

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

FIABILIDAD DE LA RED PRIMARIA DE ABASTECIMIENTO EN EL ÁMBITO DEL GRAN BILBAO



Estudiante: Wilding López, Daniel Mark

Director/Directora: García de Arriba, Raúl

Curso: 2022-2023

Fecha: Bilbao, 3, marzo, 2023

ÍNDICE

1. RESUMEN TRILINGÜE	4
2. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS	5
3. INTRODUCCIÓN	7
4. CONTEXTO	8
5. OBJETIVOS Y ALCANCE	10
6. BENEFICIOS DEL PROYECTO	10
7. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS	10
7.1. PROGRAMAS INFORMÁTICOS	11
7.1.1. EPANET 2.0	11
7.1.2. AUTOCAD	12
7.2. DATOS DE PARTIDA	12
7.2.1. PUNTOS DE CONSUMO	12
7.2.2. DEPÓSITOS	14
7.2.3. BOMBEO HIDRÁULICOS	16
7.2.4. EMBALSES	17
8. MODELIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	17
8.1. FONDO DE PANTALLA	18
8.2. PATRÓN DE DEMANDA	19
8.3. MODELO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO EN EPANET	20
8.4. OPCIONES HIDRÁULICAS Y DE TIEMPO	26
9. ANÁLISIS DE LAS ROTURAS	28
9.1. SIMULACIÓN DEL SISTEMA REAL	28
9.2. EXPOSICIÓN DE LAS CASUÍSTICAS	34
9.2.1. ESCENARIO 1	34
9.2.2. ESCENARIO 2	37
9.2.3. ESCENARIO 3	42
9.2.4. ESCENARIO 4	49
10. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	55
11. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS DEL PROYECTO	56

12. CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFIA.....	61
AGRADECIMIENTOS	62
ANEXO I. NORMATIVA APLICABLE	63
ANEXO II: PLANOS DE LA RED PRIMARIA DE ABASTECIMIENTO DEL GRAN BILBAO	64
ANEXO III: LISTADO DE CAUDALES.....	73

1. RESUMEN TRILINGÜE

RESUMEN

El suministro de agua continuo y de calidad es fundamental para la vida cotidiana de las personas, la salud pública y el desarrollo socioeconómico en la región del Gran Bilbao, sin embargo, una rotura en un canal procedente de una fuente de abastecimiento podría ocasionar la carencia de agua para abastecer a la población. Por esta razón, en el presente proyecto se estudia la fiabilidad de la red primaria mediante la simulación del modelo del sistema del software EPANET, con el fin de proponer las medidas de contingencia necesarias para cubrir la necesidad de abastecer agua en caso de emergencias.

ABSTRACT

Continuous and high-quality water supply is crucial for people's daily lives, public health, and for the socio-economic development in the Greater Bilbao region. However, a breakage in a channel from a water source could lead to insufficient water supply for the population. Therefore, this paper studies the reliability of the primary supply network by simulating a system model using EPANET software, in order to propose necessary contingency measures to cover the water supply need in case of possible breakages.

LABURPENA

Ur hornitzailea jarraitua eta kalitate handiko hornidura biztanleen eguneroko bizitzarako, osasun publikoarako eta Bilbo Handiko eskualdeko garapenerako oso garrantzitsua da. Hala ere, hornikuntzarako iturrietatik ura eramaten duten kanal batetako zatiketa bat gertatzen bada, ezin izan daiteke biztanleria hornitzeko beharrezko ura eskuratzea. Horregatik, lan honetan hornikuntza sare nagusiaren fidagarritasuna aztertzen da EPANET softwarea erabiliz sistema modelo baten simulazioa eginez.

Palabras clave: red hidráulica, EPANET, abastecimiento, rotura, medida de contingencia

2. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Red hidráulica principal del Gran Bilbao [3].....	9
Ilustración 2: Mapa de fondo de EPANET	19
Ilustración 3: Patrón de demanda.....	20
Ilustración 4: Ubicación de depósitos	22
Ilustración 5: Ubicación de puntos de consumo	23
Ilustración 6: Modelo de la red hidráulica en EPANET.....	25
Ilustración 7: Simulación del modelo de la red hidráulica real.....	30
Ilustración 8: Caudal-Tiempo en la línea Zadorra-Venta Alta en el modelo real.....	32
Ilustración 9: Caudal-Tiempo en la línea Ordunte-Sollano en el modelo real.....	33
Ilustración 10: Esquema del escenario 1.....	35
Ilustración 11: Simulación del modelo de la red hidráulica del escenario 1	36
Ilustración 12: Caudal-Tiempo en la línea Zadorra-Venta Alta en el escenario 1.....	37
Ilustración 13: Esquema del escenario 2.....	38
Ilustración 14: Simulación del modelo de la red hidráulica del escenario 2	39
Ilustración 15: Caudal-Tiempo en la línea Zadorra-Venta Alta en el escenario 2.....	40
Ilustración 16: Caudal-Tiempo en la línea Ordunte-Sollano en el escenario 2.....	41
Ilustración 17: Esquema del escenario 3.....	44
Ilustración 18: Simulación del modelo de la red hidráulica del escenario 3	45
Ilustración 19: Caudal-Tiempo en la línea Sollano-Elejabarri en el escenario 3	46
Ilustración 20: Caudal-Tiempo en la línea Sollano-Muzkiz en el escenario 3	47
Ilustración 21: Caudal-Tiempo en la línea bombeo Basauri-Venta Alta en el escenario 3.....	48
Ilustración 22: Esquema del escenario 4.....	50
Ilustración 23: Simulación del modelo de la red hidráulica del escenario 4	51
Ilustración 24: Caudal-Tiempo en la línea Sollano-Elejabarri en el escenario 4	52
Ilustración 25: Caudal-Tiempo en la línea Sollano-Muzkiz en el escenario 4	53
Ilustración 26: Caudal-Tiempo en la línea Bombeo Basauri-Venta Alta en el escenario 4.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Puntos de consumo	14
Tabla 2: Depósitos	16
Tabla 3: Bombeos hidráulicos	16
Tabla 4: Coeficientes de fricción Darcy-Weisbach	24
Tabla 5: Opciones hidráulicas de EPANET	27
Tabla 6: Opciones de tiempo de EPANET	27
Tabla 7: Presupuesto del proyecto	55

3. INTRODUCCIÓN

El suministro de agua potable es un elemento esencial para el bienestar de la población, y su garantía depende en gran medida de la eficiencia y fiabilidad de la red hidráulica de abastecimiento. En el caso del Gran Bilbao, esta red abastece a una población de más de un millón de habitantes, y su correcto funcionamiento es vital para asegurar la calidad y continuidad del servicio.

En este contexto, la realización de un análisis detallado de la fiabilidad de la red hidráulica se convierte en una tarea crucial para garantizar su correcto funcionamiento. Para ello, se ha utilizado el programa EPANET, un software de simulación hidráulica que permite analizar la red en detalle y evaluar diferentes escenarios de funcionamiento.

En el desarrollo de este trabajo de máster, se ha recopilado información detallada sobre la red hidráulica del Gran Bilbao, incluyendo datos sobre la infraestructura de tuberías, las estaciones de bombeo, los depósitos y la demanda de agua en la zona. A partir de esta información, se han desarrollado diferentes modelos hidráulicos mediante EPANET, para simular el comportamiento de la red ante diferentes situaciones.

Entre los escenarios evaluados se encuentran los relacionados con el posible fallo de los canales principales de abastecimiento del Gran Bilbao, y la propuesta de medidas contingencia para cubrir la falta de agua debido a dichas casuísticas. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten identificar los conductos de la red hidráulica del Gran Bilbao que presentan mayor vulnerabilidad, y proponer medidas de corrección para mejorar la fiabilidad y el rendimiento del sistema. En este sentido, la simulación mediante EPANET se convierte en una herramienta muy valiosa para la planificación y el diseño de nuevas infraestructuras, y para la toma de decisiones en la gestión y operación de la red.

4. CONTEXTO

El Consorcio de Aguas de Bilbao Bizkaia (en adelante CABB) es una entidad creada en el año 1967 con el objetivo de garantizar el suministro de agua potable a la población de Bilbao y su área metropolitana. Este consorcio se encarga de la gestión del ciclo integral del agua, incluyendo la captación, el tratamiento y la distribución del agua potable, así como la recogida y tratamiento de las aguas residuales. [1]

El CABB cuenta con una amplia infraestructura de captación, tratamiento y distribución de agua, que incluye embalses, estaciones de bombeo, depuradoras y una extensa red de tuberías. Además, la entidad está comprometida con la mejora continua de su gestión, y lleva a cabo diferentes proyectos e iniciativas para la optimización de los recursos hídricos y la protección del medio ambiente.

El abastecimiento al Gran Bilbao está basado fundamentalmente en los embalses del Zadorra (Ullibarri-Gamboa y Urrunaga) y en el embalse de Ordunte. Entre ambos sistemas se abastece prácticamente el 90% del consumo de la población, mientras que el 10 % restante proviene de recursos menores integrados en el sistema (Oiola, Artiba, Nocedal, Zollo, Lekubaso) o en soluciones locales, caso del valle de Urdaibai, Duranguesado, etc.

Tanto en el caso de los embalses del Zadorra como en el de Ordunte, el suministro se realiza por una vía única, mediante canales que transportan el agua recogido en dichos embalses hasta una estación de tratamiento de agua potable (en adelante ETAP). En estas estaciones se llevan a cabo diferentes procesos de tratamiento como la eliminación de impurezas, la eliminación de materia orgánica, la desinfección y la corrección de la dureza con el fin de poder ser considerada como agua potable y ser distribuida a través de la red hidráulica a los puntos de consumo. [2]

En el caso del Zadorra se turbinan el agua proveniente de los embalses en la central de Barazar, mediante una tubería en carga con capacidad para los 30 m³/s de las turbinas (15+15). Una vez turbinados esos caudales el agua se regula para el abastecimiento en la presa de Undurraga, los excesos vuelven a turbinarse y el agua de abastecimiento llega a la ETAP de Venta Alta por un canal de aproximadamente 14 km con capacidad para 9 m³/s. A partir de esta ETAP (con capacidad para 7 m³/s) el agua se distribuye en dos arterias principales que llevan el agua depurada a la margen izquierda y derecha de la ría.

En el caso de Ordunte, presa propiedad del Ayuntamiento de Bilbao pero explotada por el CABB, el agua llega a la ETAP de Sollano, ubicado en Zalla, mediante un canal con capacidad teórica de 1,5 m³/s, aunque por encima de 1 m³/s se producen desbordamientos. De la citada

ETAP el agua llega al depósito de Elejabarri por un canal similar, desde el cual el agua se distribuye al sistema hidráulico del Gran Bilbao.

En la siguiente imagen queda esquematizada la red de abastecimiento al Gran Bilbao en la que se muestran las dos fuentes primarias de abastecimiento (los embalses del río Zadorra y el embalse de Ordunte), los depósitos de mayor importancia y el sistema de tuberías principales que conectan entre sí estos elementos con los puntos de consumo repartidos por los municipios vizcaínos convenidos con el CABB.



Ilustración 1: Red hidráulica principal del Gran Bilbao [3]

5. OBJETIVOS Y ALCANCE

Este proyecto tiene como objetivo analizar la respuesta del sistema ante la rotura de algunas de las arterias principales anteriormente comentadas, comprobar la existencia o no de zonas desabastecidas ante esas roturas y proponer, caso que sea posible, alternativas al abastecimiento para dar un servicio constante y fiable.

El análisis se limita a las redes principales de abastecimiento, habiendo realizado una importante simplificación de la red real existente motivado por razones obvias de tiempo, recursos y limitaciones del programa gratuito utilizado.

6. BENEFICIOS DEL PROYECTO

El proyecto pretende dar solución a los posibles desabastecimientos causados por la rotura de las arterias principales del sistema. Analizar así mismo las soluciones que el CABB tiene en proyecto y/o ejecución en el mismo sentido de fortalecer la fiabilidad del sistema.

Todo ello redundará en la consecución de un sistema de abastecimiento más fiable, robusto y por ende de mayor calidad para el usuario, permitiendo siempre que sea posible, una explotación más flexible.

7. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS

Para modelizar un sistema de distribución de agua, es esencial contar con un software adecuado como el programa EPANET. Este programa es ampliamente utilizado en la industria para simular el comportamiento de redes de suministro de agua, permitiendo analizar aspectos como el flujo, la presión y la calidad del agua en diferentes puntos de la red. Además de contar con EPANET, es importante tener información detallada sobre los puntos de consumo, los depósitos y las bombas en el sistema. Esta información incluye características como la capacidad de los depósitos, la potencia y el caudal de las bombas, así como la demanda de agua en cada punto de consumo con la distribución de la misma a lo largo del día. Con toda esta información, es posible crear un modelo preciso del sistema de distribución de agua y utilizar el programa EPANET para simular distintos escenarios y analizar el comportamiento de la red.

