente envía alertas sobre eventos, conforme estos

ocurren. No hay necesidad de tratar con modelos hidráulicos o cálculos complejos. El sistema comunica al usuario cuál es el problema, la ubicación, hora de inicio y magnitud, incluso lo asigna a la persona relevante en la empresa, quien puede recibir una alerta en tiempo real por correo electrónico o SMS. La implementación es corta, sencilla y se realiza de forma remota utilizando una conexión de Internet segura.



Ilustración 21. Logotipo del software Takadu

Los operadores de suministro y red de aguas de toda Europa, Australia y Asia han utilizado Takadu con éxito para reducir sus costes operacionales, disminuyendo las fugas y mejorando la eficacia de toda la red.

## 8. MODELO MATEMÁTICO Y MODELIZACIÓN

Una vez confirmado el municipio a analizar, es obtener el modelo matemático y la modelización del municipio. Esta fase consiste en generar un archivo *.net* para poder abrir en Epanet y simular al detalle la red secundaria de abastecimiento.

Las acciones que a continuación se explicarán al detalle, se realizarán con la ayuda esencial y el intercambio de información de varios programas informáticos.

Se comienza recopilando la información básico que facilita el sistema geográfico GIS. Posteriormente y con la ayuda de AutoCad, esa información de la red de abastecimiento de Leioa obtenida en de la base de datos de GIS, se transformará y se diseñará un modelo 2D capaz de ser simulado en el programa Epanet.

Finalmente y una vez obtenido un archivo útil para Epanet, solo se trabajará en este programa, eliminando posibles errores que se hayan heredado desde la base de datos y posteriormente realizando diferentes acciones para que el modelo matemático se asemeje con la mayor precisión a la realidad.

El primer paso del trabajo se puede dividir en dos etapas. La primera será la obtención del modelo matemático (*GIS -> AutoCad -> Epanet*) y la segunda será la modelización del archivo (*Epanet*). A continuación se explicarán al detalle ambas etapas y se registrarán las soluciones tomadas a los problemas surgidos durante el trabajo realizado.

### 8.1. Obtención del modelo matemático

El objetivo principal de este paso será la creación de un archivo reconocible para Epanet desde el sistema geográfico de GIS. En este último programa, se almacena todo tipo de información administrativa y técnica de cada uno de los elementos, siendo una gran y necesaria base de datos alrededor de la red hidráulica de Bizkaia. Desde aquí, se seleccionarán todas las instalaciones que administrativamente pertenezcan al municipio de Leioa y sean explotados por Udal Sareak, ya que son los elementos necesarios para desarrollar el presente trabajo.

Se realizará una acción preventiva en la base de datos de GIS, con la intención de heredar los menos errores posibles en las tareas futuras. Antes de la descarga del archivo desde la base de datos, se realizara una acción que se bautizará como “consultas”.

Con la intención de evitar huecos vacíos de información se ejecutarán unas consultas en GIS para confirmar que se dispondrá de todas las características necesarias y correctas para poder simular la red, es decir, se le realizará una especie de pregunta al programa para evitar fallos o falta de datos. La información básica para poder ejecutar Epanet es conocer el diámetro y el material de las instalaciones, adjuntar a cada usuario su acometida correspondiente y especificar el municipio a todos los elementos.

Las consultas se realizan mediante un lenguaje de programación, generando un mensaje de búsqueda y consulta al programa en función de los intereses. De esta manera se rastrearán diferentes elementos pertenecientes a Leioa , ID de consulta número 32, y pertenecientes a la

gestión y explotación de Udal Sareak, *USSA*. A continuación, diferentes ejemplos de las ordenes impartidas en lenguaje de programación para realizar las consultas:

ELEMENTO DE OTRO MUNICIPIO, el diseño no contenga elementos de otros municipios.

```
Acometida, Conducción, Válvula de cierre,  
where Trazado within trail  
and |Id Municipio| <> 32
```

ACOMETIDAS SIN ADMINISTRATIVOS, los elementos diseñados sean propiedad de Udal Sareak.

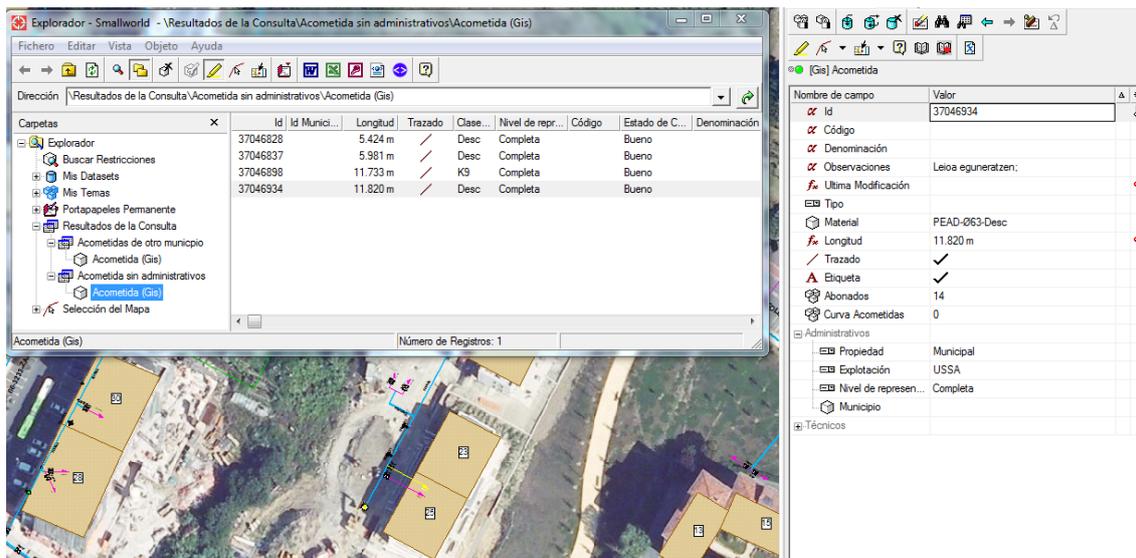
```
Acometida, Conducción, Válvula de cierre,  
where Trazado within trail  
and (Explotación is null  
or Propiedad is null  
or |Id Municipio| is null)  
and |Estado de Servicio| = "En servicio"
```

CONDUCCIONES CON DIÁMETRO O MATERIAL DESCONOCIDO, evitar falta de información.

```
Conducción  
where |Id Municipio| = 32  
and (Material is null  
or |Diámetro Nominal (mm)| = 0  
or Material.Nombre = "DESC")  
and |Estado de Servicio| = "En servicio"  
and Explotación = "USSA"
```

PORTALES SIN ACOMETIDA, para adjuntar los consumos bases en los portales.

```
Portal  
where |Id Municipio| = 74  
and Zona is not null  
and (any Abonados where count ( Consumos ) > 0)  
and any Abonados where |Id Acometida Ag| is null  
and |Fecha Baja| is null
```

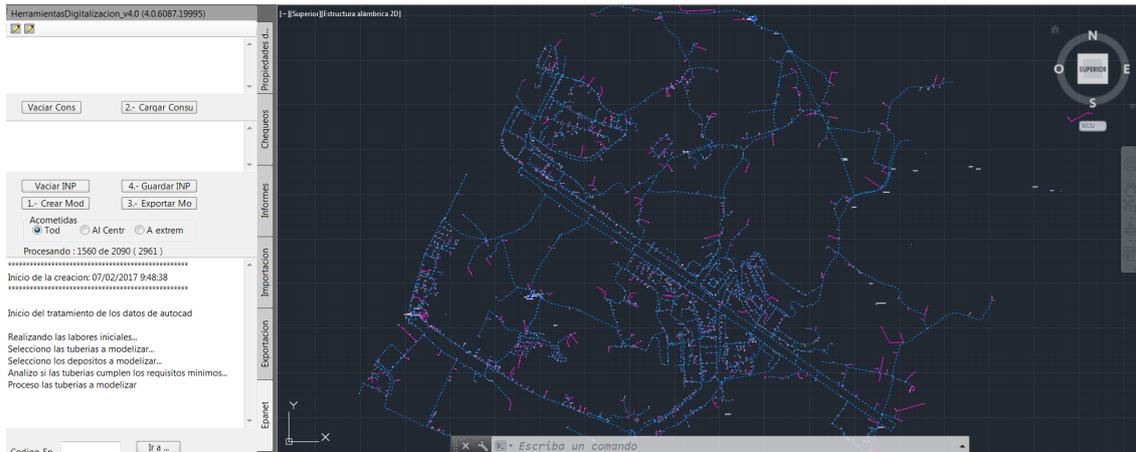


**Ilustración 22. Consulta de acometidas sin información administrativa**

La mayoría de carencias encontradas mediante las consultas realizadas, han sido por falta de características en los elementos. En la ilustración 22, se tiene el ejemplo de una acción preventiva, en este caso el de buscar acometidas sin información administrativa. Es decir, se comprueba que las acometidas que aparecen en el cuadrado de la izquierda pertenecientes en la realidad a Leioa, todas ellas carecen de la información de a qué municipio corresponden. Manualmente se rellena esa información. De no haber realizado este tipo de consultas, estos elementos no se hubieran traspasado desde el GIS hasta Epanet.

Una vez seleccionados todos los elementos con una información completa y correcta, se creará un archivo *.xml* con toda la información obtenida para abrirlo en AutoCAD. Se finaliza la labor con la base de datos de GIS y se trabaja con la siguiente herramienta informática.

En el software de diseño AutoCAD se transformará la información encriptada en el anterior archivo y se diseñará un modelado 2D que represente la red secundaria de abastecimiento de Leioa. Este paso es un paso lento, en el cual se procesan al detalle las características de cada una de las miles de instalaciones, desde la válvula más pequeña hasta el depósito más grande. Una vez reproducido el mapa de la red secundaria, se creará un archivo con esta información capaz de ser utilizado en Epanet.



**Ilustración 23. Fotograma del proceso del diseño 2D de la red de Leioa.**

A partir del presente punto, se trabajará únicamente con el programa informático Epanet. Se utilizará como punto de apoyo para confirmar información la base de datos de GIS y la información que facilita Takadu, pero el desarrollo de las tareas será principalmente en la herramienta que simula redes hidráulicas, es decir en Epanet.

## 8.2. Modelización del municipio

Una vez obtenido un archivo adecuado para emplearlo en Epanet, no significa que esa red sea equivalente a la realidad. Lo que se posee es la información trasladada desde GIS, arrastrando los posibles errores de un sitio a otro. En esta segunda etapa se debe obtener un archivo que simule correctamente la red diseñada, independientemente de si los valores obtenidos sean los correctos o no, es decir, se debe de obtener un modelo sin calibrar, modelo teórico de la red sin fiabilidad en los resultados.

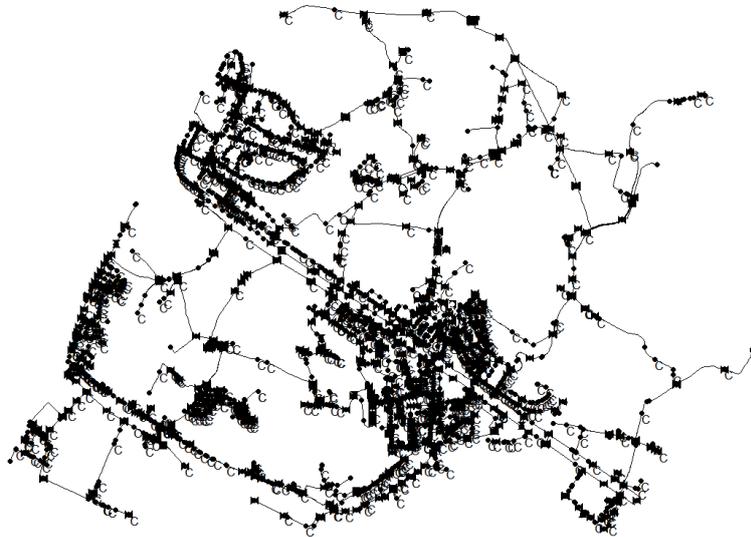
Las acciones a realizar en este apartado:

- Buscar, encontrar y borrar posibles objetos aislados que pertenezcan a la red primaria, como se observa en la ilustración 24.
- Buscar, encontrar y unir objetos aislados de la red secundaria a la propia red.
- Las uniones existentes de la red primaria de abastecimiento, simularlas con un depósito de agua infinita, anotando la cota a la misma altura. Rellenar características de los depósitos existentes, simulando el mismo resultado que aparece en la realidad.
- Registrar la presión de salida de las válvulas reguladoras de presión con la información de inventariado.
- Rellenar y modificar errores de características en los elementos. Se encontraron varios conductos con diámetro 0.



**Ilustración 24. Ejemplo de error de una red no modelizada**

Una vez solucionados estos errores, se obtendrá el “run” del archivo. El archivo simulará una la red secundaria de abastecimiento correctamente, aún muy lejos de la realidad. En los siguientes apartados se irán realizando diferentes acciones para acercar el modelo con la mayor precisión posible a los valores de los diámetros, cota y presión.



**Ilustración 25. Modelo matemático de Leioa**

## 9. MODULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

En el punto anterior se ha obtenido un archivo procesado en Epanet que simula correctamente la red secundaria de Leioa, obteniendo un esquema de la red hidráulica similar al mostrado en la ilustración 25. El próximo paso es el de generar un patrón de consumo diario y base correspondiente a cada nodo, es decir modular el modelo.

Antes de comenzar a explicar las acciones realizadas, se debe de explicar cómo se divide internamente en sectores el municipio de Leioa, detallado en la ilustración 26. Como ya se ha mencionado previamente, el municipio se abastece desde cuatro depósitos: Kurkudi, Sarriena, Gaztelueta y Liboa. Todos ellos, salvo Gaztelueta con tres, tienen una salida de abastecimiento. Cada salida suministra el agua a una zona limitada, esa zona limitada se denomina sector y con un caudalímetro en su cabecera se gestiona el volumen de agua que consumen los abonados de ese sector, facilitando una gestión de calidad.

Cada sector tiene sus características y se le trata de manera individual, con la intención de facilitar la gestión ya que siempre es más fácil controlar grupos pequeños, que un grupo de abonados de un número mucho mayor como podría ser el municipio en su totalidad.

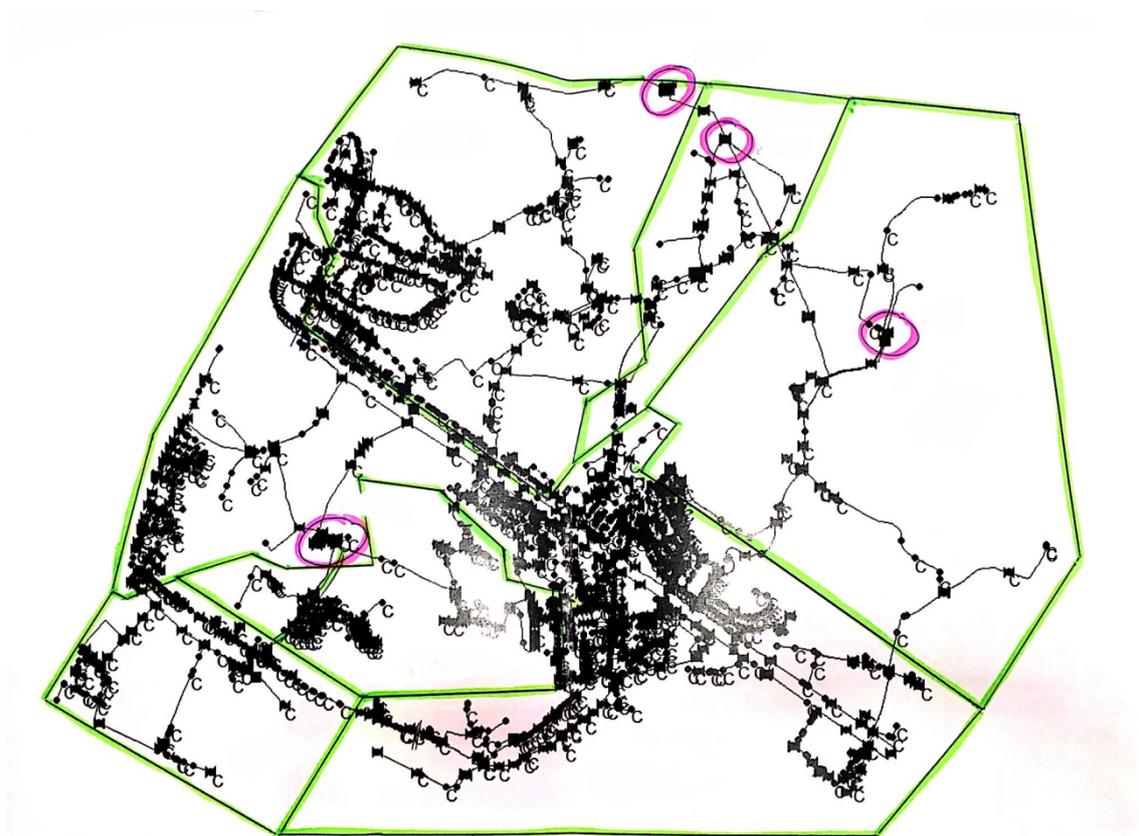
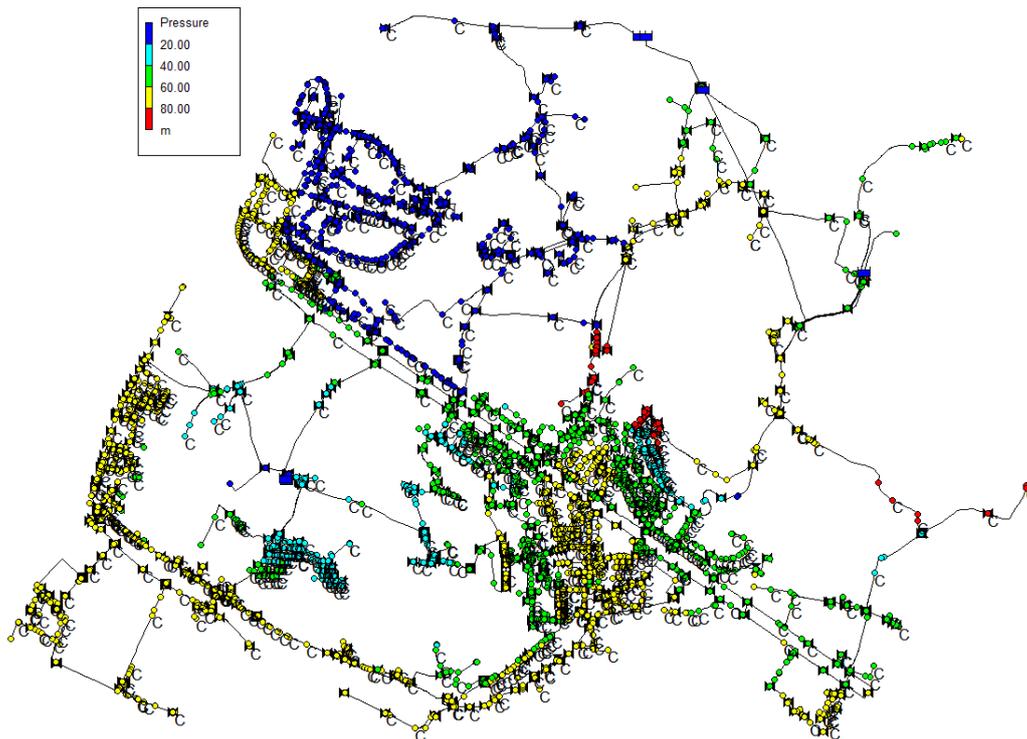


Ilustración 26. Red municipal de Leioa dividida en sectores

Con el fin de facilitar el estudio de la red municipal, hidrográficamente el municipio está separado en seis sectores con sus cuatro depósitos. El primer problema en este paso, es que los sectores no estaban correctamente sectorizados, es decir, había sectores que se abastecían

unos a otros. Esto genera un problema ya que lo que se registra en los caudalímetros, no es exactamente la cantidad real de abastecimiento. Se solucionará limitando correctamente cada zona con la ayuda de las brigadas de trabajo, respetando sus fronteras y permitiendo una única vía de abastecimiento, en el caso de Leioa todas ellas desde depósito.