Los datos facilitados por el CABB (**VER ANEXO II. PLANOS DE LA RED PRIMARIA DE ABASTECIMIENTO DEL GRAN BILBAO**) proporcionan la información necesaria para la modelización del suministro de agua al Gran Bilbao. Se relacionan todos los nodos de consumo de agua con su distribución, los datos geométricos de los diferentes depósitos distribuidos por la red (dimensiones, volumen, cota, etc.), datos de las bombas en el sistema (curvas características) y por último, han proporcionado los datos de toda la red de tuberías existente (longitud, diámetro, material y cotas)

A continuación, se describirán los programas y los datos de partida necesarios para la ejecución del proyecto:

7.1. PROGRAMAS INFORMÁTICOS

7.1.1. EPANET 2.0

EPANET es una herramienta de software desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para el análisis de sistemas de distribución de agua. Es ampliamente utilizado por ingenieros y gerentes de servicios de agua para modelar y analizar el rendimiento de los sistemas de distribución de agua potable, incluyendo los efectos de varios escenarios, como cambios en la demanda, roturas de tuberías y fallos en bombas y válvulas. [4]

El software se basa en los principios del análisis hidráulico, que utiliza las leyes de la física para calcular el flujo de agua a través de tuberías y otros componentes en un sistema de distribución de agua. EPANET tiene en cuenta factores como el diámetro de la tubería, la rugosidad y la longitud, así como las propiedades del agua que se distribuye, como su densidad y viscosidad.

Una de las principales características de EPANET es su capacidad para simular la presión y el flujo de agua en un sistema de distribución en el tiempo, lo que permite a los usuarios ver cómo el sistema responde a los cambios en la demanda, las roturas de tuberías y otros eventos. Esto permite a los ingenieros y gerentes identificar problemas potenciales y planificar el mantenimiento o las actualizaciones del sistema.

EPANET también incluye un componente de análisis de calidad del agua, que permite a los usuarios modelar el transporte de parámetros de calidad del agua, como el cloro, el flúor y el pH a través del sistema de distribución. Esto es especialmente útil para evaluar el rendimiento

de los sistemas de tratamiento e identificar las posibles fuentes de contaminación, sin embargo, no se utiliza dicho análisis en este proyecto ya que está fuera del alcance del mismo.

En general, EPANET es una herramienta importante para ingenieros y gerentes de servicios de agua, ya que les permite modelar y analizar el rendimiento de los sistemas de distribución de agua potable de manera precisa y fiable, ayudándoles a tomar decisiones informadas sobre la operación y el mantenimiento del sistema.

Para este proyecto el programa EPANET se utiliza para crear un modelo simplificado del sistema de distribución del Gran Bilbao, teniendo en cuenta el esquema principal de depósitos, bombas y puntos de consumo, con el fin de simular el comportamiento de la red de abastecimiento existente y a partir de esta, crear distintos escenarios probables.

7.1.2. AUTOCAD

El programa informático AutoCAD es un software de diseño asistido por ordenador (CAD, por sus siglas en inglés) que permite a los usuarios crear y editar dibujos en 2D y 3D, el cual fue desarrollado y es comercializado por la empresa Autodesk. AutoCAD es una herramienta popular entre arquitectos, ingenieros y diseñadores industriales, ya que permite crear planos precisos y detallados de edificios, maquinaria y otros proyectos además de incluir una amplia variedad de herramientas y funciones avanzadas, como la posibilidad de trabajar en equipo y la compatibilidad con formatos de archivo estándar de la industria. AutoCAD es un software de pago, pero Autodesk ofrece una versión de prueba gratuita.

Esta aplicación es utilizada en este proyecto para modelar el mapa de fondo del área del Gran Bilbao con las distancias reales, con el fin de insertarlo en el software de simulación de redes de agua EPANET. Esto permite simular y analizar el comportamiento del sistema hidráulico en función a las longitudes reales de la red de tuberías. [5]

7.2. DATOS DE PARTIDA

7.2.1. PUNTOS DE CONSUMO

Los puntos de consumo en una red de abastecimiento se refieren a los lugares donde el agua se extrae de la red primaria de distribución y se utiliza para diferentes propósitos, como el riego, el suministro de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica, entre otros.

La cota y el consumo en litros por segundo son dos factores importantes que se consideran en la planificación y diseño de una red hidráulica. La cota se refiere a la altitud a la que se encuentra un punto de consumo en relación con el nivel del mar, y es importante para determinar la presión necesaria para su adecuado suministro. El consumo en litros por segundo se refiere a la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades de los usuarios finales en un momento dado. Es importante considerar el consumo y su distribución a lo largo del día al diseñar la capacidad de la red y dimensionar los equipos necesarios para satisfacer las necesidades de los usuarios finales, así como las instalaciones de captación, conductos y equipos de tratamiento.

A continuación, se muestran los 58 puntos de consumo a considerar para la modelización de la red de abastecimiento del Gran Bilbao:

PUNTOS DE CONSUMO			
NODO	COTA [m.s.n.m.]	CONSUMO [L/s]	LUGAR
1	89	16,5	Landatza
2	150	7,2	Goikomendi
3	27	25,2	Plentzia
4	58	5,7	Barrika
5	94	35,9	Sopela 1
6	42	15,5	Sopela 2
7	52	8,7	Getxo
8	112	17,1	Gambe
9	102	142	Kurkudi
10	59	162,3	Gaztelueta
11	78	8,7	Goierri
12	104	14,5	Loiu
13	39	21,1	Sondika
14	101	8,9	Aurrekolanda
15	225	13,5	Artxanda
16	49	54,2	Etxebarri
17	130	84,9	Basozelai
18	33	38	Arriaga
19	37	260,1	Bilbao margen der.
20	54	376,9	Bilbao margen izq.
21	43	182,1	La Florida
22	37	55,5	Mamariga
23	4	33,6	Superpuerto
24	68	1,3	Red secundaria
25	19	38,8	Portugalete
26	123	22,8	Eskurto
27	163	24,5	Preventorio
28	234	8,2	La Esperanza
29	48	210,4	Las Carreras

30	124	5,7	Murrieta
31	120	4,6	La Escontrilla
32	458	4,7	Patxo
33	15	16,3	Trapagarán
34	6	43,4	Sestao
35	125	1,8	Ugarte
36	119	2,8	Basatxu
37	43	11,3	Cruces
38	25	59,7	Rontegi
39	111	8,7	Pertxeta
40	147	15,4	Venta Alta
41	127	37,2	Zorroza
42	40	0,3	Laukariz 1
43	34	17,5	Laukariz 2
44	57	2,7	Lezama 1
45	84	8,9	Lezama 2
46	51	8,5	Urduliz
47	71	19	Gatika
48	32	54,8	Mungia
49	73	14,3	Islabe
50	30	8,2	Derio
51	73	33	Larros
52	78	10,9	Gorobileta
53	89	8,2	Usánsolo
54	49	35,5	Lemoa
55	43	45,8	Galdakao 1
56	80	40,5	Galdakao 2
57	35	4,5	Basauri
58	101	7,3	Galdames

Tabla 1: Puntos de consumo

7.2.2. DEPÓSITOS

A partir de los planos facilitados por el CABB, es posible obtener información importante sobre las características del sistema, como los volúmenes de los depósitos, geometría y la cota de cada uno.

Es importante conocer los volúmenes de los depósitos para poder dimensionar el sistema adecuadamente y garantizar que hay suficiente agua disponible para satisfacer las necesidades de los usuarios. Un volumen escaso de depósitos supondría un sobredimensionamiento de las tuberías para poder suministrar el caudal necesario en las horas punta, por el contrario, un volumen excesivo supondría un sobrecoste innecesario a la hora de ejecutar el sistema. Estos volúmenes se pueden calcular a partir de las medidas

geométricas del depósito, como su cota, diámetro y altura, que se obtienen de los planos del sistema.

La cota de cada depósito es el nivel en el que se encuentra el agua en cada tanque, medido con relación al nivel del mar. Es importante conocer la cota de los depósitos para poder garantizar que hay suficiente energía potencial para obtener la presión necesaria para un suministro de calidad.

En resumen, los planos de un sistema de almacenamiento de agua son fundamentales para obtener información importante como los volúmenes de los depósitos y la cota de cada uno, ya que esta información es esencial para el diseño y planificación del sistema, para poder garantizar un servicio de agua seguro y confiable.

En la tabla inferior se muestran los datos significativos a la hora de especificar los depósitos en el modelo EPANET:

DEPÓSITOS						
NOMBRE	COTA [m.s.n.m.]	NIVEL INICIAL [m]	NIVEL MÍNIMO [m]	NIVEL MÁXIMO [m]	DIÁMETRO [m]	VOLUMEN [m3]
Landatza 1	100	4,00	0,30	4,00	28,14	2500
Landatza 4	100	4,00	0,30	4,00	28,14	2500
Goikomendi	188	3,00	0,40	3,00	17,24	700
Gambe	128	3,00	0,20	3,00	42,22	4200
Sopela	105	6,50	0,30	6,50	31,91	5200
Kurkudi	113	15,00	0,30	16,00	39,90	20000
Gaztelueta	71	10,35	0,30	10,35	40,00	13000
Goierra	130	4,10	0,30	4,10	20,09	1300
La Florida	98	10,35	0,30	10,35	40,00	13000
Eskurto	134	4,50	0,30	4,50	29,14	3000
Mamariga	85	4,50	0,30	4,50	23,79	2000
Las Carreras	90	10,35	0,30	10,35	40,00	13000
Murrieta	165	3,50	0,30	3,50	13,50	500
Borja	144	4,50	0,30	4,50	26,60	2500
Preventorio	197	4,60	0,30	4,60	32,11	3725
La esperanza	265	4,50	0,30	4,50	26,06	2400
La Escontrilla	131	3,69	0,30	3,69	24,40	1725
Patxo	482	3,00	0,30	3,00	17,24	700
Ugarte 1	135	10,35	0,30	10,35	40,00	13000
Ugarte 2	135	10,35	0,30	10,35	40,00	13000
Basatxu	135	10,35	0,30	10,35	40,00	13000
Pertxeta	123	6,50	0,22	6,50	17,14	1500
Kukuluz	124	3,00	0,30	3,00	14,57	500
Artxanda 1	145	3,16	0,68	3,16	4,26	45,04
Artxanda 2	250	4,50	0,30	4,50	23,79	2000,28

Aurrekolanda	109	3,50	0,50	3,50	14,08	544,96
Basozelai	144	4,50	0,76	4,50	75,23	20002,49
Venta Alta 1	159	4,50	0,30	4,50	73,32	18999,71
Venta Alta 2	157	6,50	0,00	6,50	108,41	59998,66
Venta Alta 3	157	6,50	0,00	6,50	125,18	79996,83
Zabalondo	125	5,30	0,40	5,30	34,66	5000,60
Islabe	96	4,20	0,55	4,20	30,16	3000,55
Larros	124	4,50	0,55	4,50	23,79	2000,28

Tabla 2: Depósitos

7.2.3. BOMBEOS HIDRÁULICOS

Los bombes hidráulicos existentes en el sistema facilitados por el CABB son esenciales para garantizar el flujo de agua a través de la red y asegurar el suministro a los puntos de consumo. Sin embargo, no todos los bombes existentes en la red hidráulica pueden ser incluidos en el modelo de simulación de EPANET. Esta limitación viene dada por la utilización del software libre. En versiones de pago del programa las limitaciones son menos restrictivas.

Es importante tener en cuenta estas limitaciones en el momento de modelizar la red hidráulica para evitar errores en los cálculos y garantizar una simulación precisa. Por ello se procede a seleccionar los bombes más importantes, que permiten una simulación satisfactoria del modelo. Dichos bombes se muestran en la tabla inferior, además del caudal y altura manométrica que proporcionan:

BOMBEOS HIDRÁULICOS		
BOMBA	H [m.c.a.]	Q [L/s]
Goikomendi	220	100
Kurkudi	80	1440
Artxanda	110	450
Las Carreras - Murrieta	80	216
Las carreras - Borja	100	1258
Gallarta	112	720
Preventorio	101	540
Eskurto	30	190
Escontrilla	400	54
Elejabarri	56	1440

Tabla 3: Bombes hidráulicos

7.2.4. EMBALSES

En cuanto a los embalses que se introducen en el modelo, se tendrán en cuenta que proporcionan agua a la red hidráulica del Gran Bilbao los embalses del río Zadorra (Ullibarri-Gamboa y Santa Engracia) y el de Ordunte ya que como se ha comentado inicialmente, entre ambos proporcionan aproximadamente el 90% del suministro al sistema. Cabe destacar que el agua que proviene del embalse de Ordunte se potabiliza en la ETAP de Sollano antes de ser conectada a la red de distribución en Elejabarri, mientras que, el agua procedente de los embalses del río Zadorra se tratan en la ETAP de Venta Alta antes de ser distribuida al Gran Bilbao.

En el programa EPANET se supone que estas fuentes (embalses) son de capacidad infinita. El programa no tiene como objetivo la simulación de la regulación hidráulica de los mismos.

8. MODELIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

La modelización del sistema de abastecimiento es un proceso mediante el cual se representa matemáticamente un sistema hidráulico real para poder analizar y entender su comportamiento. Esta modelización se realiza mediante la identificación y representación de los diferentes componentes del sistema, como bombas, tuberías, válvulas, entre otros, y su relación entre ellos. Una vez que se tiene una representación matemática del sistema, se pueden realizar simulaciones numéricas para estudiar su comportamiento en diferentes condiciones operativas y analizar el impacto de posibles cambios en el diseño o en las condiciones de operación. La modelización del sistema hidráulico es esencial para el diseño y optimización de sistemas hidráulicos, así como para el diagnóstico y resolución de problemas en sistemas ya existentes.

La modelización del sistema de abastecimiento del Gran Bilbao permite estudiar el comportamiento de la red hidráulica bajo diferentes escenarios y tomar decisiones de diseño y operación adecuadas. Además, la modelización del sistema puede ser utilizada para evaluar la eficiencia del interconexión de tuberías y detectar posibles problemas o ineficiencias en su funcionamiento. En este sentido, es importante destacar que la modelización del sistema de abastecimiento del Gran Bilbao es una tarea compleja que requiere de un análisis detallado y una representación precisa de los diferentes componentes del sistema.

Este sistema es muy complejo, ya que incluye una gran cantidad de puntos de consumo, como hogares, edificios públicos y empresas, que están distribuidos por todos los municipios

convenidos al Consorcio de Aguas, da servicio en torno a un millón de habitantes. Además, el sistema también incluye una gran cantidad de tanques y bombas que se encargan de suministrar el agua a los puntos de consumo y mantener un suministro y presión adecuada en las redes. Debido a esta complejidad, es difícil modelizar la red de abastecimiento del Gran Bilbao en su totalidad utilizando un software como EPANET. Por ello, a menudo se agrupan los puntos de consumo por zonas y se introducen solo algunas bombas y la mayoría de los tanques en el modelo, en lugar de incluir todos los puntos de consumo y las instalaciones necesarias para abastecer a cada uno de ellos. Esto permite obtener resultados bastante aproximados del funcionamiento del sistema, aunque no es una representación exacta de la realidad.

A continuación, se enumeran los principales aspectos a tener en cuenta a la hora de modelizar la red de abastecimiento del Gran Bilbao partiendo de los datos proporcionados por el CABB, además de la metodología aplicada para que sea posible simular el modelo de forma exitosa.

8.1. FONDO DE PANTALLA

La posibilidad de insertar un fondo de pantalla en EPANET es muy útil para crear un modelo con distancias reales. Esto se logra mediante el uso de varias capturas de la zona a estudiar en *Google Earth* para aumentar la resolución y posteriormente, se juntan y escalan a tamaño real mediante el software AUTOCAD. De esta manera, se puede tener una representación precisa del terreno y las características del lugar, lo que permite una mayor precisión en el modelado del sistema de suministro de agua. Además, el uso de un fondo de pantalla también facilita la interpretación de los resultados del análisis realizado en EPANET.

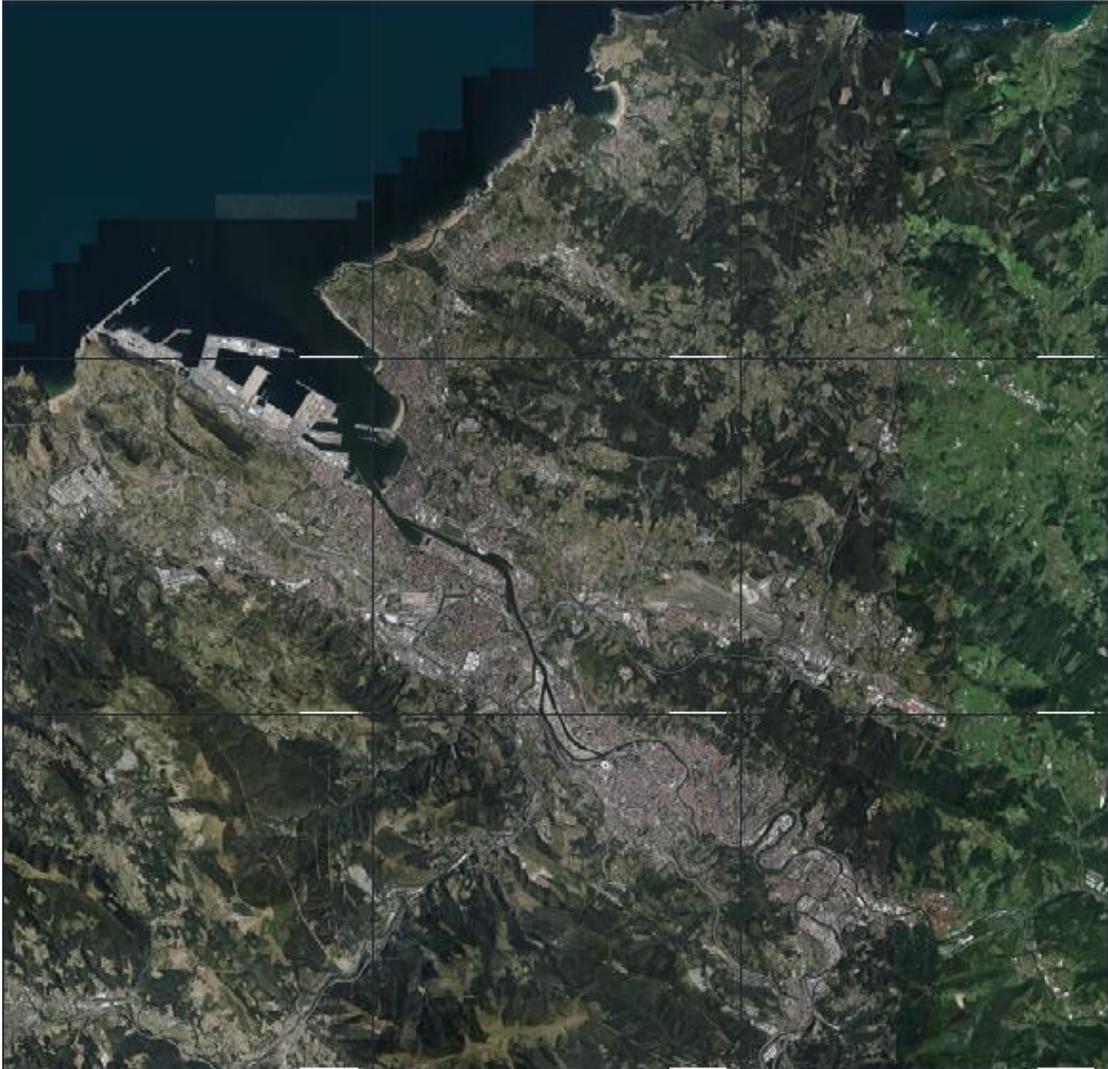


Ilustración 2: Mapa de fondo de EPANET

8.2. PATRÓN DE DEMANDA

El patrón de demanda diario de consumo de agua en el Gran Bilbao es parecido al de muchas ciudades de tamaño similar. La demanda suele ser mayor durante las horas laborables debido al uso de agua en lugares de trabajo e industrias. También se observa un aumento en el uso del agua durante las horas de la mañana y la tarde, ya que la población utiliza el agua para cocinar, limpiar y para la higiene personal. Durante la noche y en fin de semana, la demanda disminuye ya que las actividades industriales son menos intensas. Sin embargo, es importante señalar que esta información está sujeta a variación dependiendo de la estación del año, pudiendo observar en verano un aumento del consumo debido al uso de riego y

piscinas. En este sentido, señalar que se ha simplificado el modelo de demanda, no distinguiendo zonas con mayor o menor actividad comercial, o zonas dormitorio. El patrón obtenido es una media de todo el territorio que abastece el CABB, por lo que en algún caso puede existir una pequeña desviación de los datos reales.

A continuación, en el siguiente gráfico, se muestra el patrón de consumo de agua diario considerado para el modelo del sistema de abastecimiento del Gran Bilbao en EPANET, pudiéndose observar dichos picos y valles de consumo en función del momento del día.

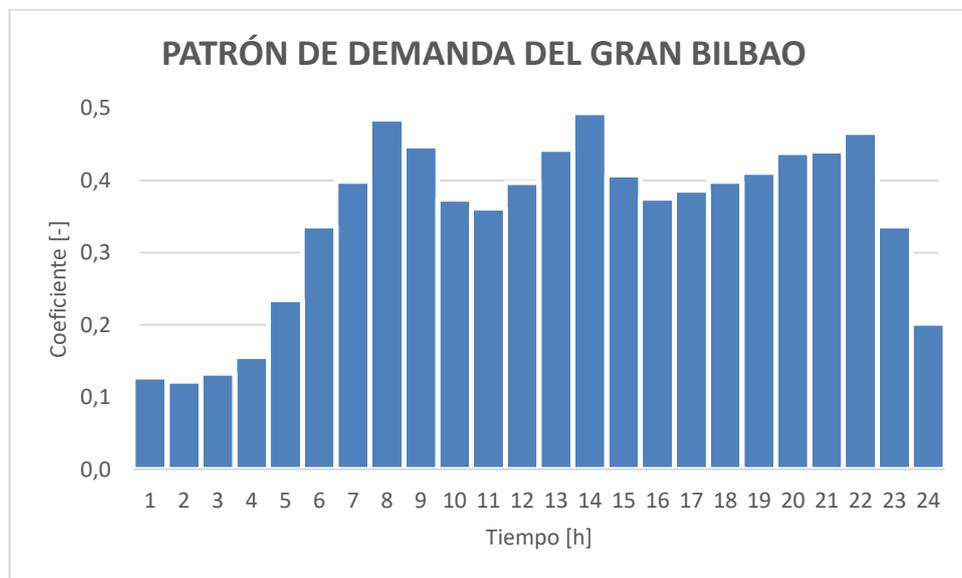


Ilustración 3: Patrón de demanda

8.3. MODELO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO EN EPANET

En la modelización del sistema de abastecimiento del Gran Bilbao en EPANET se toman en cuenta los datos proporcionados por el CABB de los depósitos, bombas y puntos de consumo de agua expuestos en el apartado anterior. Esto permite simular el comportamiento del sistema de distribución de agua y analizar cómo se distribuye el agua a través de las tuberías, así como identificar posibles cuellos de botella o problemas en el sistema. Es importante tener una representación precisa de los depósitos, bombas y puntos de consumo para obtener resultados precisos en la simulación.

El modelo EPANET es una herramienta valiosa para simular el comportamiento hidráulico de una red de distribución de agua potable, pero es importante tener en cuenta que se trata

de una simplificación de una red real. El modelo no incluye la valvulería de control, las bombas y los depósitos auxiliares existentes en la red de abastecimiento del CABB real, lo que puede dar lugar a diferencias significativas entre los resultados obtenidos en la simulación y la realidad, particularmente a pequeña escala, no así a nivel global. A pesar de estas limitaciones, el modelo EPANET sigue siendo una herramienta útil para analizar el comportamiento hidráulico de una red de distribución de agua potable y válido para tomar decisiones con relación a la operación y el diseño de la red.

El proceso de creación de un modelo en EPANET implica la definición de los elementos de la red, como depósitos, bombeos hidráulicos y puntos de demanda de agua, utilizando los comandos específicos del programa. Estos comandos permiten especificar las características de cada elemento, como su capacidad, caudal máximo y presión, y establecer las conexiones entre ellos para simular el flujo de agua a través de la misma.

El proceso seguido para el diseño en el programa de EPANET del sistema de abastecimiento del Gran Bilbao ha seguido los siguientes pasos:

En primer lugar, se sitúan los depósitos en sus respectivas localizaciones tal como se muestra en la imagen inferior. Para cada depósito, se introducen los datos de cota, diámetro y los niveles máximo y mínimo para calcular el volumen característico del tanque, los cuales son datos esenciales para determinar la capacidad de almacenamiento del depósito y la presión “aguas abajo” del mismo. Es conveniente asegurar que la información proporcionada sea precisa y actualizada para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

El modelo dispone de información detallada sobre los 33 depósitos principales de la red de abastecimiento del CABB. Es importante destacar que entre los 33 depósitos principales se encuentran los 3 depósitos de Venta Alta, los cuales son especialmente relevantes debido a su capacidad y su ubicación estratégica en la red, por ello son de esencial importancia para garantizar el suministro adecuado de agua a los municipios del Gran Bilbao servidos por el sistema. Esto permite una visión completa de la capacidad y el estado de los depósitos, pudiendo analizar su comportamiento en un tiempo determinado para asegurar el correcto funcionamiento de la red.



Ilustración 4: Ubicación de depósitos

El siguiente paso en la modelización de la red de abastecimiento del Gran Bilbao es la ubicación de los puntos de consumo, identificando el número que se atribuye a cada nodo. Esto implica introducir en el software EPANET los datos característicos de cota y consumo para cada uno de los puntos de consumo.