Verificar una correcta sectorización se realiza con el programa Epanet. Si la zona estudiada está correctamente limitada, en el caso de cerrarle la vía de abastecimiento, todo el sector se quedaría sin agua, ejemplo la ilustración 27. Eso significaría que se le está obstruyendo la única vía de entrada de agua. En caso contrario, si el sector no está correctamente limitado, la presión variará ya que el agua encontrará otro camino en la red para abastecer los puntos.



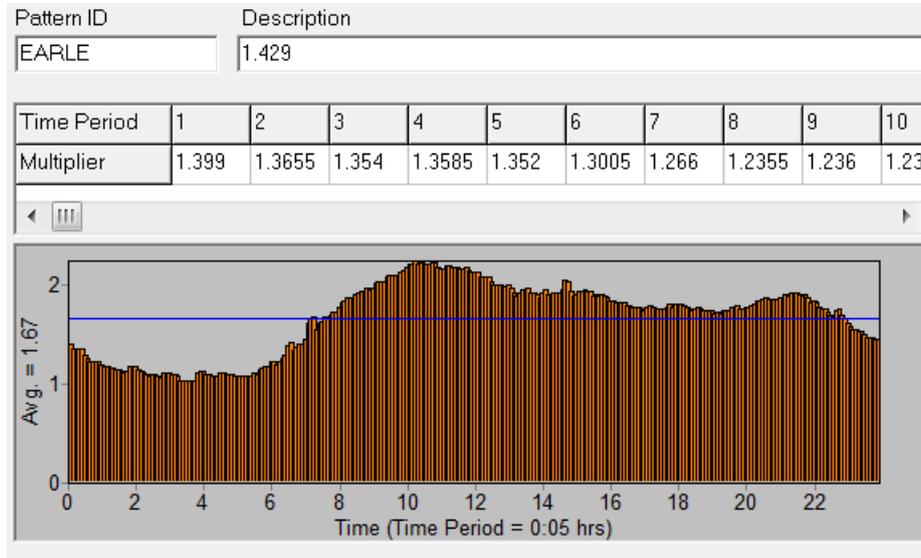
**Ilustración 27. Estudio del sector Artaza**

Confirmados los límites de los sectores y su única vía de abastecimiento, el último paso de la modulación del municipio es aportarle el consumo de cada abonado. El software Epanet define el consumo con dos datos: demanda base y patrón de consumo.

Demanda base se le llama a la propiedad que define la cantidad constante de agua consumida por el abonado a título individual. Podría equivalerse a la media de consumo puntual del cliente durante un trimestre. Definida en l/s, se obtiene desde la base de datos Discoverer, que facilita la información del consumo trimestral de cada abonado del municipio de Leioa.

Se analizarán los diferentes trimestres de los últimos años y se elegirá el trimestre que esté ligeramente por encima de la media. Por un lado debe de ser significativo el valor del consumo y por otro se tiene un margen de error para los próximos años suponiendo el constante aumento del consumo de agua.

Patrón de consumo se le llama a la gráfica de caudal y tiempo que define la cantidad de volumen de agua consumida por un grupo de abonados a lo largo de un día. Un gráfico que día tras día tiene una forma similar, un aumento a primera hora de la mañana y un aumento más leve en las horas previas al fin del día y un valor bajo durante la noche.



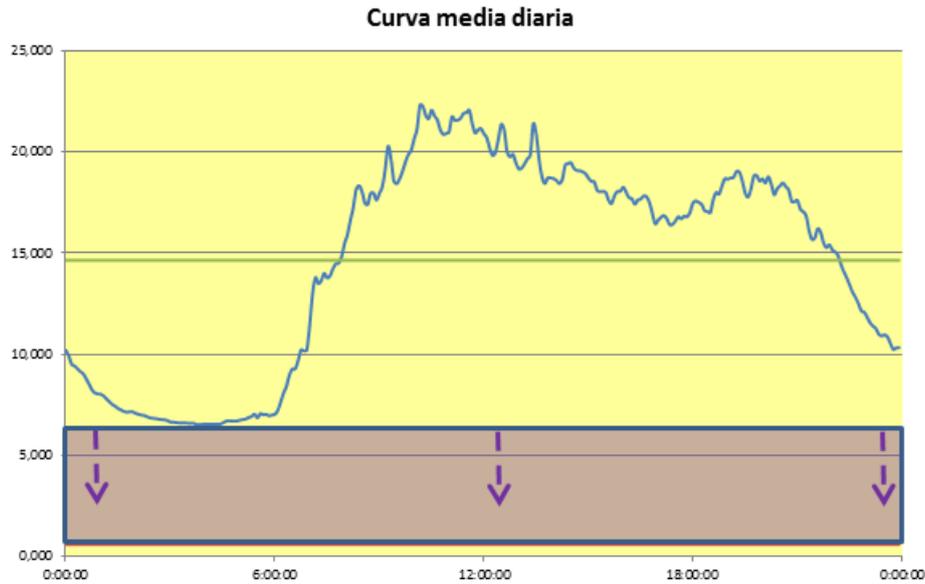
**Ilustración 28. Patrón de consumo del sector Earle**

Se elegirá en el servicio Takadu, el trimestre correspondiente al sector de la demanda base, teniendo un patrón de consumo para cada zona, ya que los abonados de cada uno de ellos no consumen lo mismo ni a las mismas horas. Takadu es un servicio software utilizado por Udal Sareak S.A. para supervisar y gestionar las redes de distribución en tiempo real, facilitando alertas sobre fugas, roturas y anomalías en la red así como datos del caudal y de la presión de los aparatos instalados en los municipios.



**Ilustración 29. Datos del consumo durante un día**

Exportados los datos diarios en un trimestre desde Takadu, mediante un macro archivo de Microsoft Excel se generará una media simulando el patrón de consumo diario. En este paso se genera un error mínimo, ya que el patrón de consumo que posteriormente se insertará en Epanet, es una media de los días de un trimestre, es decir se resume el comportamiento de todos los días de un trimestre en un solo día.



**Ilustración 30. Fondo nocturno en el consumo diario**

La curva de patrón se dividirá en dos partes, se le quitará el 90% del fondo nocturno, zona morada de la ilustración 30, obteniendo el valor diario de fugas de cada sector, dejando un valor mínimo correspondiente al consumo nocturno. Por otro lado, se obtendrá la curva media diaria, representando la cantidad de agua que es consumida y aprovechada por los abonados.

El primer paso será el de importar en el archivo Epanet, los nuevos patrones de consumo de cada sector. Únicamente de consumo, ya que las fugas se han separado. Una vez introducidos en Epanet los patrones diarios de cada sector, se realizará el paso hecho en la comprobación de los sectores. Sector a sector, se cerrará la vía principal de abastecimiento para conocer las dimensiones y abonados exactos de cada uno de ellos. Se generará un trazo en el programa que incluya todos los puntos de dicho sector y se le asignará el valor del patrón de consumo.

De no haber separado el consumo de las fugas, el programa Epanet por defecto, hubiera repartido esa cantidad de agua a lo largo del sector, añadiendo a cada nodo un pequeño porcentaje equivalente al valor de fuga, generando de esta manera, un error notable para la calibración y quitándole veracidad al proceso.

En estos momentos, se posee un modelo matemático que simula correctamente la red secundaria de Leioa y con información correcta sobre los consumos de los abonados.

## 10. CALIBRACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Una vez disponible el modelo matemático con sus respectivos patrones de consumo, es el momento de la calibración. Lo obtenido hasta ahora tan sólo es una correcta simulación de la red secundaria de Leioa, pero lejos de la realidad, con los posibles errores de información que se hayan heredado desde GIS.

En este paso, se tomarán mediciones de presión en 12 diferentes puntos a lo largo del municipio. Los puntos se colocarán en zonas estratégicas de cada sector, siendo un lugar clave de información. En cada uno de ellos y dependiendo de la situación, se realizarán diferentes acciones que permitan ajustar la presión real, con el valor de la presión que se obtiene desde Epanet. En la calibración se ejecutarán dos acciones, colocar la fuga y comprobar las características influyentes en la presión.

A continuación en la tabla 1, se describe el lugar de colocación de los puntos estratégicos divisados en la ilustración 31:

PUNTO	LUGAR	SECTOR
1	c/ Elexalde	Herria
2	c/ Basañase	Artaza
3	c/ Landabarri	Herria
4	c/ Bizkaia	Earle
5	c/ Luis Libano	Herria
6	c/ Sarriena	Sarriena
7	c/ Ikea	Liboa
8	Av. Elexalde	Sarriena
9	c/ Zarrangeta	Artaza
10	Av. Santa Ana	Earle
11	c/ Independencia	Pinueta
12	c/ Saratxaga	Pinueta

Tabla 1. Listado de los puntos de calibración.

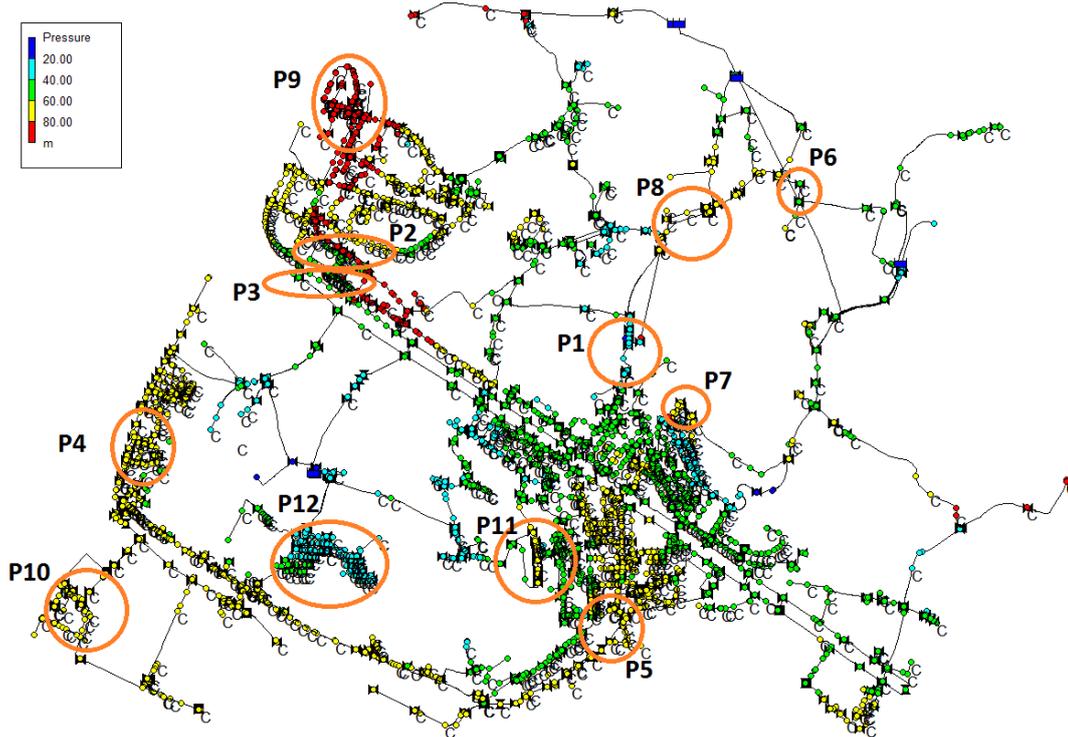


Ilustración 31. Puntos de calibración de Leioa

Los datos se obtendrán de manómetros digitales. Estos instrumentos son registradores de datos, denominados dataloggers. Son dispositivos electrónicos en los que se registran datos en el tiempo, en relación a la ubicación por medio de instrumentos y sensores propios, basados en microcontroladores. Por lo general son pequeños, con batería, portátiles, y equipados con una memoria interna para almacenamiento de datos y sensores. Estos registradores de datos se comunican con un ordenador personal y utilizan software específico para ver y analizar los datos recogidos.

Las fugas se generarán en Epanet mediante el término de *coeficiente emisor*. Este parámetro genera un consumo en el nodo indicado directamente proporcional a la presión, lo cual representa a la perfección la definición de fuga. El valor de dicho coeficiente, se calculará iterativamente mediante la ecuación 6, introduciendo valores de la presión hasta obtener un caudal que represente la fuga.

$$Q = f * C * p^\gamma$$

Ecuación 6. Representación de la ecuación de fugas

- Q es flujo de la fuga
- C es coeficiente de emisión
- $\gamma$  es el exponente de Torricelli
- $p$  la presión.

A continuación se detallará la labor realizada sector a sector y punto a punto, obteniendo como resultado un modelo calibrado. Es decir, un modelo que simule correctamente la

realidad, afectándole de la misma manera cualquier actuación en el archivo de Epanet como en las instalaciones in situ.

### Herria

El punto 1 de calibración se sitúa en la avenida Elexalde, en un hidrante para los servicios de bomberos, entre los portales número 4 y 26. La zona coincide con los límites del sector Herria, entre los sectores Sarriena y Artaza.

El punto 3 de calibración se sitúa en la calle Landabarri, en un hidrante situado en el portal número 31. La zona coincide con los límites del sector Herria y Artaza.

El punto 5 de calibración se sitúa en la calle Luis Líbano, en un hidrante situado en el portal número 40, en la periferia de una rotonda. La zona está en un lugar próximo al sector Earle.



Ilustración 32. Colocación del datalogger en una arqueta

Se registran los datos a lo largo de 48 horas en los lugares indicados, evitando posible anomalías en la red. La situación inicial que obtenemos es la que se muestra en los gráficos 2, 3 y 4 a la izquierda. En azul se muestran los valores de presión a lo largo de un día registrados por el datalogger y en rojo los que simula la red secundaria en Epanet. Las diferencias son notables.

Se analizan los puntos de calibración y la diferencia existente entre los datos reales y lo simulado. La primera conclusión es que la forma de la curva es idéntica, en todas ellas las pérdidas de carga son similares. Es decir, que la diferencia entre el punto más alto de presión a lo largo del día y el punto mínimo de la curva de consumo, es igual en las dos. Esto descarta un error de dimensionamiento en la red de Epanet.

El siguiente paso es el de confirmar la cota del punto de abastecimiento. El sector de Herria se abastece desde el depósito de Gaztelueta. La información de cota de depósito es de 73 metros, coincidiendo con el dato de Epanet. El cambio que se realiza, es tras analizar las dimensiones de la instalación. Este tanque de distribución, tiene unas capacidades de almacenamiento de 13.000 m<sup>3</sup> con una altura laminar estable alrededor de 8 m. Por lo tanto, esa cota genera una diferencia notable en la simulación, ya que en Epanet la cota a la que se define el depósito, es la cota de suelo de la construcción. El cambio afecta a ambos puntos, por lo que se confirma la necesidad de calibración en el depósito.

Realizado el primer paso de calibración, se colocan las fugas que se han obtenido separando el 90% del fondo nocturno de la curva de consumo medio diario. El sector Herria contiene un fondo nocturno de 15,63 l/s que se dividirán en 3 puntos similares a lo largo del sector, situados a lo largo del eje horizontal que definen dos tuberías principales en paralelo que pasan por debajo de la carretera de la Avanzada de Leioa. Esos puntos simularán puntos de fuga, que son necesarios definir para que el valor de las presiones coincida en los puntos de calibración. Se definen ese número de puntos y con ese valor, ya que es el mejor escenario para que el modelo de Epanet simule los datos obtenidos de la realidad.