Los puntos de demanda son los nodos en una red de distribución de agua donde el agua es utilizada o consumida. Estos puntos pueden ser hogares, edificios comerciales, industrias, etc. La cantidad de agua requerida en cada punto de demanda se conoce como la dotación, y esta información se puede encontrar en la tabla del apartado 7.2.1. PUNTOS DE CONSUMO. La tabla incluye la información característica de cada punto de consumo, como son la cota del punto de demanda y la cantidad de agua requerida. Esta información es esencial para planificar y diseñar una red de distribución de agua eficiente y sostenible.

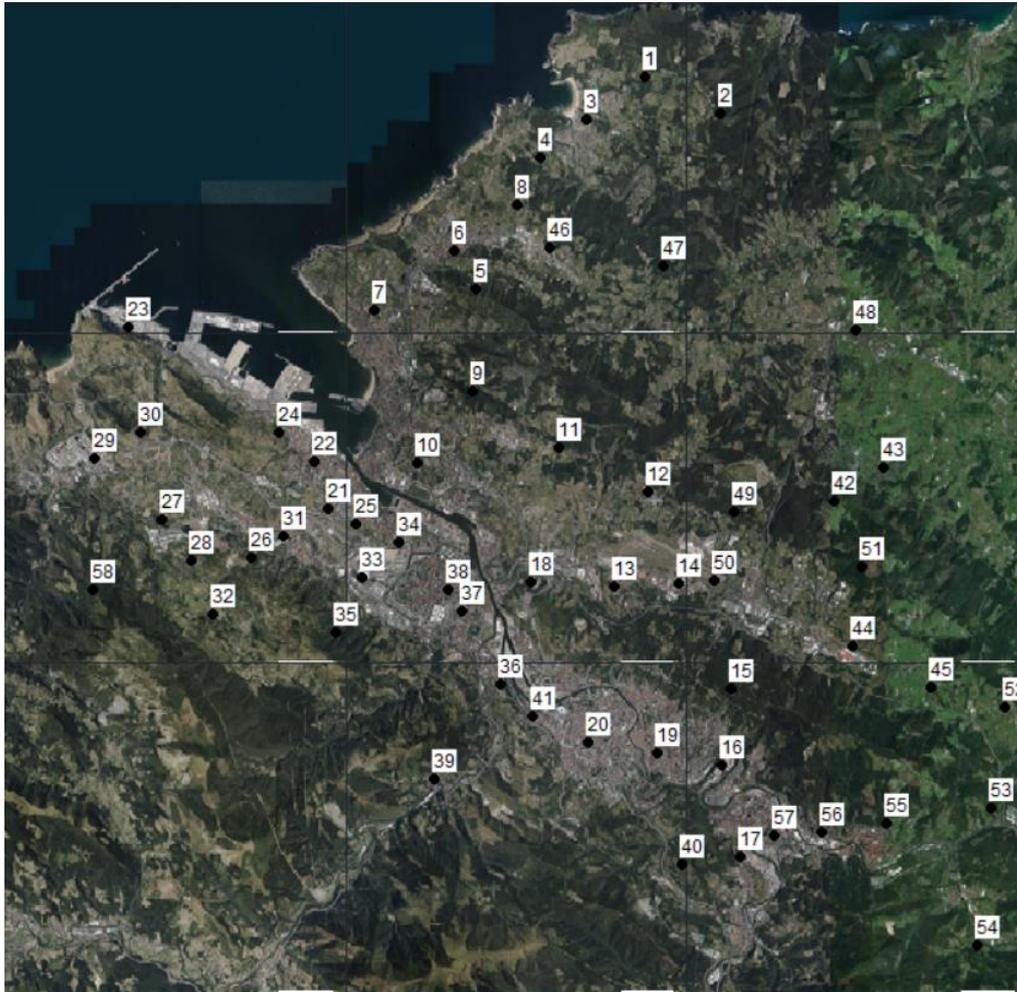


Ilustración 5: Ubicación de puntos de consumo

Los puntos de consumo de agua se rigen al patrón de demanda, lo que significa que la cantidad de agua que se utiliza varía a lo largo del día en función de las necesidades de la población. Durante las horas del día en las que la mayoría de las personas están en sus viviendas, como por la mañana y por la tarde, se observan picos en la demanda de agua debido a actividades como cocinar, lavar ropa y ducharse. Por otro lado, durante la noche y en horas tempranas de la mañana, cuando la mayoría de las personas están durmiendo, se observan valles en la demanda de agua. Esto se debe a que hay menos actividades que requieran el uso de agua en estos momentos. Conocer el patrón de demanda de agua es importante para planificar la distribución y el suministro en un área determinada, y así poder intuir como va a responder el modelo del sistema.

Una vez que se han definido los depósitos y puntos de consumo en el modelo de EPANET, el siguiente paso será introducir los nodos auxiliares. Dichos nodos auxiliares son puntos de conexión que permiten el flujo de agua entre los depósitos y los puntos de consumo, los cuales son esenciales para simular el comportamiento del sistema. La introducción de nodos

auxiliares es necesaria para conectar entre sí todo el sistema de depósitos y puntos de consumo, y es un paso importante en la modelización del sistema hidráulico para garantizar un diseño eficiente y seguro del sistema de distribución de agua. Además, se instalan las bombas necesarias para proporcionar la altura manométrica que exigen determinados puntos de consumo. Esto es importante para garantizar una presión adecuada en la red, incluidos puntos de consumo de elevada cota, condición necesaria para una red de abastecimiento de calidad.

El último paso en la modelización del sistema de abastecimiento es trazar todas las tuberías que conectan entre sí los depósitos, puntos de consumo y nodos auxiliares para crear la representación de la red del Gran Bilbao en EPANET. Es importante señalar que se supondrá que toda la red hidráulica está compuesta por tuberías de fundición no revestida (la mayoría de la red primaria es de este material o de acero), la cual cuenta con una rugosidad de 0.15 mm según la tabla de la ecuación empírica de Darcy-Weisbach, que es ampliamente utilizado en la industria de construcción para evaluar la rugosidad de las tuberías. Los diámetros de los conductos del modelo son los de la red hidráulica del CABB. Esto permite una mayor precisión en la simulación del flujo de agua y una mejor comprensión del comportamiento de la red de abastecimiento.

<i>Material</i>	<i>Darcy-Weisbach ϵ (mm)</i>
PVC y PE	0,0025
Fibro cemento	0,025
Fundición revestida	0,03
Fundición no revestida	0,15
Hormigón armado	0,1
Hormigón liso	0,025

Tabla 4: Coeficientes de fricción Darcy-Weisbach

Al activar la opción de longitudes automáticas en el software EPANET, se obtiene la ventaja de que, al trazar una tubería entre dos nodos de conexión, la longitud de dicha tubería se calcula automáticamente. Además, debido al hecho de que el mapa de fondo esté escalado a tamaño real asegura que la distancia calculada sea la misma que las de la red existente en el Gran Bilbao. Esto significa que no es necesario medir manualmente la distancia entre los nodos, ya que el programa realiza esta tarea de manera precisa y eficiente, facilitando la interpretación de los resultados ya que las medidas son coherentes con la realidad.

Se presenta a continuación el modelo completo de la red hidráulica programado mediante el software EPANET.

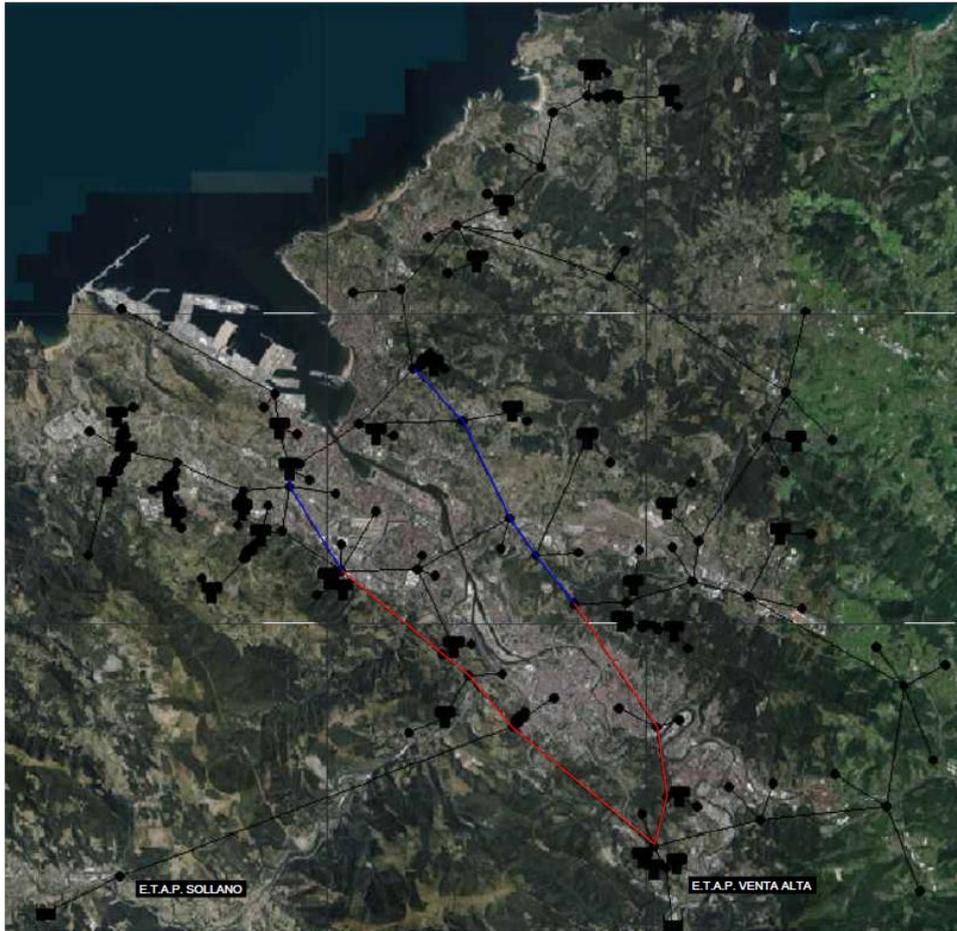


Ilustración 6: Modelo de la red hidráulica en EPANET

El sistema de tuberías de abastecimiento de agua del Gran Bilbao cuenta con dos ramificaciones principales de diámetro 2400 mm que parten desde los depósitos de la ETAP de Venta Alta, señalados de color rojo en la imagen superior. Una de estas ramificaciones transcurre desde dicha estación de tratamiento de agua potable por la margen derecha hasta Sondika, mientras que la otra va desde Venta Alta hasta los depósitos de Ugarte por la margen izquierda de la ría de Bilbao. A partir de estos dos puntos, los diámetros de los conductos pasan a ser de 1200 mm (mostrados en azul), y a medida que las tuberías continúan hacia áreas con menor demanda, el diámetro disminuye para ajustarse a las necesidades específicas de cada zona ayudando a maximizar la eficiencia del sistema y reducir los costes de construcción.

A partir de estas dos ramificaciones, se crea un mallado para poder aumentar la garantía de suministro de agua potable a los municipios del Gran Bilbao por diversos caminos. Para ello

se unen dichas ramificaciones en dos puntos principales: uno por el puente de Rontegi que cruza la ría de Bilbao desde Barakaldo hasta Erandio, y el otro a la altura del puente colgante de Bizkaia (conexión realizada debajo del lecho de la ría).

La formación de anillos en la red de suministro es una práctica común en la planificación de la infraestructura de abastecimiento de agua. Esta estrategia consiste en conectar varias conducciones de agua para formar un circuito cerrado, de manera que los nodos de la red se alimenten por varias conducciones y no dependan únicamente de una. De esta manera, si se produce la rotura de una de las conducciones, los nodos pueden seguir siendo abastecidos por las otras conducciones conectadas al anillo, garantizando así el suministro de agua a la población afectada. Esta práctica permite mejorar la resiliencia de la red de abastecimiento ante situaciones de emergencia, lo que se traduce en un servicio más fiable y seguro para los consumidores.

8.4. OPCIONES HIDRÁULICAS Y DE TIEMPO

Una de las características del software EPANET es la capacidad de personalizar las opciones hidráulicas, lo que permite al usuario adaptar el software a sus necesidades específicas y obtener resultados precisos y fiables. La modificación de las opciones hidráulicas del proyecto permite al usuario ajustar la precisión y el número máximo de iteraciones, así como elegir la ecuación de pérdidas por rozamiento que mejor se adapte al sistema. Estas opciones permiten al usuario obtener resultados más precisos y fiables, lo que es fundamental en cualquier proyecto de diseño hidráulico.