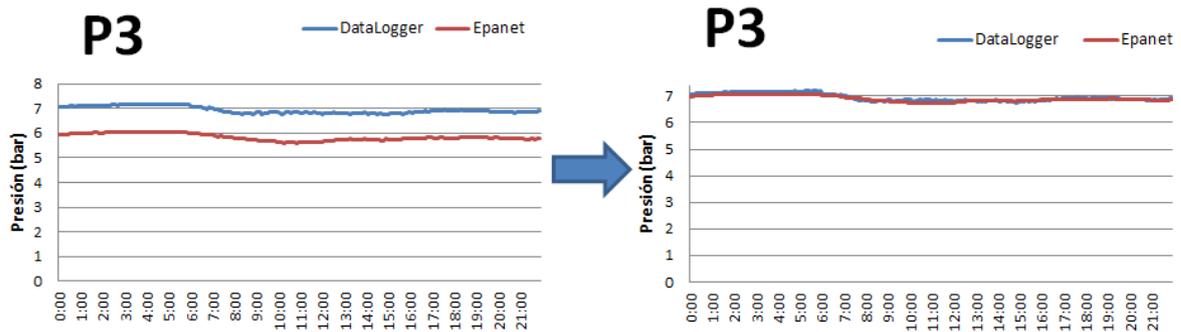


Gráfico 2. Proceso de calibración del P3 en Herria

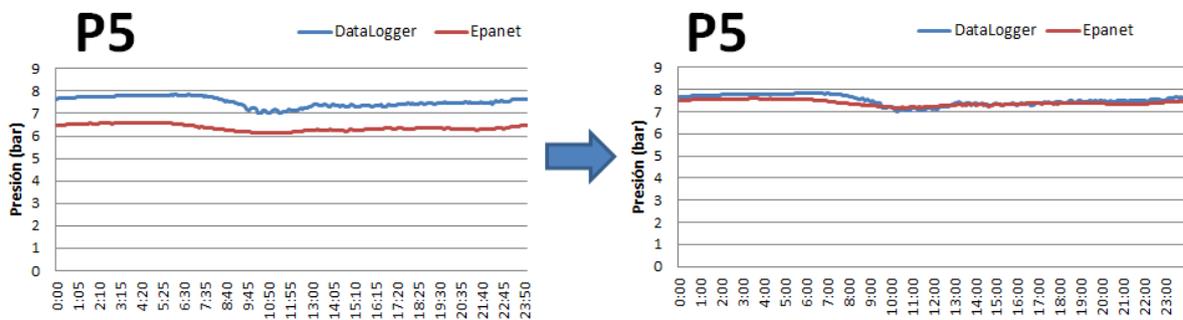


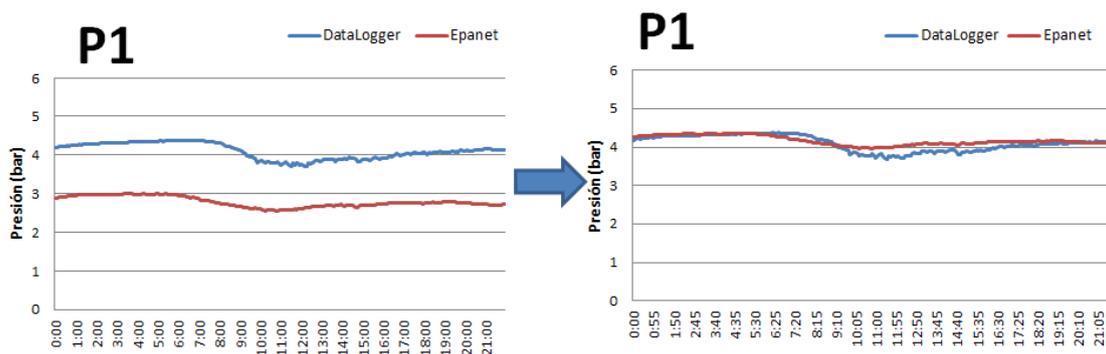
Gráfico 3. Proceso de calibración del P5 en Herria

Posterior a colocar las fugas y una vez calibrados a la perfección los puntos P3 y P5, llama la atención como en el P1, la diferencia de presiones entre la real y la simulada sigue siendo notable. Se comienza un análisis del lugar. En la imagen 33, se visualiza la ubicación del datalogger con una marca roja a la izquierda de la rotonda.



**Ilustración 33. Ubicación del datalogger en el P1**

Descartadas diferentes hipótesis, se llega a la siguiente conclusión: el terreno de calibración ha sufrido modificaciones a causa de la construcción de unos edificios. Esas obras han generado una excavación en el terreno, aproximadamente de 15 m. La diferencia que ha generado el terraplén no ha sido actualizada en el programa informático GIS, que facilita el valor de la zona alta de la excavación. Una vez corregido el error de cota, el punto queda calibrado y directamente el sector Herria también, asimilándose a la realidad al máximo.

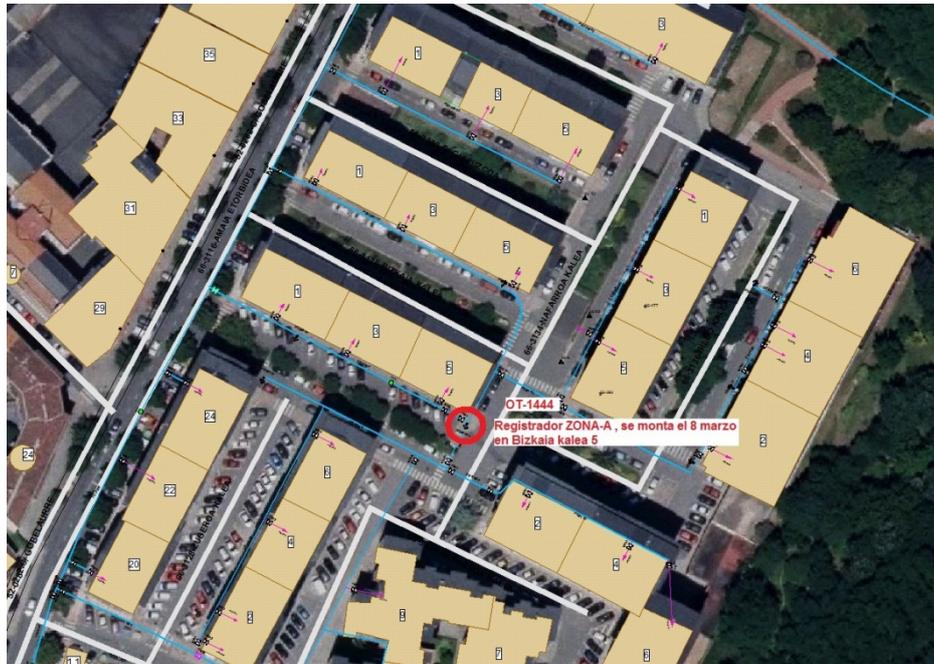


**Gráfico 4. Proceso de calibración del P1 en Herria**

### Earle

El punto 4 de calibración se sitúa en la calle Bizkaia, entre los portales número 3 y 5. La zona coincide con los límites del sector Earle, limitando con el municipio de Getxo.

El punto 10 de calibración se sitúa en la avenida Santa Ana, en un hidrante situado en el portal número 18. La zona está situada en un barrio cercano a la ría del Nervión, exactamente donde muestra la ilustración 34.



**Ilustración 34. Punto de colocación del datalogger en Earle**

Se registran los datos a lo largo de 48 horas en los lugares indicados, evitando posible anomalías en la red. La situación inicial que obtenemos es la que se muestra en los gráficos 5 y 6 a la izquierda. En azul se muestran los valores de presión a lo largo de un día registrados por el datalogger, en rojo los que simula la red secundaria en Epanet. Earle se abastece también del depósito de Gaztelueta, por lo que el cambio de cota de dicha instalación afecta positivamente a la calibración.

Se aprecia como el punto de calibración número 10, no necesita de ningún cambio más. Es suficiente el ajuste de la cota de Gaztelueta para que calibre con exactitud. Lo que significa que el modelo de Epanet obtenido, simula perfectamente la realidad para la zona estudiada.

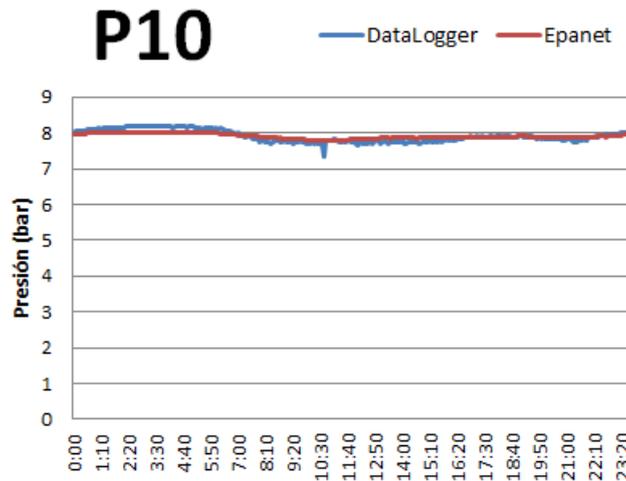


Gráfico 5. Calibración del P10 en Earle

El punto de calibración número 4 requiere de alguna modificación. El pandeo de la curva descarta algún sobredimensionamiento de la red en cuanto a diámetros, ya que la real como la obtenida en la simulación tiene unas pérdidas de carga similares.

El siguiente factor que se analiza es el valor de las curvas. A pesar de la modificación de la cota de Gaztelueta, la curva real de presión es superior a la simulada. Por lo que se concluye que el agua llega al punto de calibración con más energía, es decir, que el fluido se traslada por un camino en la red más directo del que intuye Epanet.

Se analizan diferentes posibilidades, teniendo en cuenta que la zona se abastece desde abajo y que las llaves de arriba están cerradas, y se concluye que para calibrar el punto naranja de la ilustración 5, se deben de cerrar las válvulas de los puntos rojos. La información desde GIS era incorrecta, ya que las definía como válvulas de cierre abiertas. Se comprueban en campo el estado de las dos válvulas señaladas y efectivamente, estaban cerradas.



Ilustración 35. Maniobras para la calibración en Earle

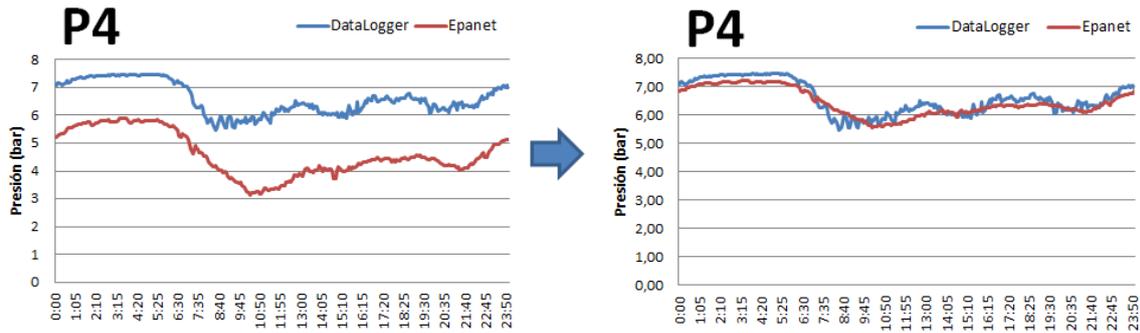


Gráfico 6. Calibración del P4 en Earle

Conjuntamente al primer paso de calibración, se colocan las fugas que se han obtenido separando el 90% del fondo nocturno de la curva de consumo medio diario. El sector Earle contiene un fondo nocturno de 11,49 l/s que se dividirán en 2 puntos. La calibración requería de un punto con una fuga de mayor caudal, cercana al punto P4 y de magnitud 8 l/s, y otro punto de fuga a mitad de camino entre el punto de abastecimiento del sector y el punto de calibración P10 de magnitud 3,49 l/s. Se definen ese número de fugas y con ese valor, ya que es el mejor escenario para que el modelo de Epanet simule los datos obtenidos de la realidad.

### Liboa

El punto 7 de calibración se sitúa en la calle Ikea, en frente del portal número 23. Será el único punto de calibración al ser un sector bastante lineal y sin cambios drásticos de cota. Se elige el punto de final de red ya que será el lugar que recoja todas las incidencias previas.

El sector de Liboa se abastece desde un pinchazo de la red primaria con la red secundaria municipal, para simularlo en Epanet se representa un depósito de agua infinita con la cota correspondiente a Venta Alta.

La situación inicial previa a la calibración, gráfico 7 de la izquierda, es muy significativa. Durante la noche, con un caudal mínimo, el valor de presión coincide. Una vez amanece y los consumos aumentan, los valores de presión se separan, generándose en el modelo simulado unas pérdidas de carga que en la realidad no existen.

Se descartan posibles errores en la cota de la zona o la de depósito, ya que un ajuste de este tipo subiría proporcionalmente toda la curva. Así mismo, un ajuste de la presión de salida de la válvula reguladora de presión, se descarta por la misma razón. El camino es lineal y único, por lo que deja en fuera de juego un posible arreglo como el de Earle. Por lo tanto y visto la diferencia en las curvas reales y simuladas, se busca un ajuste en los diámetros de la red.

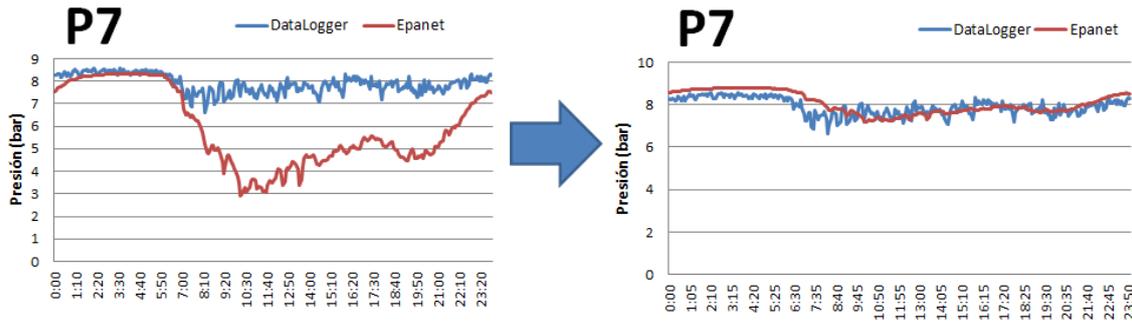


Gráfico 7. Calibración P7 en Liboa

La única vía a analizar es el del dimensionamiento de los diámetros de la red, ya que una mala relación entre el diámetro de la conducción y el caudal que pasa a través de ella, genera uno de los principales motivos de la creación de pérdidas de carga. Se estudia el valor del caudal y el diámetro del conducto, para confirmar si la relación entre ambos es correcta. En esa búsqueda, destaca negativamente el diámetro del conducto principal de abastecimiento de diámetro interior 97 mm, por el que transcurre un caudal 9,47 l/s. Para ese valor de caudal, el diámetro interior recomendado es de 125 mm. Por lo tanto, se manda confirmar las características de dicha tubería y se descubre un fallo de inventariado, ya que las tuberías, como se ha supuesto son de 125 mm.

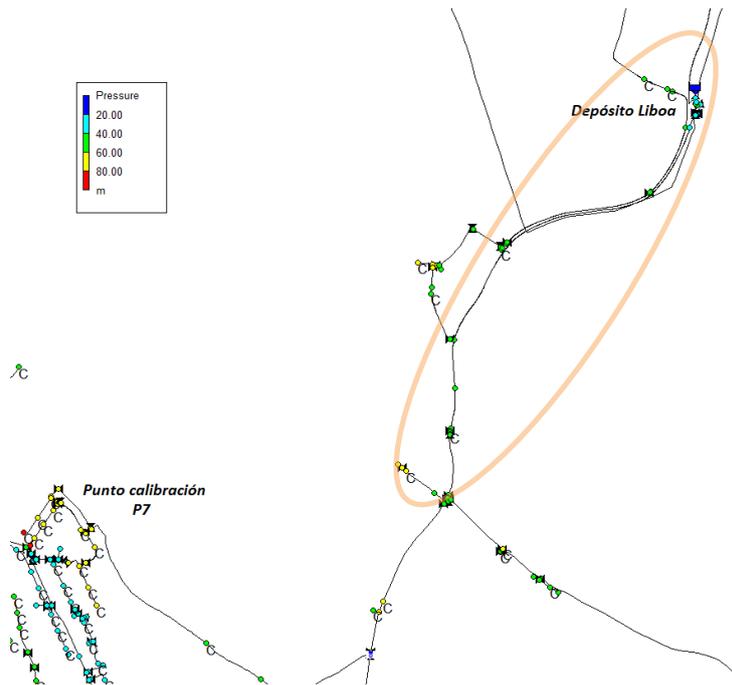


Ilustración 36. Ajuste en el inventariado de GIS para el P7

El ajuste realizado en el diámetro, pasando de un dato erróneo a un buen dimensionamiento, supone el primer paso de la calibración y con la colocación de la fuga se obtiene el gráfico de la derecha del gráfico 7. El sector Liboa contiene un fondo nocturno de 5,87 l/s que se dividirán en un único punto a petición de la calibración. Se obtiene la calibración para el sector.

## Sarriena

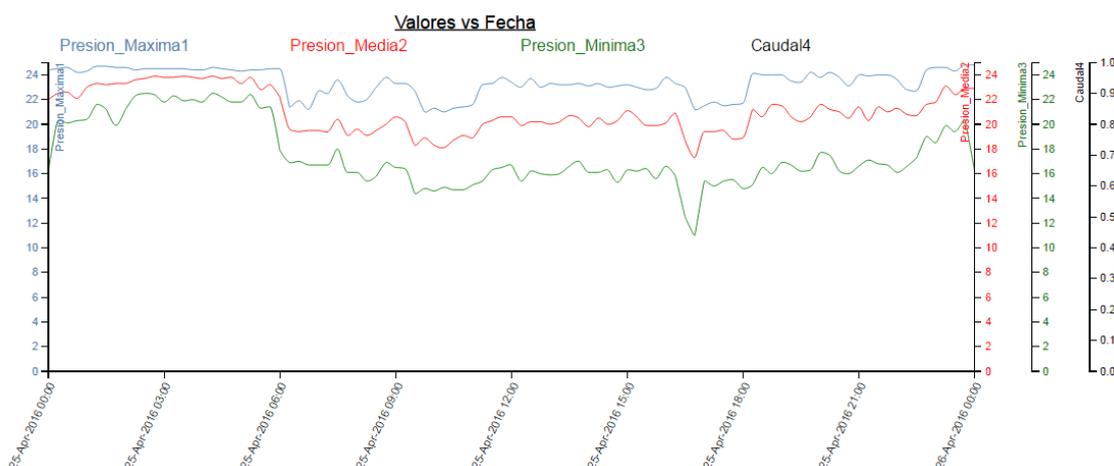
El punto 6 de calibración se sitúa en el barrio Santsoena, en un hidrante. La zona se sitúa debajo de las instalaciones deportivas de Sarriena, una vez pasados los portales 166 y 167.

El punto 8 de calibración se sitúa en la avenida Elexalde, en un hidrante situado en el portal número 27. La zona está situada en el límite entre los sectores de Sarriena y Artaza.

El sector de Sarriena se abastece desde un pinchazo de la red primaria con la red secundaria municipal, para simularlo en Epanet se representa un depósito de agua infinita con la cota correspondiente a Venta Alta. A la salida de dicho punto, se sitúa una válvula reguladora de presión con un valor de salida de 1.8 bar.

Las situaciones iniciales son bastante similares, salvo una diferencia de algo más de 1 bar de presión. El pandeo de ambas curvas se asemeja, por lo que se descartan posibles errores en el dimensionamiento de la red.

La diferencia de salto entre las curvas, sugiere una revisión de cuotas, tanto en la zona de medición o del depósito. Ambas se descartan, ya que la información que está establecida en Epanet es la correcta. Por último, se abre la posibilidad de un valor de presión de salida en la reguladora incorrecto en la realidad y el de la simulación.



**Gráfico 8. Medición de presión de la reguladora de Sarriena**

Se mide el valor de la válvula reguladora de presión de Sarriena. Se registran las mediciones a lo largo de 24 horas y se concluye que el valor de salida preestablecido es incorrecto. El valor medio de la presión de salida es aproximadamente de 2.2 kg. Se ajusta la consigna de la reguladora y su cota, para poder obtener el sector Sarriena calibrado a la espera de las fugas.

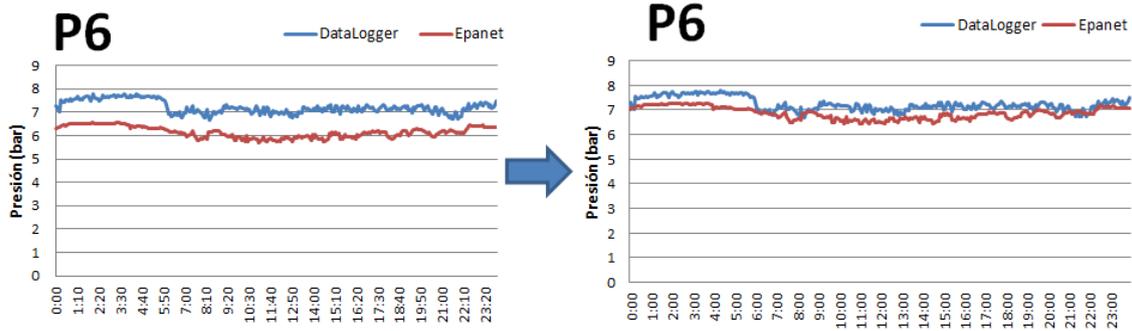


Gráfico 9. Calibración P6 de Sarriena

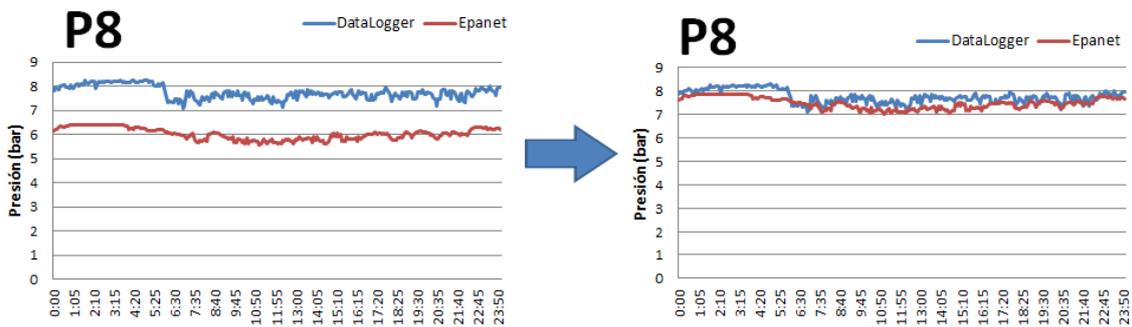


Gráfico 10. Calibración P8 en Sarriena

Conjuntamente al primer paso de calibración, se colocan las fugas que se han obtenido separando el 90% del fondo nocturno de la curva de consumo medio diario. El sector Sarriena contiene un fondo nocturno de 1,16 l/s que se colocará en un único punto. La calibración requería de un punto de fuga, alejado de la zona de celebración y cercano a la válvula reguladora de Kurkudi. Se definen ese lugar y con ese valor, ya que es el mejor escenario para que el modelo de Epanet simule los datos obtenidos de la realidad.

### Artaza

El punto 2 de calibración se sitúa en la calle Basañese, en un hidrante frente al portal número 21. La zona coincide con los límites del sector Artaza, limitando con sector Herria.

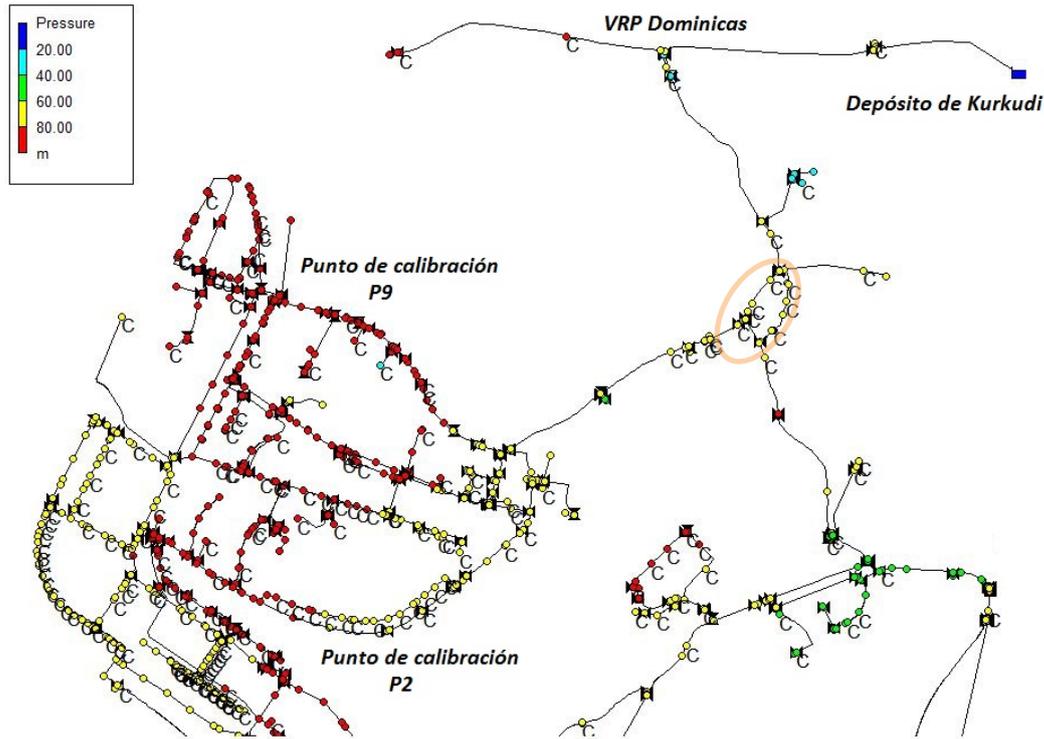
El punto 9 de calibración se sitúa en la calle Zagarreta, en una boca de riego situado en el portal número 30. La zona está situada en un barrio cercano al municipio de Getxo.

Se registran los datos a lo largo de 48 horas en los lugares indicados, evitando posible anomalías en la red. La situación inicial que obtenemos es la que se muestra en los gráficos 1 y 12 a la izquierda. En azul se muestran los valores de presión a lo largo de un día registrados por el datalogger, en rojo los que simula la red secundaria en Epanet.

Artaza se abastece del depósito de Kurkudi y tras la acometida del centro comercial de Artea, existe una instalación con una válvula reguladora de presión en Dominicas prácticamente al principio del sector. Dicho elemento debería de plasmar una presión constante aguas abajo. Se obtiene una curva similar en la realidad, pero no en cambio en la simulación de Epanet, lo que

indica un error de dimensionamiento en la red simulada que está creando más pérdidas de carga de las que realmente existen.

Se revisa uno a uno el diámetro y el caudal que circula por los conductos que preceden a los puntos de calibración del sector de Artaza. Finalmente se encuentra un ramal de diámetro 45 mm con un caudal de 7,66 l/s, con toda seguridad el causante de las pérdidas de carga, ya que para ese flujo las características de la tubería deberían de estar entre los 100-125 mm. Se realiza el cambio en la zona señalizada en la ilustración 37.



**Ilustración 37. Ajuste de inventario en GIS para P2 y P9**

El ajuste realizado en el diámetro, pasando de un dato erróneo a un buen dimensionamiento, supone el primer paso de la calibración y con la colocación de la fuga, se obtiene el gráfico de la derecha del gráfico 11. El sector Artaza contiene un fondo nocturno de 6,19 l/s que se dividirán en un único punto a petición de la calibración, cercano al lugar de calibración del P2. Se obtiene la calibración para el sector con un alto grado de precisión.

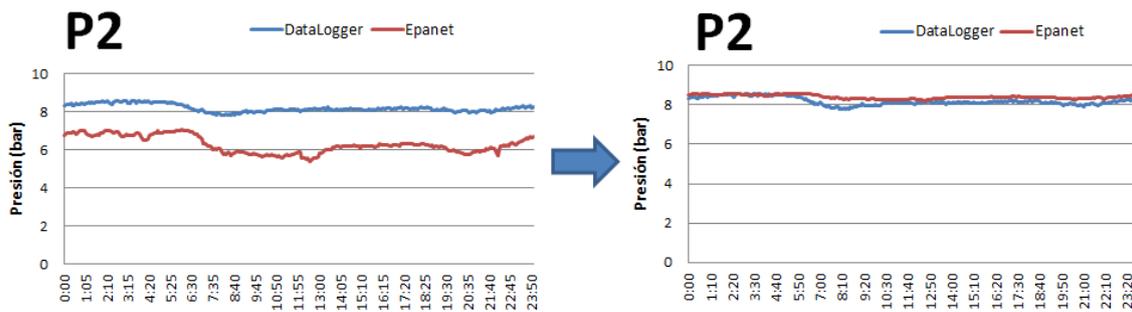


Gráfico 11. Calibración del P2 en Artaza

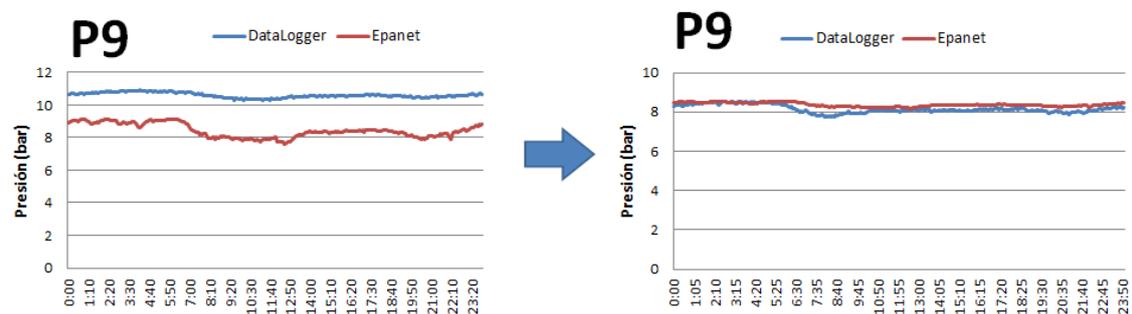


Gráfico 12. Calibración del P9 en Artaza

### Pinueta

El punto 11 de calibración se sitúa en la calle Sakoneta, entre los portales número 10 y 14. La zona coincide con los límites del sector Pinueta, limitando con el sector de Herria y Earle.

El punto 12 de calibración se sitúa en el barrio de Txorierri, en un hidrante situado en el portal número 18. La zona está situada en un barrio debajo del depósito de Gaztelueta.

El sector de Pinueta se abastece desde el depósito de Gaztelueta, con una válvula reguladora de cabecera que establece una presión de salida para todo el sector. Es un sector pequeño que suministra agua a un barrio formado por urbanizaciones y a una zona de consumos bajos, sin apenas pérdidas de carga. Prácticamente no ha sido necesario realizar ningún ajuste para obtener una calibración adecuada del lugar.

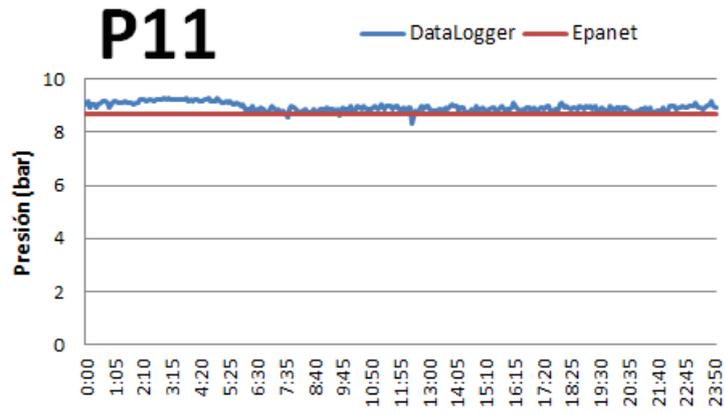


Gráfico 13. Calibración P11 de Pinueta

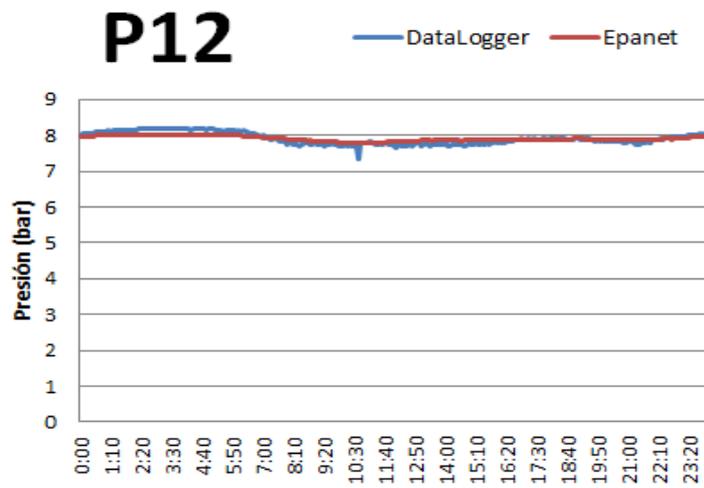


Gráfico 14. Calibración P12 de Pinueta

## 11. SECTORIZACIÓN

Una vez obtenido el modelo matemático calibrado y que simula con un alto grado de exactitud la realidad, es el momento de empezar a realizar simulaciones en el programa informático para lugares de Leioa en los que la red sufra problemas.

Todo lo realizado hasta ahora, se ha llevado a cabo con la intención de tener la posibilidad de hacer infinitas simulaciones en el modelo matemático, ahorrando gastos de personal, tiempo y posibles averías si esas simulaciones se hubieran hecho en la red in situ.

El proceso de sectorización se denomina a la acción de delimitar funciones y competencias en sectores homogéneos de actividad, para precisar responsabilidades, evitar duplicidad de funciones y permitir que las decisiones y acciones fluyan de manera rápida y eficiente. En el sector de abastecimiento de agua municipal, la acción de sectorizar sirve para generar zonas de consumo cerradas en las que el abastecimiento a dicho lugar se realiza por una única vía, creando fronteras entre diferentes entradas de agua.

Resumiendo se define la sectorización como el proceso para obtener un área de la red de distribución de agua, con un contorno permanentemente definido y aislado del resto de la red, normalmente creado cerrando válvulas de corte.

A la hora de gestionar la red secundaria de abastecimiento de un municipio, es imprescindible llevar a cabo una división de la red en sectores. Es sin duda una de las técnicas más efectivas.

Los beneficios que se obtienen a la hora de gestionar la red mediante sectores son abundantes. Instalando medidores de caudal a la entrada de cada sector, se registrará información que permite interpretar y analizar el estado de la red. Por un lado, el valor obtenido mediante los caudalímetros, se comparará con la suma de los consumos del sector. Un resultado elevado en el valor del agua transcurrida por los medidores en comparación con los consumos, permite descubrir y localizar fugas en la red. Con esta reducción de las pérdidas será posible ahorrar agua, un recurso limitado y a su vez ahorrar dinero, reduciendo los costos de operar, tratar y transportar una cantidad de agua que al final no va a ser consumida.