La precisión se refiere a la limitación del error permitido en los cálculos realizados por el software, de la cual se puede controlar el nivel de detalle en los resultados obtenidos. Una precisión más alta significa que los resultados serán más precisos, pero también significa que el proceso de cálculo será más lento. Mientras que el número máximo de iteraciones se refiere al número máximo de veces que el software intentará resolver las ecuaciones matemáticas involucradas en el cálculo. Aumentar el número máximo de iteraciones puede mejorar la precisión de los resultados, pero también puede prolongar el tiempo de cálculo. Para proyectos de envergadura como el presente se recomienda una precisión de 0.001 y 40 iteraciones como máximo para así obtener un mayor éxito en la exactitud de la simulación además de acortar el tiempo de cálculo en la simulación del modelo.

Propiedad	Valor
Unidades de Caudal	LPS
Ecuación de Pérdidas	D-W
Peso Específico	1
Viscosidad Relativa	1
Iteraciones Máx.	40
Precisión	0.001
Sistema no equilibrado	Continuar
Patrón predeterminado	2
Factor de Demanda	1.0
Exponente Emisores	0.5
Informe de Estado	No
CHECKFREQ	2
MAXCHECK	10
DAMPLIMIT	0

Tabla 5: Opciones hidráulicas de EPANET

EPANET da la posibilidad de utilizar varias ecuaciones para el cálculo de la pérdida de carga en las tuberías, entre ellas la ecuación empírica de Darcy-Weisbach. Esta ecuación se basa en la relación entre la velocidad del fluido, el diámetro de la tubería y las propiedades del fluido, y es ampliamente utilizada en la industria del agua. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta ecuación puede no ser precisa en algunas situaciones, como en tuberías de alta velocidad o en tuberías con irregularidades en la superficie interna.

Otra de las funciones principales de EPANET es la capacidad de simular el comportamiento temporal del sistema, lo que permite analizar cómo se comporta en diferentes momentos del día o en diferentes días.

Propiedad	Hrs:Min
Duración Total	72
Intervalo Cálculo Hidráulico	1:00
Intervalo Cálculo Calidad	0:05
Intervalo Patrones	1:00
Tiempo Inicio Patrón	0:00
Intervalo Informe	1:00
Tiempo Inicio Informe	0:00
Tiempo Inicio Reloj	12 am
Estadística	Ninguno

Tabla 6: Opciones de tiempo de EPANET

Existen dos opciones de tiempo en EPANET: tiempo de simulación y los intervalos de tiempo de análisis. El tiempo de simulación se refiere a la duración total de la simulación y puede ser especificado en horas, minutos o segundos. El tiempo de análisis, por otro lado, se refiere al intervalo de tiempo en el que se realizan las mediciones y los cálculos. Además de estas dos opciones, EPANET también permite especificar una serie de eventos programados que pueden afectar el comportamiento del sistema en momentos específicos. Estos eventos pueden incluir cambios en la demanda, fallos en equipos o cambios en las condiciones climáticas.

Para este proyecto se ha estimado una duración total de 72 horas para la simulación. Se trabajará con intervalos de una hora, permitiendo así una mayor precisión en los resultados obtenidos. Con esta metodología, se podrá analizar el comportamiento del sistema en diferentes momentos y obtener una visión completa del mismo.

9. ANÁLISIS DE LAS ROTURAS

En el análisis de las roturas se presentan los resultados obtenidos en las distintas simulaciones de los modelos del sistema de abastecimiento del Gran Bilbao. El objetivo principal de la simulación es comparar el comportamiento del sistema en condiciones normales con diferentes escenarios en los que se rompa alguna de las tuberías más significativas de la red, como pueden ser la conexión entre los embalses del río Zadorra con la ETAP de Venta Alta o entre el embalse de Ordunte y la ETAP de Sollano. Con esta información, se busca identificar las posibles consecuencias de una rotura de tubería y el impacto que tendría en la distribución del agua en la zona. Además, se evalúan las medidas de contingencia necesarias para minimizar los efectos del fallo y garantizar un suministro continuo de agua a la población.

9.1. SIMULACIÓN DEL SISTEMA REAL

En este apartado se llevará a cabo la simulación del modelo del sistema de abastecimiento de agua del Gran Bilbao. Dicha simulación se puede considerar una representación bastante precisa de la red de abastecimiento real, ya que se ha desarrollado utilizando los datos proporcionados por el CABB y los parámetros que más se ajustan a la realidad, lo que permite un alto grado de exactitud en la representación del sistema permitiendo una mejor comprensión del mismo. A partir de esta simulación se podrán analizar diferentes escenarios

y configuraciones del sistema, evaluando su rendimiento y permitiendo la toma de decisiones en cuanto a las contingencias necesarias ante una rotura o fallo en alguna de las tuberías más relevantes en la red hidráulica.

Conviene destacar que se ha introducido una válvula limitadora de caudal (FCV) en el modelo del sistema hidráulico entre el embalse de Ordunte y la ETAP de Sollano. Esta válvula tiene como objetivo limitar el caudal máximo del canal a 1000 l/s, con el fin de asemejarse al canal real existente.

Una vez programado el modelo para cumplir con los requisitos del sistema, se procede a simular el mismo durante 72 horas. Esto se hace para obtener una representación precisa de cómo afecta el patrón de demanda diario del Gran Bilbao en un período suficientemente largo que permita que el modelo matemático se estabilice y así poder obtener resultados fiables.

Es importante tener en cuenta que una simulación de corta duración del modelo no permite obtener una representación precisa de los datos ya que la información recogida es insuficiente para dar una imagen completa del sistema en cuestión. Por otro lado, una simulación demasiado larga puede traer problemas de estabilidad ya que el modelo puede volverse demasiado complejo y difícil de manejar, lo que aumenta el riesgo de errores y fallos en los resultados. Es crucial encontrar el equilibrio adecuado entre la duración de la simulación y la precisión de los resultados para obtener una representación lo más precisa posible del sistema en cuestión, por ello la recomendación de los usuarios expertos de EPANET es una simulación de entre 48 y 72 horas para proyectos de este tipo.

En la imagen inferior se presenta una captura de la simulación del modelo hidráulico en el momento en que la demanda de agua alcanza su punto máximo, específicamente a las 14 horas. Este modelo permite analizar cómo se distribuye el agua a través de la red de abastecimiento hasta los puntos de demanda y cómo se gestiona la misma en función de las necesidades del sistema.

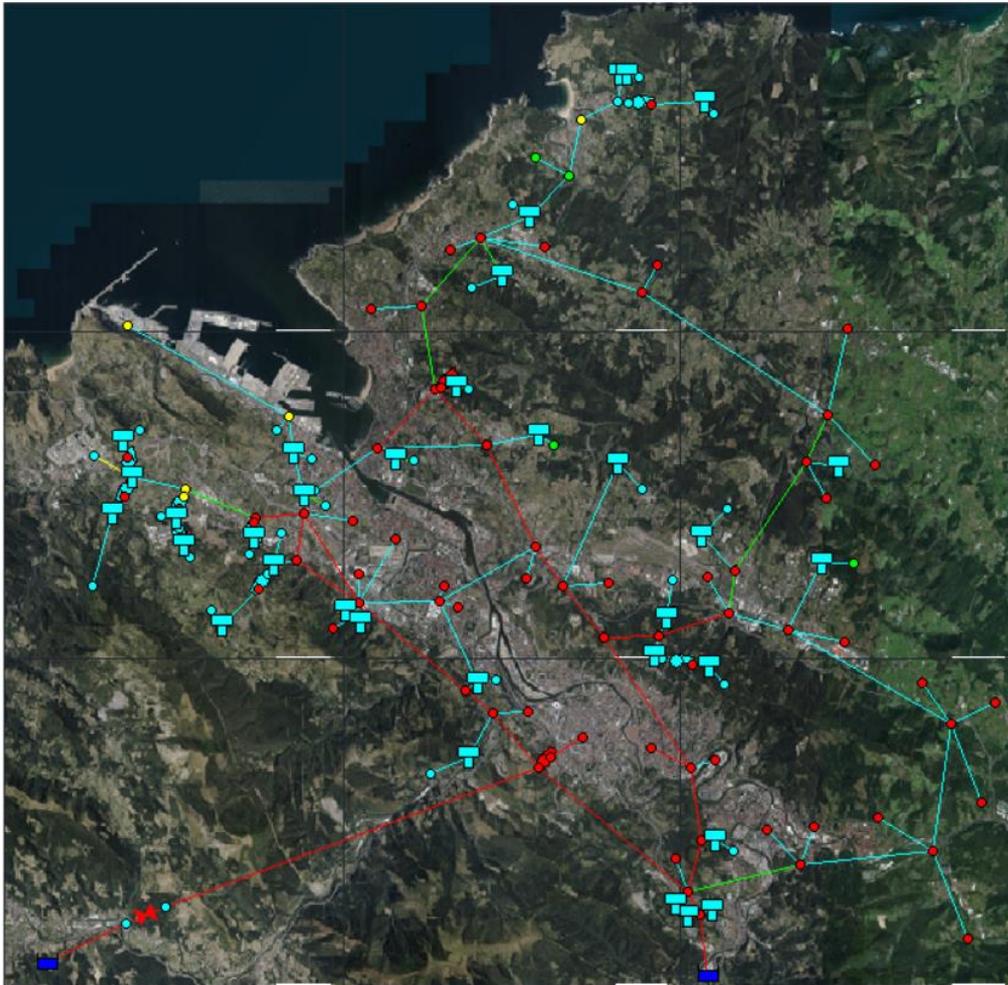


Ilustración 7: Simulación del modelo de la red hidráulica real

Los nodos y tuberías del modelo del sistema de distribución de agua simulado en EPANET pueden variar de color en función de la presión y el caudal que fluye a través de ellos, respectivamente. Los colores utilizados suelen ser una representación visual de los niveles de presión y caudal para facilitar la lectura y el monitoreo del sistema durante toda la simulación.

En este caso se establece un rango de cuatro colores para la presión existente en los nodos y el caudal que atraviesa cada tubería en un instante dado. El color cian se utiliza para indicar los valores de menor presión y caudal en un rango comprendido entre 0 y 50 metros de columna de agua (m.c.a.) y de 0 a 50 l/s, respectivamente. Por otro lado, el color rojo se utiliza para indicar los valores de mayor presión y caudal, superiores a 100 m.c.a y 100 l/s. Mientras que los colores verde y amarillo representan dos rangos distintos dentro del espectro de los colores visibles. El verde se encuentra en un rango medio entre el color azul cian, que representa el extremo mínimo del espectro, y el amarillo, que se encuentra en el extremo opuesto, cerca del rojo.

En la simulación del modelo en EPANET se observa como el agua va casi toda por las dos conducciones principales (una transcurre por la margen derecha de la ría de Bilbao hasta el depósito de Kurkudi, y la otra a lo largo de la margen izquierda hasta el depósito de Las Carreras) y de ahí se distribuye por la red. Esto se debe a que las conducciones principales tienen un diámetro mayor y una capacidad de caudal más alta. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta distribución no es fija y puede variar dependiendo de las condiciones de la red, como la demanda, las restricciones de flujo y las pérdidas de presión.

Es importante tener en consideración que los puntos de inyección de agua a la red tienen un impacto en la presión en los nodos de la red hidráulica. En particular, se observa que los nodos más cercanos a los puntos de inyección de agua en el sistema tienen una sobrepresión debido a la altura manométrica que aportan los embalses, que como se ha comentado previamente se ha aumentado su cota para suplir de alguna forma los bombeos existentes en la red real y que no se han incluido por simplificación del sistema. Sin embargo, en los puntos más lejanos de la red, se obtienen presiones reales debido a que la presión introducida por los embalses se disipa a lo largo de todo el sistema.

Para que una simulación sea considerada exitosa, es crucial que los resultados obtenidos se asemejen lo más posible a los datos reales. En el caso del caudal medio inyectado en una red de suministro de agua, el objetivo sería obtener un valor cercano a $3 \text{ m}^3/\text{s}$, que es el caudal medio que consume el sistema real del Gran Bilbao. Esto indicaría que la simulación está correctamente calibrada y es útil para tomar decisiones en términos de diseño y operación.

Para conocer el caudal necesario para abastecer el modelo del sistema de distribución de agua, se deberá medir los caudales en las líneas que provienen de los embalses en cada intervalo de la simulación. El propio software de EPANET recopila esta información durante la simulación, y lo representa tanto gráficamente para que sea fácil de visualizar y analizar, como tabulado para obtener los datos con exactitud (**VER ANEXO III. LISTADO DE CAUDALES**).

A continuación, se presentan las gráficas del caudal existente en los dos canales principales durante la duración total de la simulación. Estas gráficas proporcionan una visión detallada de cómo el caudal varía en el tiempo, permitiendo una mejor comprensión del patrón de demanda y tendencias en el caudal y su relación con el diseño de la red de abastecimiento del Gran Bilbao. Además, estas gráficas son útiles para la planificación y gestión de los recursos hídricos, ya que proporcionan la información necesaria para tomar decisiones informadas sobre el uso del agua.