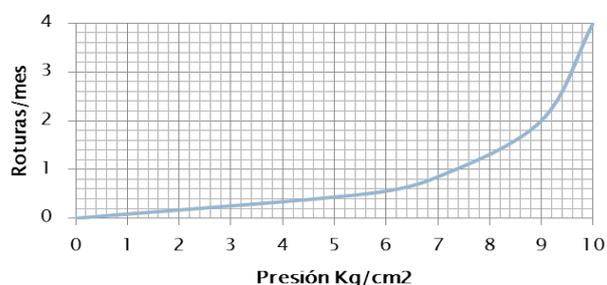


Gráfico 15. Relación presión y roturas mensuales en la red.

Otro de los beneficios que se obtienen de esta técnica de gestión, es mejorar las condiciones de trabajos de todos los elementos en la red. Una buena sectorización, permite tener una presión entre valores óptimos en todos los puntos de consumo.

Además de la satisfacción del cliente, una presión correcta disminuye considerablemente las roturas que se generan en las tuberías. Como se puede observar en el gráfico 15, una presión elevada conlleva a un aumento exponencial del número de roturas en dicho punto.

En la descripción inicial de la situación de la red de Leioa es la que aparece en la ilustración 38. Se observa como la presión media es bastante elevada, habiendo varias zonas en las que ese valor en puntos de consumo supera los 80 m.c.a. Las zonas con valores óptimos de presión, zonas verdes, son escasas. En cuanto a las fugas del municipio, se confirman en 43,5 l/s en total mediante el programa de almacenamiento de datos Takadu.

Es evidente que la red de abastecimiento municipal de Leioa, requiere de algunas modificaciones para mejorar su estado. Para ello, se propondrán dos alternativas posibles para gestionar de una manera diferente el municipio vizcaíno. Se describirán ambas y se compararán, con la intención de elegir la mejor opción valorando aspectos económicos, técnicos y sociales.

### 10.1. Alternativa 01

La primera alternativa, se va a realizar sin tener en cuenta el estado de los sectores actuales. Es decir, se van a eliminar virtualmente todos los sectores y se realizarán sectores nuevos con la intención de generar circunstancias más adecuadas para la red de abastecimiento.

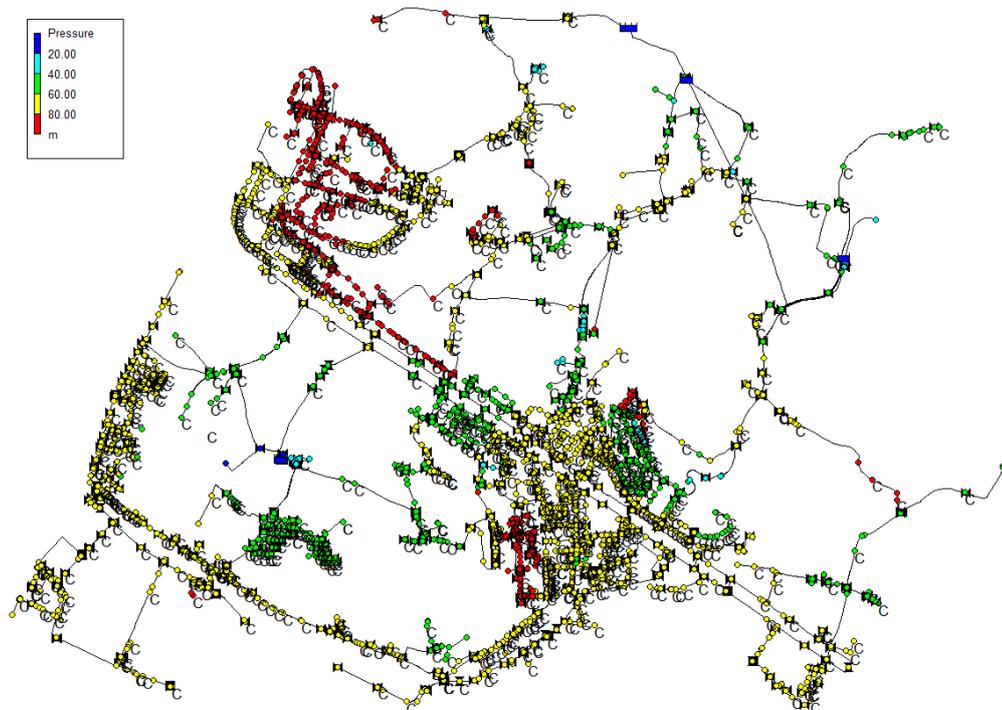


Ilustración 38. Estado previo de la red municipal de Leioa

Como se ha detallado previamente, un parámetro muy importante dentro de la gestión del abastecimiento del agua es la presión. Directamente relacionado con este valor, se encuentra la altura geográfica o cota del lugar. La diferencia entre la cota del punto de consumo y la cota de depósito, definirá la presión en dicho punto.

El municipio de Leioa es un municipio con un relieve geográfico pronunciado, es decir, tiene zonas extensas a nivel de mar y otras zonas a una cota de 115 m. Como se observa en la ilustración 39, hay zonas del municipio conjuntas a la ría del Nervión con cotas muy bajas, mientras que en el lado opuesto de Leioa, se encuentran puntos de consumo de cotas elevadas como puede ser el parque científico de la Universidad del País Vasco o las instalaciones deportivas de Sarriena.

Para la alternativa 01 se diseñarán sectores que dispongan de cotas similares, creando sectores con una diferencia de cota entre el lugar de abastecimiento y el lugar de consumo adecuado. Se definirá por lo tanto una sectorización mediante cotas.

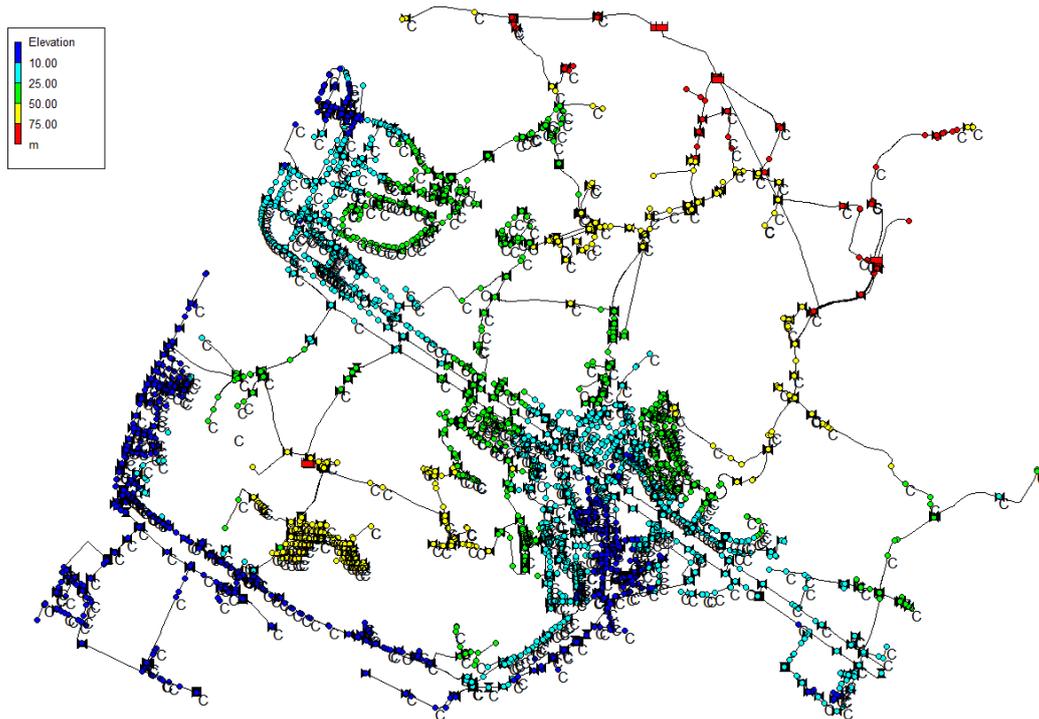


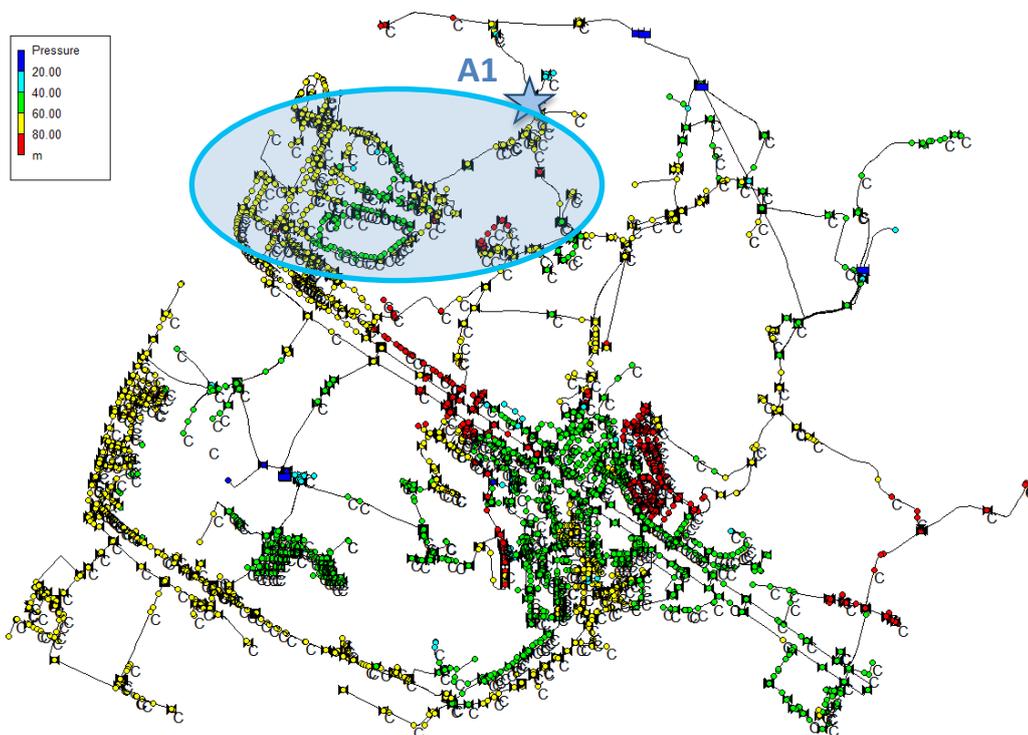
Ilustración 39. Altitud del municipio de Leioa

A continuación se detallarán una a una las actuaciones que se proponen para generar un estado de red excelente en Leioa, definiendo nuevos sectores en lo que se ha llamado la alternativa 01.

- Actuación 01

En el actual sector Artaza se registran presión excesivamente elevadas de más de 110 m.c.a. en la zona que limita con el municipio de Getxo. El motivo de esos valores, como se observa en la ilustración 39, es que el depósito de Kurkudi se encuentra a una cota de 115 m de altura y los puntos de consumo en cotas muy bajas.

A pesar de que se encuentra instalada una válvula reguladora de presión a la salida del depósito y teniendo en cuenta la gran diferencia de cotas que supone un valor excesivo de presión, se propone instalar otra válvula reguladora de presión en un punto intermedio entre las cotas.



**Ilustración 40. Actuación 01 de la alternativa 01**

Instalando la válvula reguladora en el punto indicado de la ilustración 40, se estabilizará la presión dentro de unos valores óptimos que se definirán con la presión de salida del elemento, afectando a todos los puntos de consumo que se encuentran dentro del sombreado azul. Así mismo, esta actuación permite definir el primer sector, estando dentro de él los puntos mencionados y los puntos que se encuentran entre la reguladora propuesta y el depósito de Kurkudi.

## - Actuación 02

Una de las premisas que requiere este trabajo, es el de poner en funcionamiento una tubería existente, pero inoperativa, que da abastecimiento a las nuevas instalaciones del campus universitario de Leioa. Mediante esta tubería, que a partir de ahora se le conocerá como tubería del parque científico, se pretende abastecer no sólo a las nuevas instalaciones universitarias, si no también a los sectores de Sarriena y Liboa.

Hasta ahora, la poca demanda que requerían los nuevos edificios de la Universidad del País Vasco, generaba un problema. El agua se estancaba a lo largo de la tubería y al ser consumida, el estado de turbidez y calidad estaban en los límites permitidos, creando un estado de insatisfacción y desconfianza en el consumidor.

La idea que se pretende desarrollar en la actuación 02, es la de abrir las válvulas de conexión de la tubería del parque científico con los consumos de los sectores de Sarriena y Liboa. Es decir, abastecer no sólo al campus universitario, si no también a los abonados de estos dos sectores mencionados. De esta manera la circulación del agua será más dinámica al tener un mayor consumo, desapareciendo los problemas existentes.

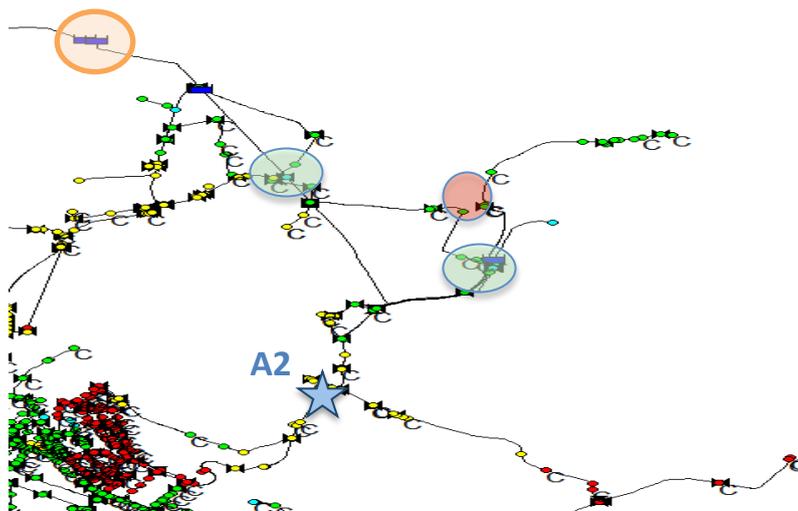


Ilustración 41. Actuación 02 de la alternativa 01

En resumen, la actuación 02 requiere de las siguientes maniobras: se pone en funcionamiento la tubería del parque científico, sombreado naranja de la ilustración 41. A la vez, se abren los puntos de conexión de dicha tubería con los sectores de Sarriena y Liboa, sombreado verde, dejando en desuso los pinchazos con la red primaria y sus respectivas válvulas reguladoras con las que actuaban estos sectores.

Las maniobras mencionadas previamente, establecen valores de presión óptimos para la mayoría de zonas abastecidas. Excepto el barrio de Ikea, nodos en rojo de la ilustración 41, que se encuentra en lo alto de una colina. Para evitar esta sobrepresión, se propone instalar una válvula reguladora de presión en el punto indicado, reduciendo el valor hasta establecerlo en valores óptimos.

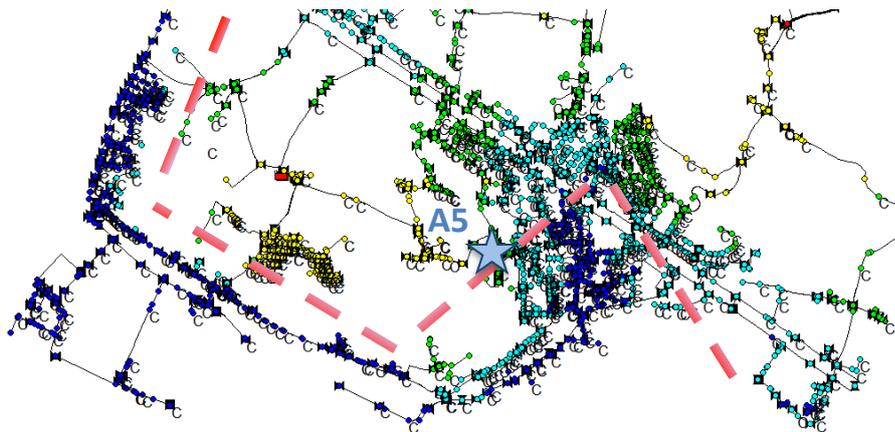
La presente actuación genera un problema, existe un punto de falta de presión, sombreado rojo de la ilustración 41. Las pérdidas de carga en dicho punto son muy altas, producto de un diámetro reducido y de un recorrido con muchos cambios de sentido. La solución más adecuada que se ha propuesto, es la de realizar un empalme aproximadamente de 5 m, con una tubería cercana, reduciendo el recorrido y sobre todo las pérdidas de carga.

#### - Actuación 03

La ilustración 39, en la cual se define el municipio de Leioa en cotas, muestra como en la zona baja hay una extensa llanura de cotas a nivel del mar. La actuación 03 propone realizar un sector para esa cota, que con la ayuda de una válvula reguladora de presión, establezca una presión prácticamente constante a lo largo de los puntos de consumo.

Es decir, los actuales sectores de Earle y de Herria tendrán una frontera definida puramente por la diferencia de cotas. Se muestra en la ilustración 42, la frontera establecida para los puntos, creando el nuevo sector Earle con cota más baja y nuevo sector Herria.

Por lo tanto, la actuación 03 trata de abrir y cerrar válvulas deshaciendo lo establecido y definiendo los nuevos sectores con las premisas explicadas.



**Ilustración 42. Actuación 03 de la alternativa 01**

#### - Actuación 04

Ligada con la anterior maniobra, la presente actuación pretende instalar una nueva válvula reguladora de presión en cada uno de los nuevos sectores definidos. Ambas se instalarían en la cabecera del sector, aprovechando que las cotas son muy similares, se establecerá una presión similar, estable y adecuada a lo largo de cada sector.

#### - Actuación 05

En la ilustración 42, se indica el lugar en el cual mediante unas maniobras de apertura y cierre de válvulas, se pasará la cola del sector Pinueta al nuevo sector Herria. Una maniobra sencilla y sin dificultad que permitirá bajar la presión en el lugar mostrado alrededor de 25 m.c.a.

Una vez decididas las actuaciones, se simulan todas en conjunto y se confirma que todos los puntos de consumo disponen de presión a lo largo del día. Antes de continuar en busca de los beneficios que se obtienen gracias a las maniobras realizadas, hay que asegurarse de un último detalle: la altura de los edificios.

Los valores de presión que se obtienen en Epanet, son los valores que se medirían con un medidor de presión en la acometida, es decir, a la cota de la acera. En Leioa no existen muchos edificios de gran altura, pero se debe tener en cuenta que la presión que se dispone en la última planta de un edificio de 11 pisos es muy diferente a la que se dispone a ras de suelo. Por ello y utilizando la ecuación 7, se comprueba la presión que deben de disponer los edificios según su número de plantas para que no haya ningún tipo de problema.

$$\text{Margen Normativa} + (n^{\circ} \text{pisos} + 1) * 3 \leq \text{Presión}$$

#### Ecuación 7. Valor mínimo de la presión en función de la altura del edificio

En la ecuación 7, el valor del margen según la normativa vigente es de 15 m. Se tiene en cuenta el número de pisos, añadiéndole el bajo y una altura para cada uno de ellos de 3 m. La suma de los productos anteriores debe de ser inferior a la presión obtenida en la acometida, para que ningún usuario del edificio tenga problemas de presión.

Haciendo un resumen de lo explicado anteriormente, la primera alternativa de sectorización de Leioa se definiría mediante el mismo número de sectores, pero definidos por unos límites nuevos en base a las cotas. Se propone implantar 4 válvulas reguladoras de presión nuevas y se cumplirá el requisito de poner en marcha la tubería del parque científico. Por otro lado, aparece el inconveniente de la necesidad de realizar una pequeña obra.

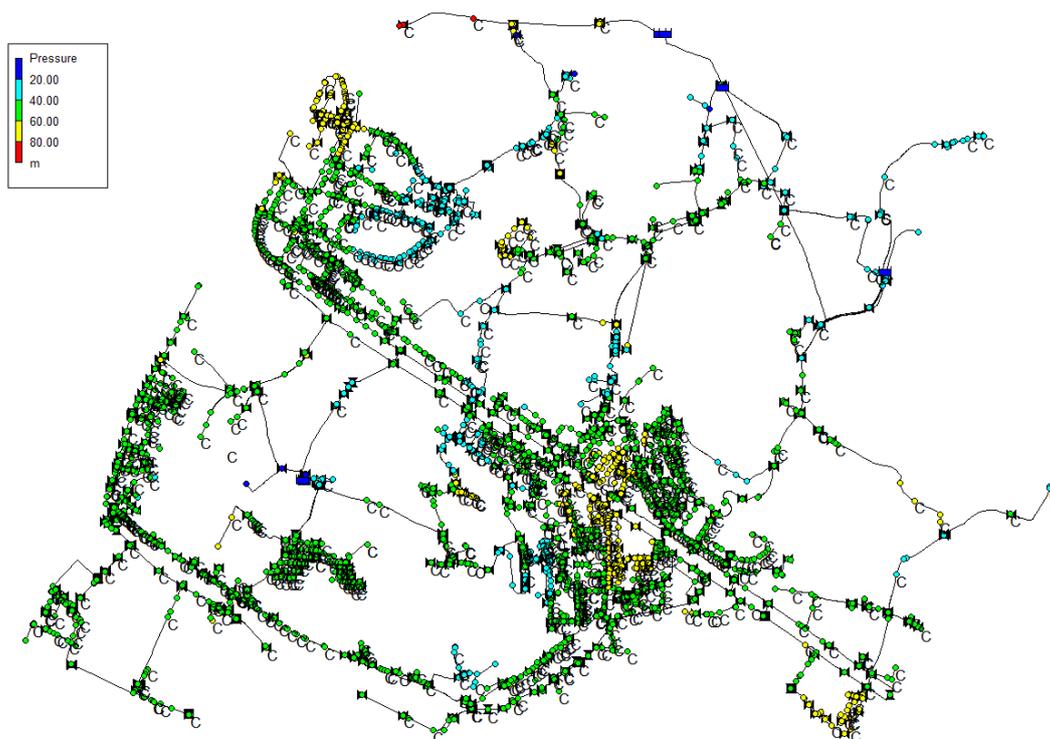
Finalmente para valorar la alternativa 01 propuesta, se analizarán al detalle los valores importantes para evaluar el estado de la red. Se detallará sector a sector, la reducción del caudal de la fuga de agua, la reducción de presión obtenida gracias a las actuaciones y el ahorro económico que supondría para el Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia el hecho de no tener que abastecer esa cantidad de agua, suponiendo un coste de 0.85€/m<sup>3</sup> de abastecimiento.

SECTOR	ARTAZA	SARRIENA	LIBOA	EARLE	HERRIA	PINUETA	TOTAL
Reducción de fuga (l/s)	1,82	0,34	1,49	1,63	1,26	1,35	7,89
Reducción de fuga (l/DÍA)	157944	29358	129024	140982	109488	116640	683436
Reducción presión (kg)	3,3	1,5	1,9	2	1	2	-
Ahorro €/MES (a 0,85 €/m <sup>3</sup> )	1.548,47 €	287,82 €	1.264,94 €	1.382,18 €	1.073,41 €	1.475,00 €	7.031,22 €

Tabla 2. Resumen de la alternativa 01

Los cálculos se han obtenido mediante las simulaciones en el programa Epanet. Como se ha explicado previamente, la red de abastecimiento ha sido calibrada con unos valores de fuga, que se definen mediante un coeficiente emisor, relacionado directamente con el valor de la presión. Uno de los objetivos de la sectorización, consiste en disminuir la presión, por lo tanto el caudal de fuga disminuirá. Por otro lado, el valor de la reducción de la presión, se obtiene de la reducción que imponen las válvulas reguladores. Finalmente el ahorro, es una operación entre la reducción obtenida y el costo de abastecimiento.

En la ilustración 45 se muestra el nuevo estado de la red de abastecimiento secundaria una vez aplicadas las actuaciones de la alternativa 01. Desaparecen las zonas en sobrepresión y domina claramente el color verde, el cual define la franja de valores de presión óptima.



**Ilustración 43. Estado de la red para la alternativa 01**

## 10.2. Alternativa 02

La siguiente propuesta, se va a explicar mediante el mismo procedimiento que la anterior, se denominará como alternativa 02. Esta vez, se mantendrán los mismos sectores vigentes pero se añadirán maniobras con la intención de obtener una presión media en la red más baja. Se parte de nuevo desde la ilustración 38.

### - Actuación 01

Manteniendo los límites del sector Earle, situado junto a la orilla de la ría del Nervión, y analizando las características de cota prácticamente constante del sector, se propone colocar

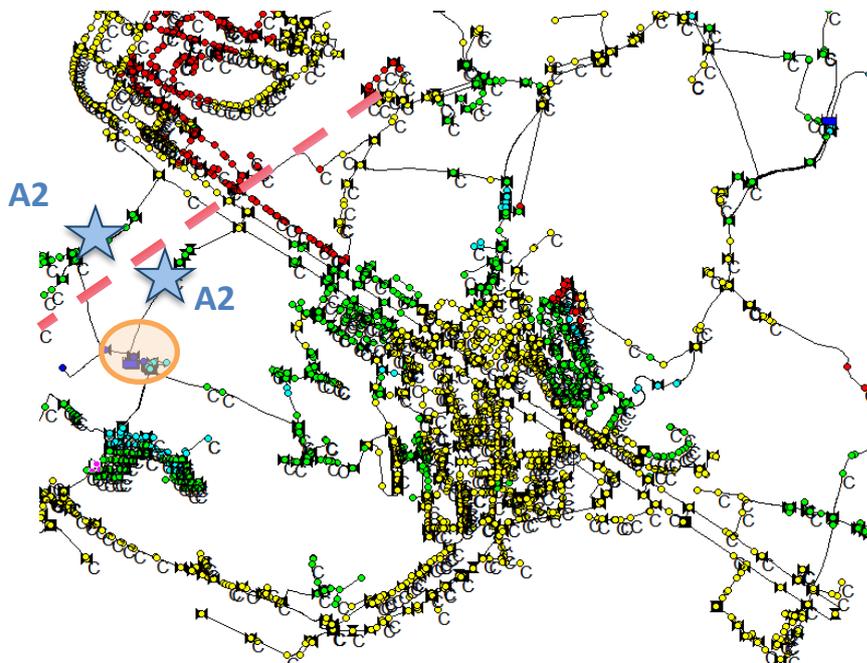
una válvula reguladora de presión a la salida del depósito. De esta manera, con la ayuda de la reguladora, se podrá disminuir la presión equitativamente a lo largo del sector.

Una maniobra similar a la utilizada en la alternativa 01 en la actuación 04.

#### - Actuación 02

El sector HERRIA es el sector más grande en cuanto a números de abonados y longitud de red. Para una mejor gestión de la red secundaria de abastecimiento se propone dividir el sector en dos mitades, creando del mismo sector dos subsectores. Ese corte se realizará en consecuencia a las dos vías de abastecimiento que posee el depósito de Gaztelueta.

Como se muestra en la ilustración 46, del depósito sombreado en naranja salen dos vías, las cuales son separadas por la línea discontinua en rojo, que simula la frontera de ambos subsectores. De esta manera el sector HERRIA queda separado en dos partes, lo que permite a uno de ellos subir su frontera adquiriendo parte del sector ARTAZA con el objetivo de bajar la presión en una gran parte de puntos de consumo.



**Ilustración 44. Actuación 02 de la alternativa 02**

Con la intención de reducir al máximo posible la presión. Se propone instalar en los lugares señalados de la ilustración 46 dos válvulas reguladoras de presión. Cada uno de ellas se situará al comienzo de cada subsector para poder controlar a la gran mayoría de los nodos de consumo el valor de la presión.

#### - Actuación 03

La siguiente actuación tratará de resolver la sobrepresión del sector de ARTAZA, motivado por la gran diferencia de cotas entre el depósito de Kurkudi y los puntos de consumo a final de sector situados a una cota prácticamente a nivel del mar.

Se propone colocar una válvula reguladora de presión, a mitad de nivel entre las dos cotas, realizando una acción similar a la ejecutada en la actuación 01 de la alternativa 01. Mediante esta maniobra, la presión en los puntos mencionados disminuirá todo lo posible y evitará tener un lugar en el que la red de abastecimiento sufra por presiones entorno a los 100 m.c.a.

- Actuación 04

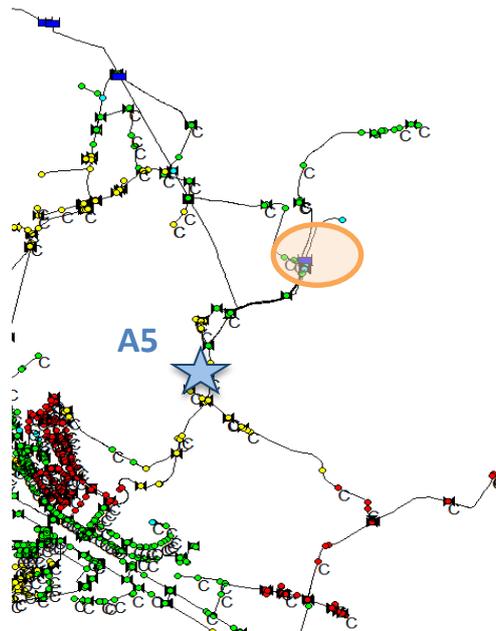
En la presente alternativa y con la premisa de la utilización de la tubería del parque científico, se realizarán unas maniobras para dotar a dicha tubería de un caudal dinámico y que cumpla los requisitos de calidad y sanidad.

Esta vez, sólo se abrirá la conexión de la tubería con el sector Sarriena, es decir, la tubería del parque científico servirá para abastecer al propio campus universitario y a los consumidores del sector de Sarriena. Esta maniobra dejaría en desuso la actual válvula reguladora de presión instalada en la cabecera del sector.

Se establece una presión óptima en el sector sin la necesidad de la válvula reguladora de presión y se le da continuidad al caudal del parque científico.

- Actuación 05

En las circunstancias actuales disponemos de un sector Liboa como en el estado principal, independiente de la tubería del parque científico y abastecido mediante un pinchazo de la red primaria con una válvula reguladora de presión para disminuir la diferencia de presión.



**Ilustración 45. Actuación 05 de la alternativa 02**

La válvula que reduce la presión en el inicio del sector, no es suficiente como para establecer una distribución óptima. Muestra de ello, la zona del barrio de Ikea en el cual la presión es superior a los 80 m.c.a. y la que se muestra en rojo en la ilustración 47.

La maniobra que se propone para contrarrestar este déficit, es la de instalar otra reguladora de presión en el lugar indicado de la ilustración 47. Con la ayuda de la segunda válvula, se dispondrá de una presión entre valores adecuados en todo el sector de Liboa.

El sector Pinueta carece de maniobras en esta alternativa.

Haciendo un resumen de lo explicado anteriormente, la segunda alternativa de sectorización de Leioa se definiría mediante el mismo número de sectores, con la división del sector Herria y manteniendo unos límites de frontera de sector similares a los actuales. Se propone implantar 5 válvulas reguladoras de presión nuevas y se cumplirá el requisito de poner en marcha la tubería del parque científico, aunque no abastecerá al sector de Liboa.

Finalmente para valorar la alternativa 02 propuesta, se analizarán al detalle los valores importantes para evaluar el estado de la red. Se detallará sector a sector, la reducción del caudal de la fuga de agua, la reducción de presión obtenida gracias a las actuaciones y el ahorro económico que supondría para el Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia el hecho de no tener que abastecer esa cantidad de agua, suponiendo un coste de 0.85€/m<sup>3</sup> de abastecimiento.

SECTOR	ARTAZA	SARRIENA	LIBOA	EARLE	HERRIA	TOTAL
Reducción de fuga (l/s)	2,18	0,33	1,27	1,73	1,24	6,75
Reducción de fuga (l/DÍA)	188940	28491	110268	150156	107487	585342
Reducción presión (kg)	2,5	1,5	2	2,5	1	-
Ahorro €/MES (a 0,85 €/m <sup>3</sup> )	1.852,35 €	279,32 €	1.081,06 €	1.472,12 €	1.053,79 €	5.738,65 €

Tabla 3. Resumen de la alternativa 02

Los cálculos se han obtenido mediante las simulaciones en el programa Epanet. Como se ha explicado previamente, la red de abastecimiento ha sido calibrada con unos valores de fuga, que se definen mediante un coeficiente emisor, relacionado directamente con el valor de la presión. Uno de los objetivos de la sectorización, consiste en disminuir la presión, por lo tanto el caudal de fuga disminuirá. Por otro lado, el valor de la reducción de la presión, se obtiene de la reducción que imponen las válvulas reguladores. Finalmente el ahorro, es una operación entre la reducción obtenida y el costo de abastecimiento.

En la ilustración 49 se muestra el nuevo estado de la red de abastecimiento secundaria una vez aplicadas las actuaciones de la alternativa 02. Desaparecen las zonas en sobrepresión y domina claramente el color verde, el cual define la franja de valores de presión óptima.

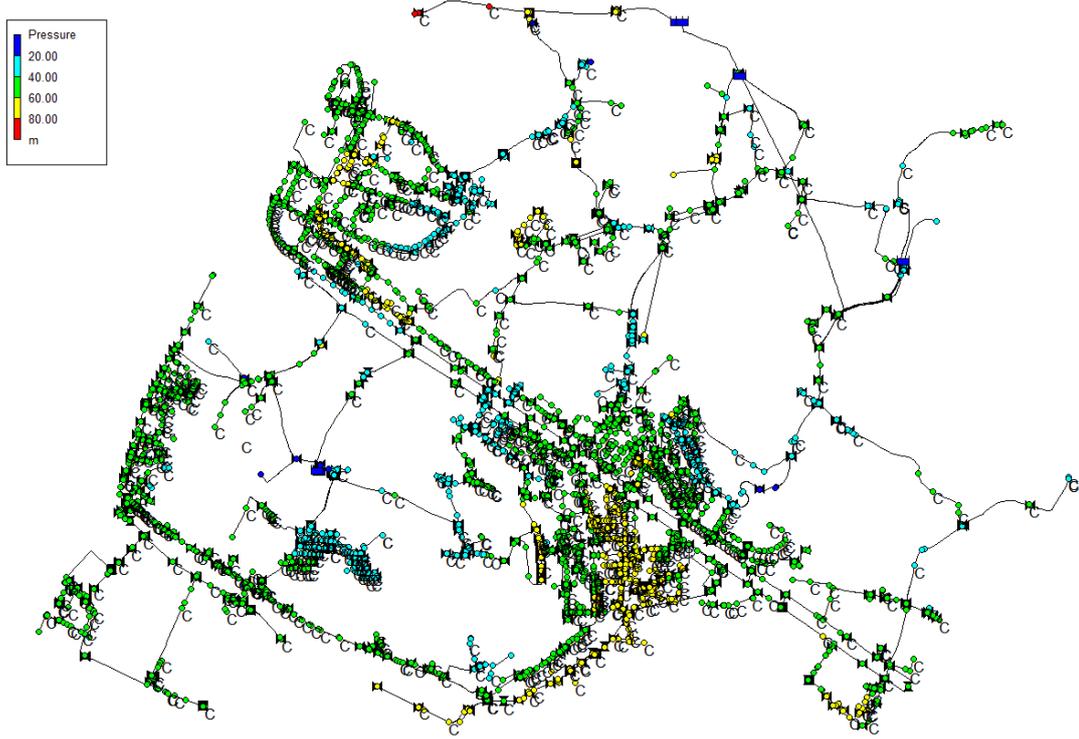


Ilustración 46. Estado de la red para la alternativa 02

## 12. COMPARATIVA DE PROPUESTAS

Una vez definidas las dos alternativas posibles, es el momento de analizarlas detalladamente y de decidir cuál de las dos permite sacar mayor rendimiento de la red secundaria de abastecimiento.