- **Caudal proveniente de los embalses del río Zadorra:**

La simulación realizada ha permitido obtener los datos relacionados con el caudal que fluye por esta conducción durante las 72 horas de simulación, de los cuales se ha obtenido un caudal medio de 2.119 l/s.

A continuación, se muestra la gráfica del caudal que transcurre por el canal que conecta el embalse de Undurraga con la ETAP de Venta Alta:

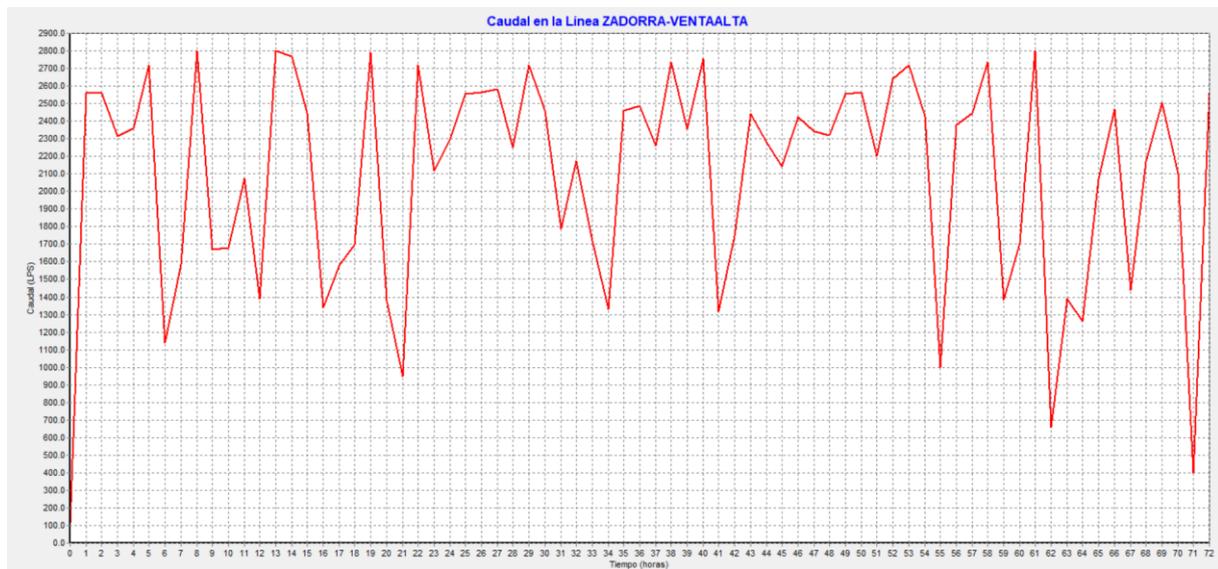


Ilustración 8: Caudal-Tiempo en la línea Zadorra-Venta Alta en el modelo real

Es importante destacar que este canal llega a la ETAP de Venta Alta, con una capacidad de 7 m³/s, lo que significa que desde esta fuente de suministro se podría abastecer todo el sistema de abastecimiento del Gran Bilbao, lo que lo convierte en la principal fuente de suministro para el sistema. Además, el hecho de que el canal esté sobredimensionado tiene un impacto positivo en la eficiencia del sistema, ya que permite una mayor flexibilidad en la gestión del suministro de agua. Esto puede ser especialmente útil en situaciones de sequía, cuando se requiere un suministro adicional de agua para satisfacer las necesidades de las comunidades locales y las industrias.

- **Caudal proveniente del embalse de Ordunte:**

El embalse de Ordunte es otra de las principales fuentes de agua que alimenta el sistema, sin embargo, el caudal proveniente de este embalse es significativamente menor que el caudal

que se inyecta al sistema desde los embalses del Zadorra. Esto se debe a las limitaciones del canal que conecta el embalse de Ordunte con el sistema de abastecimiento, el cual está limitado a un caudal máximo de 1 m³/s debido a las condiciones en las que se encuentra (originariamente tenía una capacidad de 1,5 m³/s).

En la siguiente gráfica se muestra el caudal que fluye desde el embalse de Ordunte hasta la ETAP de Sollano, en la cual se observa que durante las horas en las que la demanda alcanza su pico, no se rebasan los 1000 l/s debido a las condiciones anteriormente mencionadas.

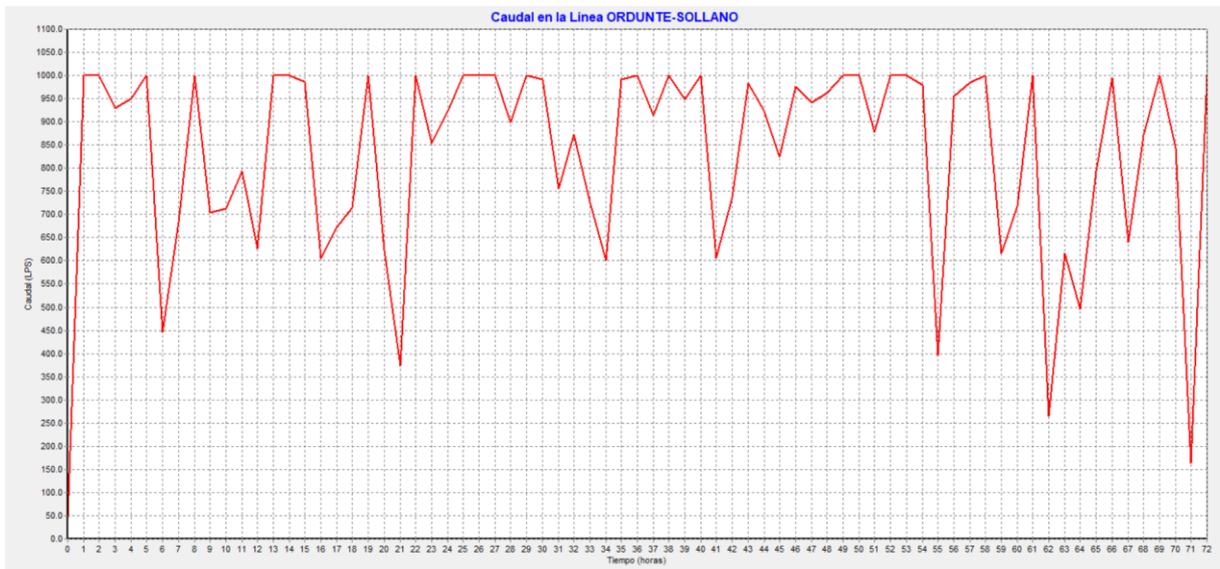


Ilustración 9: Caudal-Tiempo en la línea Ordunte-Sollano en el modelo real

El caudal medio, obtenido de los resultados de la simulación, es de 840 l/s. A pesar de que este caudal es menor que el caudal que se inyecta al sistema desde los embalses del Zadorra todavía es lo suficientemente significativo en cuanto a aporte de agua al sistema de abastecimiento como para considerarlo en el modelo.

La suma de los caudales provenientes de ambos embalses permite obtener el caudal medio total de agua de abastecimiento inyectado al sistema desde ambos embalses obtenido de la simulación, que es de 2959 l/s y se asemeja a los que consume de media el sistema hidráulico del CABB, lo cual indica que la simulación está siendo lo suficientemente precisa como para poder considerarse correcta.

Esto significa que la simulación es bastante aproximada a la realidad del sistema, lo que nos permite realizar las diferentes simulaciones previstas con garantías de su parecido al sistema real de abastecimiento.

9.2. EXPOSICIÓN DE LAS CASUÍSTICAS

En este apartado, se estudian diferentes escenarios en los que se simula la rotura de una de las tuberías principales de la red de suministro de agua. Se consideran diferentes factores como la ubicación de la rotura, el tamaño de la tubería, el caudal y la presión en el sistema, entre otros. Con esta información, se evalúa cómo respondería el sistema ante una situación de emergencia y se analizan las posibles consecuencias en términos de pérdida de presión, pérdida de caudal y fallo de suministro.

Para cada escenario, se proponen medidas de contingencia que buscan minimizar los efectos de la rotura y mantener el suministro de agua a la población. Estas medidas incluyen la activación de bombas de emergencia, la redirección del caudal a través de otras tuberías actuales, y la posibilidad de construir conductos nuevos en el caso de que sea necesario. Con esta información, se busca identificar las debilidades del sistema y proponer mejoras para aumentar la resiliencia ante este tipo de eventos.

A continuación, se exponen los diferentes escenarios de emergencia que se han analizado en este estudio, además de las soluciones propuestas para cada una:

9.2.1. ESCENARIO 1

En el primer escenario se analiza cómo se vería afectado el sistema de abastecimiento de agua potable del Gran Bilbao en caso de que el canal que conecta el embalse de Ordunte con la estación de tratamiento de agua potable de Sollano se rompiera. El agua proveniente del canal de Ordunte es una fuente importante de agua potable para la región, proporcionando como máximo 1000 l/s debido a las limitaciones de dicho canal. Este caudal se conecta con el depósito de Elejabarri, desde el cual se suministra agua a la ciudad de Bilbao. Si este conducto se rompe, el agua proveniente de los embalses del Zadorra sería la única fuente de abastecimiento de agua del sistema.

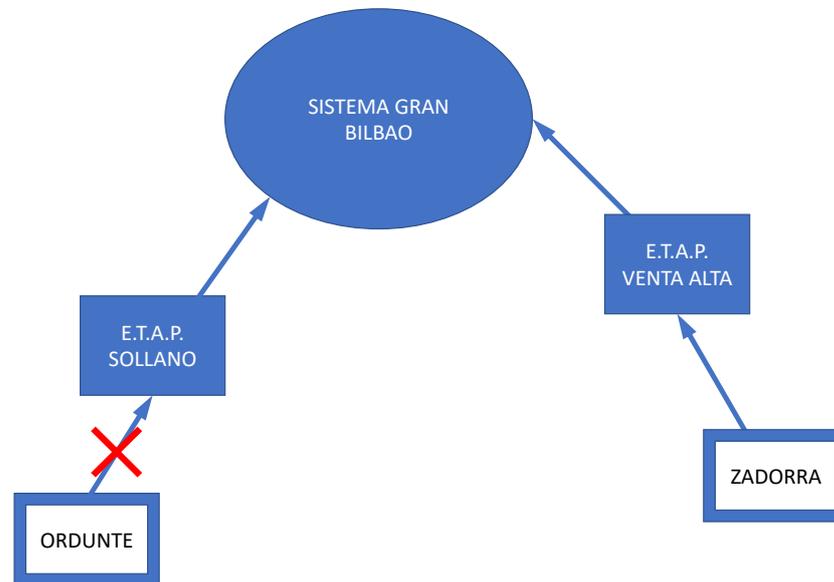


Ilustración 10: Esquema del escenario 1

Uno de los objetivos principales de este escenario es determinar si el canal proveniente de los embalses de Zadorra es capaz de proporcionar el agua necesaria para abastecer tanto las necesidades de las industrias como las de la población en caso de una interrupción en el suministro a través del canal de Ordunte. Se analizará el caudal que se distribuye al sistema a través de la ETAP de Venta Alta para determinar si es capaz de proveer suficiente agua para cubrir las necesidades de ambos sectores, además de la fiabilidad del sistema en el caso de que ocurriese lo propuesto.

Para verificar cómo responde el sistema ante la rotura del canal de Ordunte, simulamos el modelo de EPANET eliminando la tubería en cuestión del modelo y se simula el sistema para obtener los resultados de este escenario específico. De esta manera, se podrá ver cómo se vería afectado el caudal en la red y cómo se redistribuye a través del resto del sistema.

Los resultados obtenidos en la simulación se exponen a continuación. Estos resultados permitirán evaluar el comportamiento del sistema ante la rotura del canal de Ordunte, y verificar si el sistema cumple con las condiciones impuestas para este escenario. Además, estos resultados pueden ser utilizados para tomar decisiones en caso de una emergencia real, y para planificar acciones preventivas en el futuro.

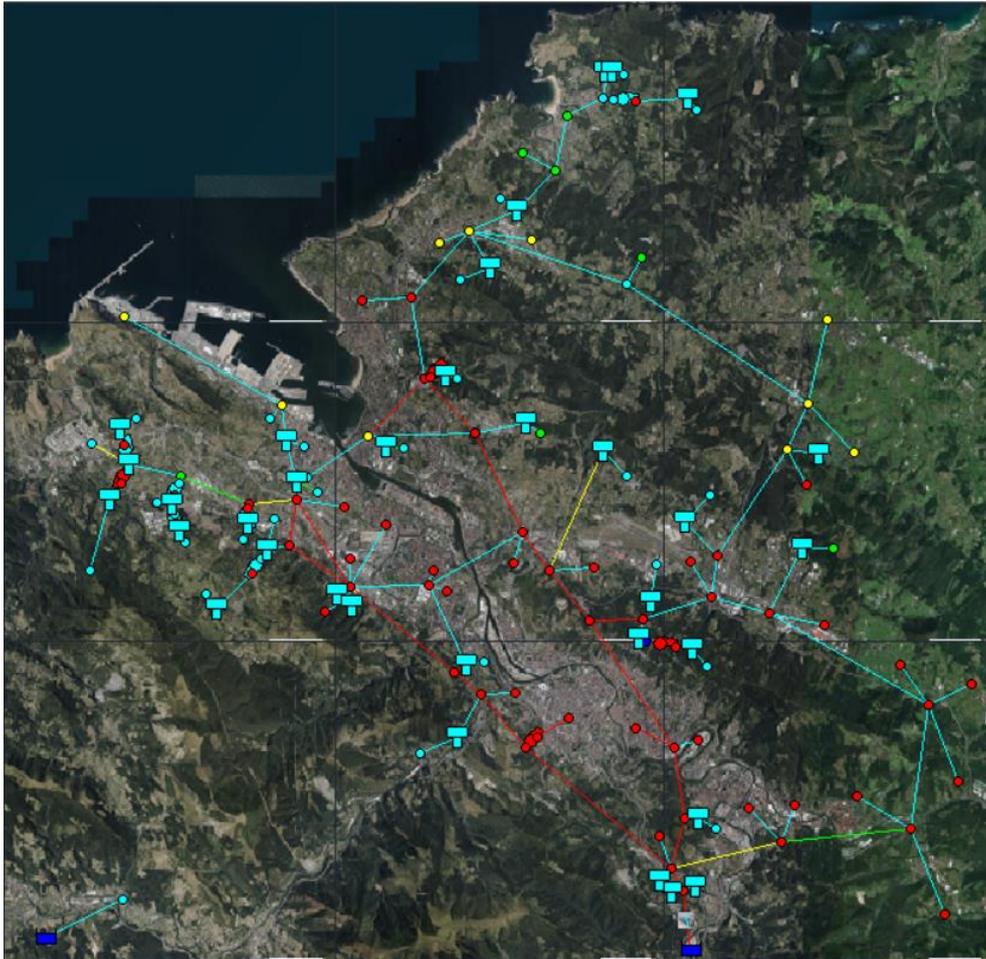


Ilustración 11: Simulación del modelo de la red hidráulica del escenario 1

Como se ha comentado anteriormente el canal que abastece a la población desde los embalses del Zadorra está sobredimensionado y debería ser capaz de abastecer todo el sistema por sí solo.

Sin embargo, al comparar los resultados de la simulación del primer escenario con los resultados de la simulación del modelo equivalente al sistema real, se puede observar cómo las presiones en la red son menores debido a la ausencia de la tubería que aporta agua desde el embalse de Ordunte. Esto se debe a que la tubería rota ya no proporciona caudal al sistema, lo que provoca una reducción en la cantidad de agua disponible para suministrar en la red, no siendo suficiente la compensación de caudal por parte de los embalses del Zadorra.

A continuación, se muestra la variación del caudal que fluye a través del canal en cuestión durante la duración total de la simulación.

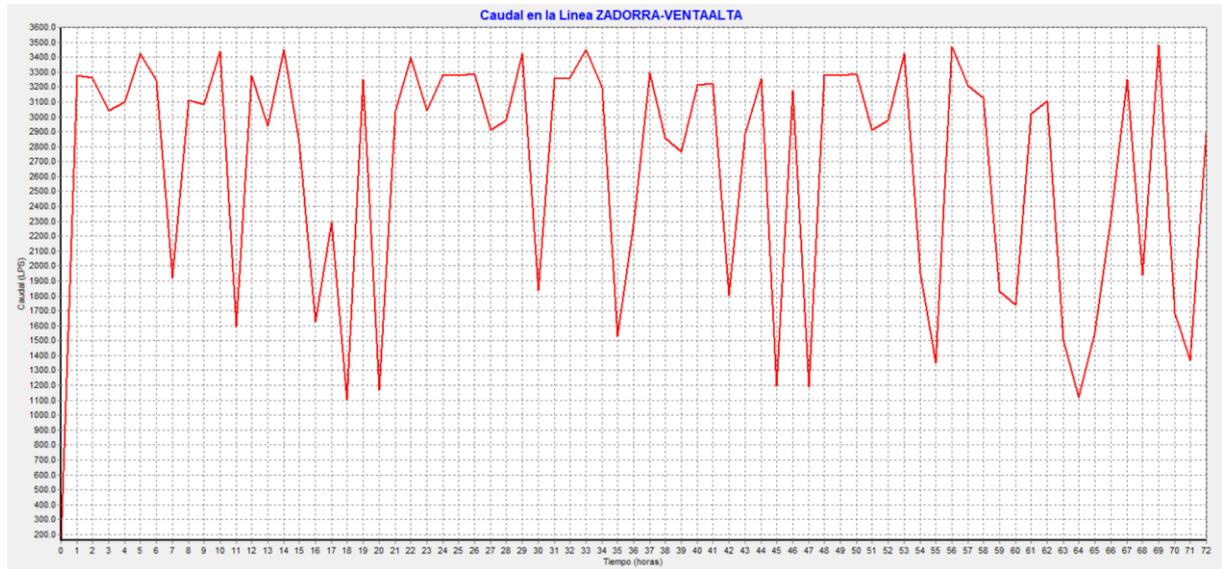


Ilustración 12: Caudal-Tiempo en la línea Zadorra-Venta Alta en el escenario 1

En la simulación del modelo del escenario actual, se ha observado un aumento del caudal alimentado a través de la ETAP de Venta Alta en comparación con el modelo del sistema real. Sin embargo, al analizar los caudales en cada intervalo de las 72 horas de la simulación y calcular su media, se ha determinado que el caudal proveniente del Zadorra es de 2691 l/s, menor a los 3 m³/s de caudal que consume el modelo real. Esto indica que, a pesar del aumento observado en el caudal de alimentación a través de Venta Alta, no es el suficiente para abastecer a la región del Gran Bilbao en su totalidad corto plazo.

Esta falta de caudal se produce fundamentalmente en la zona de población suministrada exclusivamente por la ETAP de Sollano, fundamentalmente el valle del Cadagua (Zalla, Sodupe, Gordexola, Balmaseda, etc.).

Entre las posibles soluciones a este escenario, la que resultaría más rápida y económica de poner en funcionamiento sería la de bombear agua directamente desde el río Cadagua a la ETAP de Sollano, El agua una vez tratada en la ETAP se distribuiría de forma análoga a como se realiza ahora.

9.2.2. ESCENARIO 2

Al igual que en el escenario anterior, en este también se produce una interrupción en el suministro de agua en el canal que conecta la ETAP de Sollano con el depósito de Elejabarri, igual que en el caso anterior se dejarían de suministrar casi 1000 l/s al sistema desde la citada

ETAP, aunque en este caso dispondríamos de ese caudal potabilizado en la planta de tratamiento.

Una de las posibles soluciones a este escenario pasaría por estudiar la posibilidad de construir una tubería que transporte el agua desde la ETAP de Sollano hasta el depósito de Las Carreras en Muzkiz. Con la construcción de esta tubería se pretende asegurar un flujo constante de agua potable, contribuyendo a satisfacer las necesidades de la población atendiendo a la demanda y a mejorar la disponibilidad de agua en todo el sistema hidráulico.

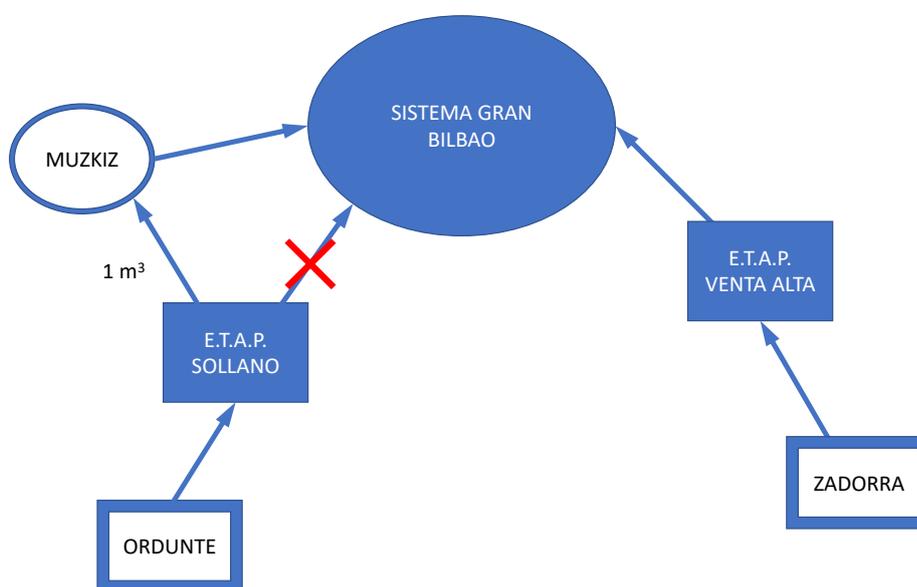


Ilustración 13: Esquema del escenario 2

Dicha tubería es uno de los muchos proyectos que han sido estudiados por el CABB recientemente, estando en este momento en fase de construcción. La tubería de diámetro 800 mm tendrá una longitud de aproximadamente 6 kilómetros y será utilizada para transportar agua tratada desde la ETAP hasta el depósito en Muzkiz, garantizando el suministro de agua al sistema de abastecimiento ante posibles roturas de otras tuberías de la red, no solamente del canal de llegada a Elejabarri. La construcción de este conducto es un proyecto importante que pretende mejorar la infraestructura de suministro de agua en la zona del Gran Bilbao, y está programado para ser concluido en un plazo de 4 años. [6]

En el modelo de EPANET, la tubería existente que conecta la ETAP de Sollano con Elejabarri ha sido eliminada para imitar una rotura y se ha introducido una tubería nueva desde Sollano hasta el depósito de las carreras, con un diámetro de 800 mm. Además, se ha instalado una válvula limitadora de caudal (FCV) para limitar el flujo de agua proveniente del

embalse de Ordunte a un máximo de 1000 L/s. Con estos cambios en su lugar, se ha procedido a simular el modelo para evaluar el impacto en la red de suministro de agua del Gran Bilbao.

En la ilustración 14 se muestra el modelo de EPANET de este escenario en particular, en la que se puede observar la presencia del nuevo conducto instalado en el sistema que se añade para mejorar el rendimiento y eficiencia de la red.

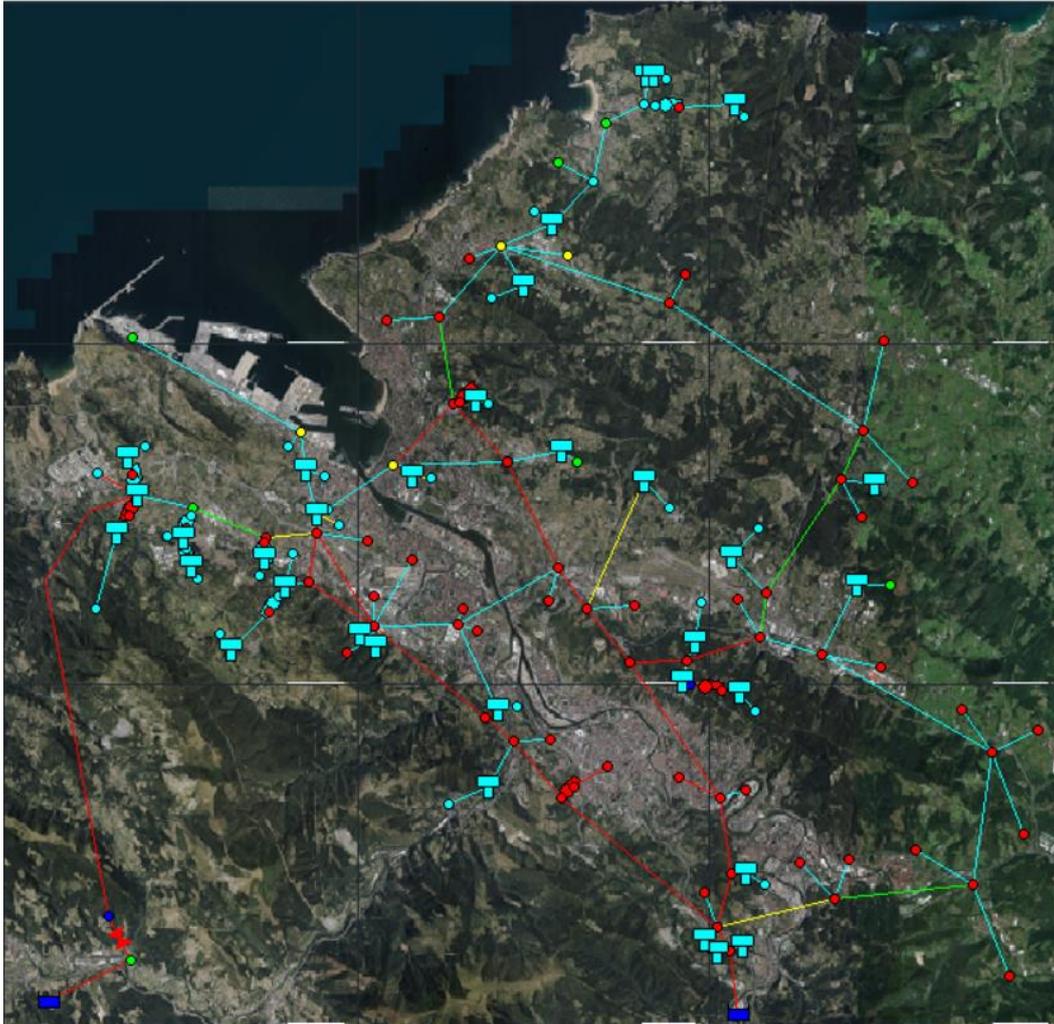


Ilustración 14: Simulación del modelo de la red hidráulica del escenario 2

La comparación entre la simulación del escenario actual y la del modelo de la red hidráulica real muestra que las presiones son equivalentes. Esto indica que la redistribución del agua del sistema de Ordunte a través de la nueva tubería hasta el depósito de las Muzkiz, proporciona suficiente presión para satisfacer las necesidades de agua de la población. Esto significa que el nuevo sistema de tuberías propuesto en este escenario permite el flujo de agua con la presión necesaria para llegar a todos los puntos de consumo de la red, garantizando así un suministro constante y confiable.