Los parámetros que se van a analizar son sencillos. Se valorará la presión media de la red, así como la cantidad de lugares en el que la instalación se encuentre sobre presionada. Se tendrá en cuenta la cantidad de maniobras a realizar, la inversión de los nuevos elementos y los gastos en obras necesarias. Por último se revisará el ahorro hidráulica y económico que suponen cada una de ellas y si se cumple la premisa impuesta de la utilización de la tubería del parque científico.

El primer parámetro a analizar como se ha mencionado previamente es el de la presión media. Se realiza un cálculo de la presión diaria de cada nodo definido en el modelo matemático. La media de la suma de todos los puntos, mostrará un valor medio aproximado de la presión de la red. El valor obtenido para el estado actual previo a cualquier maniobra es de 69.45 m.c.a. Un valor medio extremadamente alto, ya que a partir de los 60 m.c.a. se considera un estado de sobre presión y en el cual el número de roturas en el tiempo aumenta exponencialmente. El valor obtenido con la actuación 01 es de 49.71 m.c.a. y con la actuación 02 es de 49.73 m.c.a. Una reducción terriblemente favorable, que muestra la necesidad de una mejor gestión del municipio de Leioa y de la calidad de las alterativas propuestas.

En el estado previo a las maniobras definidas, situación mostrada en la ilustración 38, se observan dos manchas de presión elevada, nodos de color rojo. Esos nodos representan como ya se ha mencionado antes, el barrio de Ikea y los abonados de final de sector de Artaza. Mediante las actuaciones propuestas, esas zonas de sobre presión desaparecen, mejorando las condiciones de trabajo y disminuyendo el número de roturas en el tiempo considerablemente.

A la hora de comparar el número de maniobras a realizar en cada una de las dos alternativas, se han numerado en cinco actuaciones cada una de ellas. A pesar de que la cantidad sea idéntica, el trabajo referido en horas y en cantidad, es mucho mayor el de la alternativa 01, en la que el primer paso a realizar es el de generar nuevos límites de sector.

En cuanto al gasto e inversión, el que se detallará más adelante, para la alternativa 01 se requiere de la instalación de 4 válvulas reguladoras de presión y de una obra ya definida en la que se intenta disminuir las pérdidas de carga y evitar problemas de falta de presión. Para la alternativa 02, no se han requerido gastos por obras, pero el número de válvulas reguladoras a instalar es de 5 elementos.

Se pasa a observar el resumen del ahorro hidráulico y económico, se dispone de los cálculos reflejados en las tabla 2 y tabla 3. Empezando a analizar el estudio de ahorro hidráulico, vemos como las actuaciones realizadas a lo largo de la alternativa 01, supondrían un ahorro de 683.436 l/día. Comparándolo con la alternativa 02, la cifra disminuye a pesar de ser un ahorro extraordinario, fijando la cifra en 585.352 l/día.

De manera similar, se observa las cifras del ahorro económico y una vez más la alternativa 01 parece dar mayor beneficios que la alternativa 02. Comparando las cifras, el ahorro mensual

que genera la primera proposición es tasado en 7.031,22€. En cambio la segunda alternativa tendría un impacto de ahorro mensual de 5.738,65€.

Finalmente, al comienzo del presente trabajo se impuso la necesidad de implementar la tubería del parque científico. Dado que el consumo de los nuevos edificios del campus de la Universidad del País Vasco eran escasos y esto provocaba turbidez y mala calidad en el agua, había una necesidad de aportar más consumos en dicho conducto. Razón por la cual en ambas alternativas se han añadido los sectores de Sarriena y Liboa en la primera, y sólo Sarriena en la segunda con la intención de aumentar el consumo.

Resumiendo la comparativa de ambas alternativas, disponemos de dos opciones muy similares en cuanto a la presión media de la red. Es cierto que la alternativa 01 requerirá más tiempo de maniobras y también requerirá una obra con lo que ello supone, pero se necesitarán menos válvulas reguladoras, los beneficios tanto económicos como de los recursos hídricos son mucho mejores y se le dará el consumo necesario para la utilización del parque científico. Por ello y sostenido con los datos previamente detallados, se elegirá la alternativa 01 como el modelo para una gestión óptima y beneficiosa de la red secundaria de abastecimiento para el municipio vizcaíno de Leioa.

### 13. DIAGRAMA DE GANTT

El diagrama de Gantt es una herramienta para planificar y programar tareas a lo largo de un período determinado. Gracias a una fácil y cómoda visualización de las acciones previstas, permite realizar el seguimiento y control del progreso de cada una de las etapas de un trabajo y reproduce gráficamente las tareas, su duración y secuencia, además del calendario general del trabajo.

El diagrama se muestra en un gráfico de barras horizontales ordenadas por actividades a realizar en secuencias de tiempo concretas.

Las acciones entre sí quedan vinculadas por su posición en el cronograma. El inicio de una tarea que depende de la conclusión de una acción previa se verá representado con un enlace del tipo fin-inicio. También se reflejan aquellas cuyo desarrollo transcurre de forma paralela y se puede asignar a cada actividad los recursos que ésta necesita con el fin de controlar los costes y personal requeridos.

TAREAS	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	
<b>Tarea 1.</b>	█																
Tarea 1.1.	█																
Tarea 1.2.		█															
Tarea 1.3.			█	█													
Tarea 1.4.					█	█	█	█	█								
<b>Tarea 2.</b>								█									
Tarea 2.1.								█									
Tarea 2.2.									█	█							
Tarea 2.3.										█	█						
Tarea 2.4.												█					
<b>Tarea 3.</b>											█						
Tarea 3.1.											█						
Tarea 3.2.													█				
Tarea 3.3.														█			
Tarea 3.4.															█	█	
<b>Tarea 4.</b>												█					
Tarea 4.1.												█					

Tabla 4. Diagrama de Gantt

A continuación se detallarán las acciones realizadas a lo largo del trabajo tal y como se muestran en la tabla 4. El trabajo tiene como comienzo la fecha de 01/02/2017 y se ha dado por cerrado el 21/06/2017.

Tarea 1: denominada **Modelo Matemático**, se refiere a la primera fase del trabajo en la que su principal objetivo es obtener un modelo Epanet que simule a la realidad.

Tarea 1.1: con una semana de duración, esta primera acción se refiere al comienzo del trabajo. Se realiza una primera reunión informativa y se traza un camino a seguir.

Tarea 1.2.: comienza el trabajo y el primer paso es el de obtener un modelo informático que funcione sin errores.

Tarea 1.3.: una vez obtenido el modelo sin errores, el siguiente paso será el de introducir el patrón de consumo a cada sectores y confirmar la sectorización.

Tarea 1.4.: la última acción de la primera fase consistirá en un periodo de cinco semanas en las que se pondrán medidores de presión en puntos estratégicos, se recibirá la presión y con la información se obtendrá un modelo matemático calibrado. Aproximadamente se necesitó una semana por sector.

Tarea 2: denominada **Análisis de Sectorización**, se refiere a la segunda fase del trabajo en la que su principal objetivo es analizar la red y obtener un plan estratégico para un mejor rendimiento de la misma.

Tarea 2.1.: a pesar de no tener todos los sectores calibrados en el modelo matemático, se comienza a analizar los puntos que se aprecian críticos.

Tarea 2.2: referida a la acción de elaborar la alternativa 01 para una mejor gestión de la red hidráulica de abastecimiento de Leioa, duración de dos semanas.

Tarea 2.3: referida a la acción de elaborar la alternativa 02 para una mejor gestión de la red hidráulica de abastecimiento de Leioa, duración de dos semanas. Se realiza conjuntamente con la *Tarea 2.2*.

Tarea 2.4: fase de análisis, estudio y discusión de los puntos positivos y negativos de cada una de las alternativas, siendo la alternativa 01 la opción elegida.

Tarea 3: denominada **Maniobras**, se refiere a la tercera fase del trabajo en la que se llevan a cabo a la realidad las actuaciones propuestas previamente.

Tarea 3.1.: se realiza una reunión con miembros del Ayuntamiento de Leioa y se informa de las medidas que se van a realizar, obteniendo su visto bueno.

Tarea 3.2.: la primera actuación que se lleva a cabo es la utilización de la tubería del Parque Científico. Entre maniobra y maniobra es necesario el paso de unos días para comprobar la reacción de la red a las nuevas circunstancias y si hay quejas por parte de los abonados.

Tarea 3.3.: se realiza la maniobra que reduce el sector Pinueta y obtiene esos abonados el sector Herria.

Tarea 3.4.: se llevan a cabo las otras tres actuaciones, ya que en las tres es necesario la instalación de una válvula reguladora de presión.

Tarea 4: denominada **Redacción del Proyecto**, se refiere a la última fase del trabajo en la que redacta todo lo descrito anteriormente

Tarea 4.1.: se realiza en el mismo tiempo que transcurre la *Tarea 3*. Incluye las reuniones con la directora del trabajo y la constante comunicación.

## 14. PRESUPUESTO

En el presente punto, se calcula el presupuesto que ha conllevado la realización del trabajo. Es decir, se mostrará el valor económico que ha generado el estudio, análisis y propuestas de mejora de la red secundaria de abastecimiento del municipio de Leioa.

En la tabla 5 se muestran los gastos correspondiente al trabajo realizado por un ingeniero sénior y un ingeniero junior, calculados por horas laborales. Además se incluye el precio de transporte que se ha requerido a lo largo del trabajo.

GASTOS				
PERSONAL	COSTE (€/h)	TIEMPO (h)	PERSONAS	TOTAL
Ingeniero sénior	50	350	1	17.500 €
Ingeniero junior	15	50	1	750 €
<b>TOTAL PERSONAL</b>				<b>18.250 €</b>
TRANSPORTE				
<b>TOTAL TRANSPORTE</b>				<b>300 €</b>
<b>TOTAL GASTOS</b>				<b>18.550 €</b>

Tabla 5. Gastos de personal

Se ha requerido a la hora de analizar el estado de los puntos críticos de medición del municipio de Leioa, la subcontratación de un personal para realizar las tomas de presión. Sin la precisión de estos datos, se hubieran propuesto unas actuaciones que hubieran carecido de precisión.

SUBCONTRATAS				
PERSONAL	COSTE (€/h)	TIEMPO (h)	PERSONAS	TOTAL
Toma de presión	12,5	18	1	225 €
<b>TOTAL SUBCONTRATA</b>				<b>225 €</b>

Tabla 6. Presupuesto de las subcontratas

Previo al cálculo del presupuesto total, hay que tener en cuenta los activos fijos utilizados a lo largo de trabajo. Los elementos calculados en la tabla 6, son los gastos de inversión, que se definirán en función del precio inicial, vida útil y del tiempo de utilización.

AMORTIZACIONES				
INVERSIÓN	PRECIO (€)	VIDA ÚTIL (año)	TIEMPO USO (año)	COSTE (€)
Ordenador	800 €	5	0,8	200 €
GIS	3.000 €	10	0,8	375 €
Takadu	5.000 €	10	0,8	625 €
Paquete Office	190 €	5	0,8	48 €
Impresora	750 €	10	0,8	94 €
AutoCad	1.780 €	5	0,8	445 €
<b>TOTAL AMORTIZACIONES</b>				<b>1.786 €</b>

Tabla 7. Presupuesto de las amortizaciones

Finalmente se obtiene el presupuesto total que ha generado el trabajo. La suma de horas de las personas involucradas y amortizaciones, añadiéndole la subcontratación, definen los costes totales. Un porcentaje pequeño del valor mencionado, son los costes indirectos y finalmente la suma de ambos resulta ser el subtotal.

Se considera un porcentaje del 5% del subtotal del presupuesto para posibles imprevistos. La suma de los tres grandes valores, incluyendo la tasa del IVA, alcanza la cifra resultante en la tabla 8 de 30.830€.

PRESUPUESTO	
Gastos	18.550 €
Subcontratas	225 €
Inversión	1.786 €
Costos indirectos (20%)	4.112 €
Subtotal	24.674 €
Imprevistos (5%)	1.234 €
Total sin IVA	25.907 €
<b>TOTAL (IVA incluido)</b>	<b>30.830 €</b>

Tabla 8. Presupuesto total del trabajo

## 15. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

A continuación se realizará el presupuesto y el correspondiente análisis de rentabilidad para cada una de las dos alternativas propuestas.

El coste de las obras hidráulicas se ha convertido en un pequeño hándicap a la hora de llevar a cabo las inversiones. Por ello, un estudio preciso del apartado económico es esencial. A pesar de haber encontrado dos propuestas técnicamente viables, el esfuerzo económico a realizar debe de ser óptimo.

### 15.1 Análisis de rentabilidad alternativa 01

En el presente punto, se estudiará y valorará el presupuesto obtenido para el trabajo desarrollado. En la siguientes tablas 12, 13 y 14 se muestra detalladamente el presupuesto alcanzado en este trabajo.

En la tabla 9 se contabiliza el coste económico, que suponen las horas de los trabajadores que toman parte en este trabajo y el gasto que ha supuesto el transporte de dichas personas a lo largo del trabajo. Dependiendo de la responsabilidad y de la tarea que vayan a realizar, se considera un coste diferente por hora, de esta manera la suma llega a los 18.550 €.

GASTOS				
PERSONAL	COSTE (€/h)	TIEMPO (h)	PERSONAS	TOTAL
Ingeniero sénior	50	350	1	17.500 €
Ingeniero junior	15	50	1	750 €
<b>TOTAL PERSONAL</b>				<b>18.250 €</b>
TRANSPORTE				
<b>TOTAL TRANSPORTE</b>				<b>300 €</b>
<b>TOTAL GASTOS</b>				<b>18.550 €</b>

**Tabla 9. Gastos del presupuesto de la alternativa 01**

En el presupuesto se define como gasto, todo lo utilizado para el trabajo y que no sirve para ser usado posteriormente. En el caso de este trabajo, los gastos a considerar no son nulos, ya que para establecer las maniobras de la actuación elegida, es necesario realizar una obra. Sí se consideran nulos, como refleja la tabla 10, los gastos respectivos a la compra de materia prima o compra de terreno. Los gastos de oficina son prácticamente nulos.

OBRA	
Apertura zanja	
PEAD-50 PN-16	
Válvula compuerta	
Relleno zanja	
Coste ingeniería	
<b>TOTAL OBRA</b>	<b>950 €</b>

**Tabla 10. Presupuesto de la obra**

Importante también el gasto que generan las brigadas subcontradas por Udal Sareak para realizar tanto las mediciones de presión para la calibración del modelo matemático, como las maniobras, primero quitando los sectores establecidos y posteriormente aplicando los cambios de la alternativa seleccionada.

SUBCONTRATAS				
PERSONAL	COSTE (€/h)	TIEMPO (h)	PERSONAS	TOTAL
Toma de presión	12,5	18	1	225 €
Maniobras	12,5	30	1	375 €
<b>TOTAL SUBCONTRATA</b>				<b>600 €</b>

Tabla 11. Presupuesto de las subcontratas

Todos los activos fijos necesarios para la realización del trabajo se consideran inversión. Las maniobras realizadas para gestionar la presión de la red de Leioa, supondrán un ahorro hídrico y económico ya mencionado. Los elementos calculados en la tabla 11 son los gastos de inversión. El coste total está en función del precio inicial, de la vida útil y del tiempo de utilización de cada elemento.

Se observa como la mayoría de elementos, están relacionados con programas informáticos y con elementos que facilitan su uso. Es una confirmación más de la necesidad de herramientas 2.0 para realizar una labor de gestión de la red hidráulica de un municipio.

AMORTIZACIONES				
INVERSIÓN	PRECIO (€)	VIDA ÚTIL (año)	TIEMPO USO (año)	COSTE (€)
Ordenador	800 €	5	0,8	200 €
GIS	3.000 €	10	0,8	375 €
Takadu	5.000 €	10	0,8	625 €
Paquete Office	190 €	5	0,8	48 €
Impresora	750 €	10	0,8	94 €
AutoCad	1.780 €	5	0,8	445 €
Válvula reguladora	1.650 €	20	0,8	103 €
<b>TOTAL AMORTIZACIONES</b>				<b>1.889 €</b>

Tabla 12. Presupuesto de las amortizaciones

La tabla 9 sirve para tener presente los costes totales del trabajo. La suma de las horas de los trabajadores y amortizaciones, añadiéndole los gastos de las obras y la contratación de las brigadas, son los costes directos. Un porcentaje pequeño de los costes directos son los costes indirectos y la suma de ambos resulta ser el subtotal.

Se considera un porcentaje del 5% del subtotal del presupuesto para los imprevistos surgidos a lo largo del trabajo. La suma de los tres, incluyendo el IVA, alcanza la cifra de 32.971 € que corresponde a los costes totales.

PRESUPUESTO	
Gastos	18.550 €
Subcontratas	600 €
Obra	950 €
Inversión	1.889 €
Costos indirectos (20%)	4.398 €
Subtotal	26.387 €
Imprevistos (5%)	1.319 €
Total sin IVA	27.707 €
<b>TOTAL (IVA incluido)</b>	<b>32.971 €</b>

Tabla 13. Resumen del presupuesto de la alternativa 01

En las tablas 14 y 15 se muestran los índices económicos que demuestran la rentabilidad económica demostrada con los valores del VAN y el TIR. Su rentabilidad se ha calculado para un periodo de 6 meses y con un coste de capital  $K$ , definido con el 4%.

Mes	1	2	3	4	5	6
Entrada	7.031 €	7.031 €	7.031 €	7.031 €	7.031 €	7.031 €
Inversión	32.971 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Costes	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Q (flujo)	7.031 €	7.031 €	7.031 €	7.031 €	7.031 €	7.031 €
$(1+K)^i$	1,04	1,08	1,12	1,17	1,22	1,27
$Q_i/(1+K)^i$	6760,79	6500,76	6250,73	6010,32	5779,15	5556,88

Tabla 14. Tabla para el cálculo del VAN y el TIR de la alternativa 01

<b>VAN</b>	3887,75
<b>TIR</b>	7,53%

Tabla 15. Resultados del VAN y el TIR de la alternativa 01

Finalmente el payback se calcula relacionando el valor de la inversión necesaria para llevar a cabo este trabajo y el beneficio mensual que generarán las mejoras. Esos dos valores mencionados en las tablas 14 y 15, dan un tiempo de 4 meses y 21 días para recuperar la cantidad invertida y empezar a generar beneficios.

## 15.2 Análisis de rentabilidad alternativa 02

De la misma manera, se realizará el análisis de rentabilidad para la segunda alternativa propuesta. Se especificará el presupuesto y se calcularán los valores del VAN y el TIR correspondientes a las actuaciones de la alternativa 02.

GASTOS				
PERSONAL	COSTE (€/h)	TIEMPO (h)	PERSONAS	TOTAL
Ingeniero senior	50	350	1	17.500 €
Ingeniero junior	15	50	1	750 €
<b>TOTAL PERSONAL</b>				<b>18.250 €</b>
TRANSPORTE				
<b>TOTAL TRANSPORTE</b>				<b>300 €</b>
<b>TOTAL GASTOS</b>				<b>18.550 €</b>

**Tabla 16. Gastos del presupuesto de la alternativa 02**

Se detalla en la tabla 16 el coste de gasto de personal, teniendo en cuenta las personas que han realizado dicho estudio y las horas acumuladas. Se añade el gaste de transporte. El valor final es idéntico al establecido para la alternativa 01.

A diferencia del presupuesto de la alternativa 01, en esta opción no se requiere ningún tipo de obra para ejecutar las actuaciones. Por ello, los gastos a considerar por motivo de una obra son nulos. Los gastos de oficina se consideran prácticamente nulos.

El siguiente apartado del presupuesto, referido en la tabla 17, es el gasto de las brigadas a la hora de realizar tanto las mediciones de presión como las maniobras a realizar. En este caso, la alternativa 02 mantiene la misma situación de sectores en la red al comienzo y al final, salvo dos pequeñas manipulaciones, lo que reduce las horas de trabajo de los empleados.

SUBCONTRATAS				
PERSONAL	COSTE (€/h)	TIEMPO (h)	PERSONAS	TOTAL
Toma de presión	12,5	18	1	225 €
Maniobras	12,5	10	1	125 €
<b>TOTAL SUBCONTRATA</b>				<b>350 €</b>

**Tabla 17. Presupuesto de las subcontratas de la alternativa 02**

Todos los activos fijos necesarios para la realización del trabajo se consideran inversión. Las maniobras realizadas para gestionar la presión de la red de Leioa, supondrán un ahorro hídrico y económico ya mencionado. Los elementos calculados en la tabla 18 son los gastos de inversión. El coste total está en función del precio inicial, de la vida útil y del tiempo de utilización de cada elemento.

Se observa como la mayoría de elementos, están relacionados con programas informáticos y con elementos que facilitan su uso. Es una confirmación más de la necesidad de herramientas 2.0 para realizar una labor de gestión de la red hidráulica de un municipio.

AMORTIZACIONES				
INVERSIÓN	PRECIO (€)	VIDA ÚTIL (año)	TIEMPO USO (año)	COSTE (€)
Ordenador	800 €	5	0,8	200 €
GIS	3.000 €	10	0,8	375 €
Takadu	5.000 €	10	0,8	625 €
Paquete Office	190 €	5	0,8	48 €
Impresora	750 €	10	0,8	94 €
AutoCad	1.780 €	5	0,8	445 €
Válvula reguladora	1.650 €	20	0,8	103 €
<b>TOTAL AMORTIZACIONES</b>				<b>1.889 €</b>

Tabla 18. Presupuesto de las amortizaciones de la alternativa 02

Al igual que se ha realizado previamente, se considera un 5% del subtotal del presupuesto para los imprevistos surgidos a lo largo del trabajo. La suma total, incluyendo el importe por IVA, alcanza la cifra de 31.172€ que muestra la tabla 19, correspondiente a los costes totales.

PRESUPUESTO	
Gastos	18.550 €
Subcontratas	350 €
Inversión	1.889 €
Costos indirectos (20%)	4.158 €
Subtotal	24.947 €
Imprevistos (5%)	1.244 €
Total sin IVA	26.195 €
<b>TOTAL (IVA incluido)</b>	<b>31.172 €</b>

Tabla 19. Presupuesto final de la alternativa 02

A continuación se realiza el estudio de los índices económicos que demuestran la rentabilidad económica expresados con los valores del VAR y el TIR. Obteniendo un valor muy similar en el presupuesto total, estos valores no muestran un cambio significativo. Siendo ambos dos valores que confirman una óptima rentabilidad.

El riesgo de un trabajo es el de no poder rentabilizar la inversión realizada. Sin embargo, al tratarse de un proyecto que genera mejoras a corto y largo plazo, los riesgos de no conseguir amortizar los gastos son pequeños, ya que los beneficios reduciendo el caudal de las fugas es inmediato. De todas maneras, el hecho de que no haya gasto alguno es una gran ventaja para disminuir los riesgos.

Aun así, se ha realizado un exhaustivo análisis de los riesgos que pueden afectar al trabajo:

Al realizar el trabajo, se estimará cuánto dinero se ahorrará en el abastecimiento del agua para el municipio de Leioa una vez implementadas todas las actuaciones propuestas. Con dichas estimaciones, se calcularán los beneficios obtenibles y así durante cuánto tiempo habrá que pagar la inversión realizada.

El riesgo existente en este caso es la incorrecta estimación tanto del precio de abastecimiento del agua como de la cantidad exacta de reducción de fuga producida. Si se estima por debajo del real, tanto el precio como la reducción, entonces el error cometido estará en el lado de la seguridad y la amortización será más rápida. Por otro lado, si el error estimado en el precio o en la disminución de la fuga está por encima de la real, la amortización se alargará con lo que ello conlleva, entre otros el incremento del pago de intereses.

Siempre se ha de tener en cuenta que la red hidráulica de abastecimiento está en constante peligro de generar cualquier tipo de imprevisto, lo realizado en el presente trabajo es llevar la red a un estado mejor, dentro de los valores óptimos y reduciendo las probabilidades de rotura en las tuberías. Cualquier tipo de imprevisto negativo, puede afectar al volumen de fuga y por tanto puede producir un mayor gasto en el abastecimiento, afectando al periodo de amortización, referido en el punto anterior.

Las empresas contratadas para la consecución de las obras y de las maniobras pueden tener problemas en su realización y por consiguiente cargar al cliente con sobrecostes o retrasar el comienzo de los beneficios. Esto conllevará a una prolongación de la amortización.

## 16. CONCLUSIÓN

Se finaliza este estudio con la conclusión de que la mejor propuesta presentada y llevada a cabo para la mejora de la red hidráulica del municipio de Leioa, es necesaria, viable y además tiene una alta rentabilidad.

Una de las principales conclusiones que se han observado es el gran volumen de agua que se ha conseguido ahorrar simplemente mejorando la gestión del municipio. Antes de realizar las actuaciones de la alternativa seleccionada, se desperdiciaban mediante fuga 43,49 l/s y posteriormente se ha reducido esa cifra a 35,60 l/s. No sólo proporcionando un ahorro de un recurso limitado como el agua, si no también generando un ahorro económico de 7.031 € mensuales.

Uno de los principales motivos del ahorro, es la reducción de la presión. Este valor también se ha reducido considerablemente pasando de 69.45 m.c.a. a un valor medio de la red de 49.71 m.c.a. mediante la utilización de la técnica de sectorizar la red del municipio y apoyándose en válvulas reguladoras de presión. Confirmando el valor de la gestión de la presión en el sector hidráulico.

Este trabajo se ha basado en el estudio de la red de Leioa desde tres aspectos diferentes:

- La obtención y calibración del modelo matemático, consiguiendo una red virtual que se asemeja con un alto grado de exactitud a lo acontecido en la realidad.
- La sectorización, como técnica de gran utilidad para gestionar una red de abastecimiento municipal de alrededor de 30.000 usuarios.
- El control de la presión y su relación con el caudal de fuga, el número de roturas y el ahorro económico que ello supone.

Respecto a la primera y con la ayuda esencial de las herramientas informáticas, se ha conseguido obtener un modelo que responde de la misma manera que la propia realidad, a las maniobras realizadas en él. Lo que permite ahorrar tiempo, dinero en mano de obra y en satisfacción de los abonados evitando realizar las maniobras en campo y viendo las consecuencias in situ.

El alto grado de exactitud ha quedado demostrado, una vez llevadas a la realidad las propuestas realizadas. Las actuaciones han tenido el impacto esperado en la realidad y no ha habido problemas o registros que impliquen diferencias entre una red y la otra.

El segundo estudio ha dejado claro que una gestión necesita de una técnica ordenada y eficiente para poder ser llevada a cabo con satisfacción. En este trabajo se ha utilizado una de las técnicas más frecuentes, la de gestionar el municipio en zonas independientes y limitadas con una única vía de abastecimiento llamadas sectores.

Debido a las características de Leioa, se han diseñado los sectores por cotas, aprovechando los depósitos existentes. A pesar de que el número de sectores sea el mismo al comienzo y al finalizar el trabajo, sus límites y características no son las mismas. Muestra de ello la considerable reducción de zonas de sobrepresión y de la presión media de la red. Además, se facilita la monitorización de los sectores, siendo más fácil su control y la detección de futuras fugas que aparecerán en estas áreas.

Respecto a la gestión de presión se han estudiado dos alternativas posibles con diferentes actuaciones, proponiendo maniobras con la intención de disminuir la presión elevada de la red. Finalmente y tras un análisis detallado, se ha llevado a cabo la primera de ellas. Se instalaron cuatro válvulas reductoras de presión con el objetivo de mejorar el servicio al cliente, disminuir la presión y reducir las pérdidas de agua que se producen en la red.

Analizando el tema económico, el hecho de generar un ahorro continuo a la par que se realizan las actuaciones, ha facilitado la rentabilidad del mismo. Se debe tener en cuenta que desde el primer momento en que finaliza el trabajo se empezarán a obtener beneficios y estos serán de manera continua, debido a que el ahorro de las fugas y reducción de roturas en la red serán estables.

En definitiva, se considera que el presente trabajo ha obtenido un buen resultado, cumpliendo su objetivo el cual era, obtener un modelo matemático, analizar la red de abastecimiento y proponer una gestión más eficiente mediante posibles actuaciones, demostrando ser viable tanto económica como técnicamente.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CONSORCIO DE AGUAS. Web: <http://www.consorcioideaguas.com/Web/QuienesSomos/>
- [2] UDAL SAREAK. Web: <http://www.udalsareak.com/Web/QuienesSomos/>
- [3] <https://turismo.euskadi.eus/es/localidades/leioa/>
- [4] <http://www.vag-armaturen.com/es/campo-de-aplicación/gestión-de-la-presion.html>
- [5] <http://www.interempresas.net/Agua/Articulos/Gestion-de-la-presion.html>
- [6] <http://www.empresasconstruccion.es/redes-de-distribucion-agua-potable/>
- [7] <http://www.ine.es/prensa/np872.pdf>
- [8] [http://www.spiraxsarco.com/global/Products/Documents/reductoras\\_de\\_presi\\_pilotadas-Cat%c3%a1logos.pdf](http://www.spiraxsarco.com/global/Products/Documents/reductoras_de_presi_pilotadas-Cat%c3%a1logos.pdf)
- [9] TAKADU web: <https://takadu.wordpress.com/>
- [10] Apuntes de la asignatura de “Ingeniería de Proyectos”. Clase impartida en la Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao en el curso académico 2014-2015.
- [11] Clase impartido por: Ibarra Berastegi, Gabriel; Apuntes de la asignatura de “Explotación y Mantenimiento de Sistemas Hidráulicos”. Escuela Superior de Ingenieros de Bilbao en el curso 2016-2017.

# ANEXO

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Listado de los puntos de calibración.

Tabla 2. Resumen de la alternativa 01.

Tabla 3. Resumen de la alternativa 02.

Tabla 4. Diagrama de Gantt.

Tabla 5. Gastos de personal.

Tabla 6. Presupuesto de las subcontratas.

Tabla 7. Presupuesto de las amortizaciones.

Tabla 8. Presupuesto total del trabajo.

Tabla 9. Gastos del presupuesto de la alternativa 01.

Tabla 10. Presupuesto de la obra.

Tabla 11. Presupuesto de las subcontratas para la alternativa 01.

Tabla 12. Presupuesto de las amortizaciones para la alternativa 01.

Tabla 13. Resumen del presupuesto de la alternativa 01.

Tabla 14. Cálculo del VAN y el TIR de la alternativa 01.

Tabla 15. Resultados del VAN y el TIR de la alternativa 01.

Tabla 16. Gastos del presupuesto de la alternativa 02.

Tabla 17. Presupuesto de las subcontratas de la alternativa 02.

Tabla 18. Presupuesto de las amortizaciones de la alternativa 02.

Tabla 19. Presupuesto final de las alternativas 02.

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación de continuidad de un fluido.

Ecuación 2. Fórmula de Darcy-Weisbach.

Ecuación 3. Fórmula de pérdidas secundarias.

Ecuación 4. Definición de la presión estática.

Ecuación 5. Definición de la presión dinámica.

Ecuación 6. Valor mínimo de la presión en función de la altura del edificio.

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de Bizkaia con los municipios que integran el CABB.

Ilustración 2. Mapa de Bizkaia con los municipios que integran USSA.

Ilustración 3. Situación geográfica de Leioa.

Ilustración 4. Sectores de presión de Leioa.

Ilustración 5. Sector de Artaza.

Ilustración 6. Depósito de Gaztelueta situado en Leioa.

Ilustración 7. Arqueta de unión de red primaria con secundaria en Liboa.

Ilustración 8. Comparativa de volúmenes de agua en sistemas con gestión de la presión.

Ilustración 9. Ejemplo de red ramificada.

Ilustración 10. Ejemplo de red mallada.

Ilustración 11. Ejemplo de red mixta.

Ilustración 12. Ejemplo de abastecimiento por gravedad.

Ilustración 13. Válvula reguladora de presión.

Ilustración 14. Principio de Bernouilli.

Ilustración 15. Aparato tubo de Pitot.

Ilustración 16. Aparato tubo Piezométrico.

Ilustración 17. Paquete Mircrosoft Office.

Ilustración 18. Simulación de la red de un municipio con Epanet.

Ilustración 19. Imagen en 2D de la red del municipio de Leioa.

- Ilustración 20. Imagen de GIS en Sarriena.
- Ilustración 21. Logotipo del software Takadu.
- Ilustración 22. Consulta de acometidas sin información administrativa.
- Ilustración 23. Fotograma del proceso del diseño 2D de la red de Leioa.
- Ilustración 24. Ejemplo de error de una red no modelizada.
- Ilustración 25. Modelo matemático de Leioa.
- Ilustración 26. Red municipal de Leioa dividida en sectores.
- Ilustración 27. Estudio del sector Artaza.
- Ilustración 28. Patrón de consumo del sector Earle.
- Ilustración 29. Datos del consumo durante un día.
- Ilustración 30. Fondo nocturno en el consumo diario.
- Ilustración 31. Puntos de calibración de Leioa.
- Ilustración 32. Colocación del datalogger en una arqueta.
- Ilustración 33. Ubicación del datalogger en el P1.
- Ilustración 34. Punto de colocación del datalogger en Earle.
- Ilustración 35. Maniobras para la calibración en Earle.
- Ilustración 36. Ajuste en el inventariado de GIS para el P7.
- Ilustración 37. Ajuste de inventariado en GIS para P2 y P9.
- Ilustración 38. Estado previo de la red municipal de Leioa.
- Ilustración 39. Altitud del municipio de Leioa.
- Ilustración 40. Actuación 01 de la alternativa 01.
- Ilustración 41. Actuación 02 de la alternativa 01.
- Ilustración 42. Actuación 03 de la alternativa 01.
- Ilustración 43. Estado de la red para la alternativa 01.
- Ilustración 44. Actuación 02 de la alternativa 02.
- Ilustración 45. Actuación 05 de la alternativa 02.
- Ilustración 46. Estado de la red para la alternativa 02.

## LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Gráfica de consumo diario del sector Herria.

Gráfico 2. Proceso de calibración del P3 en Herria.

Gráfico 3. Proceso de calibración del P5 en Herria.

Gráfico 4. Proceso de calibración del P1 en Herria.

Gráfico 5. Proceso de calibración del P10 en Earle.

Gráfico 6. Proceso de calibración del P4 en Earle.

Gráfico 7. Proceso de calibración del P7 en Liboa.

Gráfico 8. Medición de presión de la reguladora de Sarriena.

Gráfico 9. Proceso de calibración del P6 en Sarriena.

Gráfico 10. Proceso de calibración del P8 en Sarriena.

Gráfico 11. Proceso de calibración del P2 en Artaza.

Gráfico 12. Proceso de calibración del P9 en Artaza.

Gráfico 13. Proceso de calibración del P11 en Pinueta.

Gráfico 14. Proceso de calibración del P12 en Pinueta.

Gráfico 15. Relación presión y roturas mensuales en la red.

## LISTADO DE ACRÓNIMOS

CABB: Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia.

USSA: Udal Sareak S.A.

FD: Fundición Ductil.

PEAD: Polietileno de Alta Densidad.

GIS: Geographic Information System

SMS: Short Message System

ID: Identificador

m.c.a.: metros columna de agua