Una vez comparadas las presiones en las tuberías que abastecen al sistema, es importante comparar también los caudales para confirmar la validez del escenario en cuestión, es por ello por lo que a continuación se muestran las variaciones del caudal en ambas tuberías de abastecimiento provenientes de los embalses durante las 72 horas de simulación:

- **Caudal proveniente de los embalses del río Zadorra:**

Para poder concluir que el caudal procedente de los embalses del río Zadorra es suficiente en este escenario, es esencial que estos embalses proporcionen un caudal equivalente al que se ha previsto en las simulaciones del modelo semejante al existente. Para verificar este aspecto, en primer lugar, se deben analizar los datos del caudal que circula por la línea Zadorra-Venta alta, los cuales son proporcionados por el software EPANET.

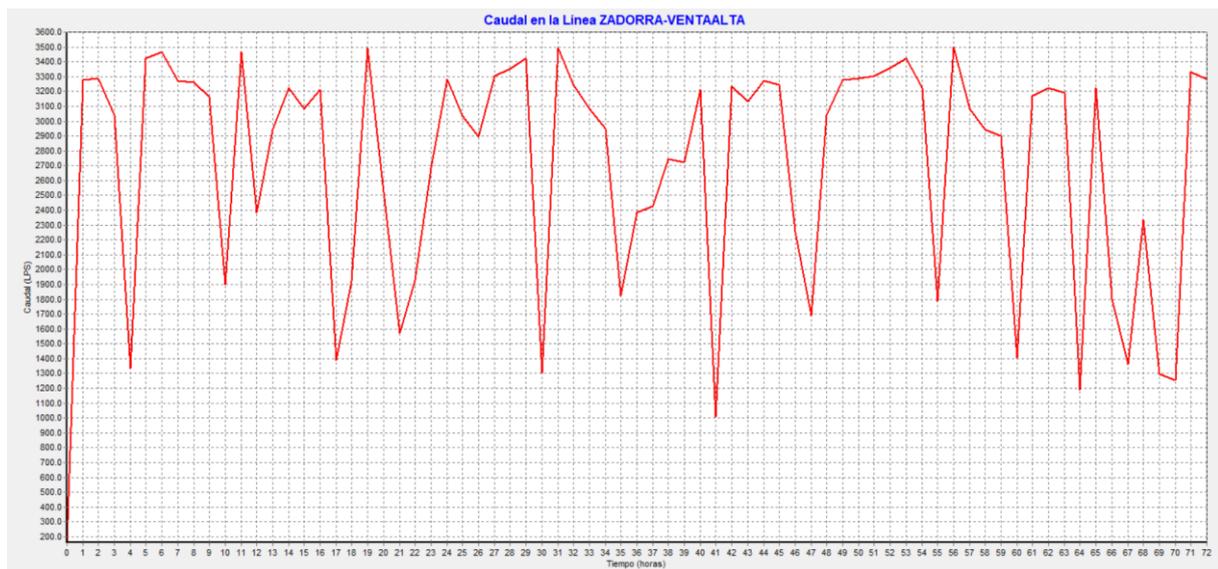


Ilustración 15: Caudal-Tiempo en la línea Zadorra-Venta Alta en el escenario 2

En el gráfico superior se muestran los datos relativos al caudal que se suministra en Venta Alta. Los cálculos realizados con estos datos muestran una media de caudal de 2.736 l/s, lo que indica que el caudal medio proporcionado por este embalse ha sufrido un aumento significativo en comparación con el caudal procedente de la misma fuente de abastecimiento en el modelo de la red hidráulica real.

- **Caudal proveniente del embalse de Ordunte:**

El aumento del caudal aportado por los embalses del río Zadorra a la red hidráulica tendrá una consecuencia directa en el caudal aportado por el embalse de Ordunte. Dado que la cantidad de agua que transcurre por el canal que alimenta la ETAP de Venta Alta desde el Zadorra es superior al del sistema hidráulico real, necesariamente se disminuirá el caudal que transcurre por la nueva tubería.



Ilustración 16: Caudal-Tiempo en la línea Ordunte-Sollano en el escenario 2

La gráfica muestra el caudal que suministra al sistema de abastecimiento del Gran Bilbao desde el embalse de Ordunte a través de la tubería proyectada en este escenario durante las 72 horas de simulación, siendo el promedio de este de 147 l/s. Esto significa que el caudal medio en la tubería que conecta con Muzkiz en la simulación actual es menor al que existe en la realidad en la tubería que conecta con Elejabarri. Sin embargo, esta pérdida de caudal se compensa con el aumento del caudal proporcionado por los embalses del Zadorra.

Tras estudiar los caudales procedentes de ambos embalses, se sabe que el caudal medio total suministrado a la población es de 2883 l/s. Esto demuestra que la simulación se asemeja a la realidad y que los resultados obtenidos son válidos y confiables. Además, la desviación del agua procedente del embalse de Ordunte se muestra viable en esta simulación, lo que indica que es una opción factible satisfacer las necesidades hídricas de la población a través de la tubería nueva.

Esta tubería también puede actuar como una alternativa de respaldo en caso de que alguna otra de las tuberías principales de abastecimiento sufra algún tipo de rotura o fallo. Al

tener esta tubería de respaldo en funcionamiento, se garantiza que el suministro de agua potable no se interrumpa y se proporciona una solución de emergencia en caso de cualquier eventualidad.

9.2.3. ESCENARIO 3

El tercer escenario considerado en este proyecto analiza la capacidad del sistema de proporcionar agua a la red en caso de que el canal que proviene de los embalses del Zadorra se interrumpa, siendo el embalse de Ordunte la única fuente de abastecimiento disponible para este caso. Este canal de suministro de agua a la red de abastecimiento del Gran Bilbao es el principal proveedor de agua para el sistema, proporcionando aproximadamente 2 m³/s al mismo a lo largo de todo el año. En el caso de que este canal quede inutilizable, es esencial tener medidas de contingencia en su lugar. Por esta razón, es importante realizar un análisis de las opciones disponibles para garantizar un suministro de agua constante y confiable para satisfacer las necesidades de demanda.

En caso de que la tubería principal de suministro de agua de la red hidráulica se rompa, se debería reemplazar los 2000 l/s que dejarían de ser suministrados. La única alternativa disponible para abastecer de agua a la población del Gran Bilbao es la tubería que transporta el agua del embalse de Ordunte a Elejabarri, la cual solo dispone de un caudal medio de 1000 l/s. A continuación, se describirán las acciones de contingencia necesarias para cubrir la falta de agua presentada en este escenario:

- **Tubería ETAP de Sollano hasta Muzkiz:**

La primera medida de contingencia necesaria para garantizar el suministro de agua en caso de emergencia es la construcción de la tubería que une la ETAP de Sollano con el depósito de Las Carreras en Muzkiz, descrita en el escenario 2. La construcción de este nuevo conducto es esencial para asegurar la disponibilidad de agua en situaciones de emergencia, pudiendo proveer un suministro adicional de agua en caso de rotura de la tubería Zadorra-Venta Alta o el suministro total si se trata de una rotura en la tubería Sollano-Elejabarri.

- **Bombeo de emergencia:**

Además de la tubería que transporta agua desde el embalse de Ordunte hasta Muzkiz, se necesita una fuente adicional de agua para satisfacer la demanda total de agua en el área metropolitana de Bilbao, ya que el caudal medio que aportan ambas tuberías actuales no es suficiente para cubrir las necesidades de la población y los sectores industriales. Por esta razón, se estudiará la viabilidad de bombear agua desde el río Nervión en su paso por Basauri como solución a la falta de caudal en caso de rotura del canal Zadorra-Venta Alta

Este bombeo de agua del río Nervión tiene como objetivo suministrar un caudal de unos 1000 l/s hasta la ETAP de Venta Alta. Una vez tratada, el agua será introducida en la red de abastecimiento para ser distribuida a la población y a las industrias del Gran Bilbao. Este bombeo se puede considerar crucial para garantizar un suministro de agua continuo ante cualquier adversidad sufrida por cualquier tubería principal del sistema.

El consorcio de aguas de Bilbao Bizkaia ya tiene previsto este bombeo, el cual cuenta con cuatro bombas ubicadas en Basauri que solo se activarán en casos de emergencia grave, como la rotura de la tubería expuesta en el escenario actual. Estas bombas están diseñadas para garantizar el suministro de agua a la población en situaciones de emergencia y mantener un nivel adecuado de presión en la red de abastecimiento. Es importante destacar que estos sistemas solo se utilizarán en situaciones excepcionales para garantizar la seguridad y la continuidad del servicio de suministro de agua potable a la población del Gran Bilbao. [7]

A continuación, se presenta un esquema detallado de las medidas de contingencia a tomar en el caso de que no sea posible suministrar agua procedente de los embalses del Zadorra.

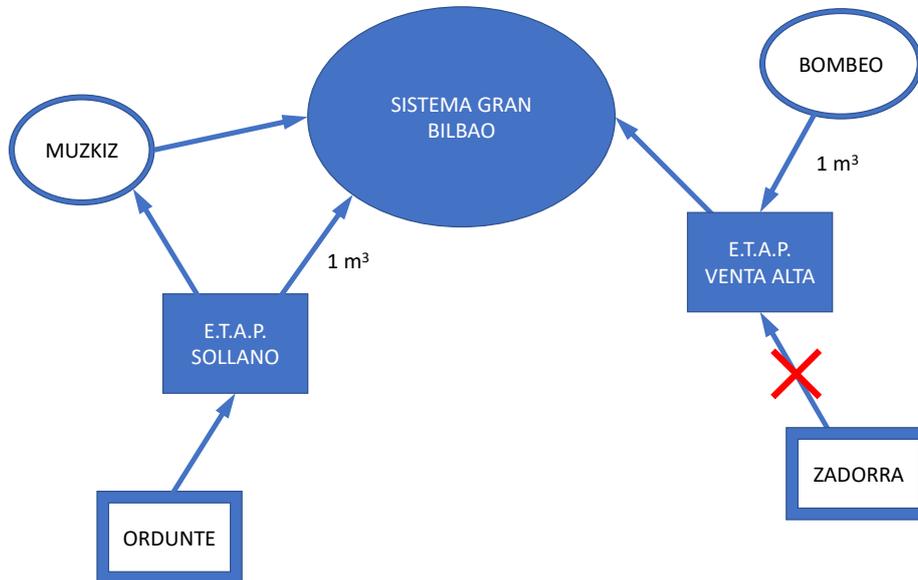


Ilustración 17: Esquema del escenario 3

Para realizar la simulación de este caso, se parte del modelo de la red existente en EPANET y se elimina la tubería que conecta el embalse del Zadorra con Venta Alta, representando así la rotura de este conducto. Al mismo tiempo, se mantiene la tubería que transporta agua desde el embalse de Ordunte hasta la ETAP de Sollano y se introduce la nueva tubería desde Sollano hasta el depósito de Las carreras con un diámetro de 800 mm.

Además de estos cambios en el sistema existente, se ha añadido un embalse para representar el bombeo de Basauri. Para controlar el caudal de este embalse, se ha limitado su capacidad a 1000 l/s mediante una válvula FCV. Estos cambios permitirán analizar el impacto de la rotura en la red y evaluar las soluciones alternativas para mantener el suministro de agua en el área afectada.

En la imagen inferior se muestra el modelo de EPANET en el que se han implementado los cambios comentados. Este modelo permite visualizar de manera clara y detallada la estructura y el comportamiento de la red de suministro de agua. Se pueden observar resultados de la simulación en términos de caudal y presión, lo que permite evaluar la eficacia de las modificaciones para garantizar un suministro de agua continuo en caso de emergencia.

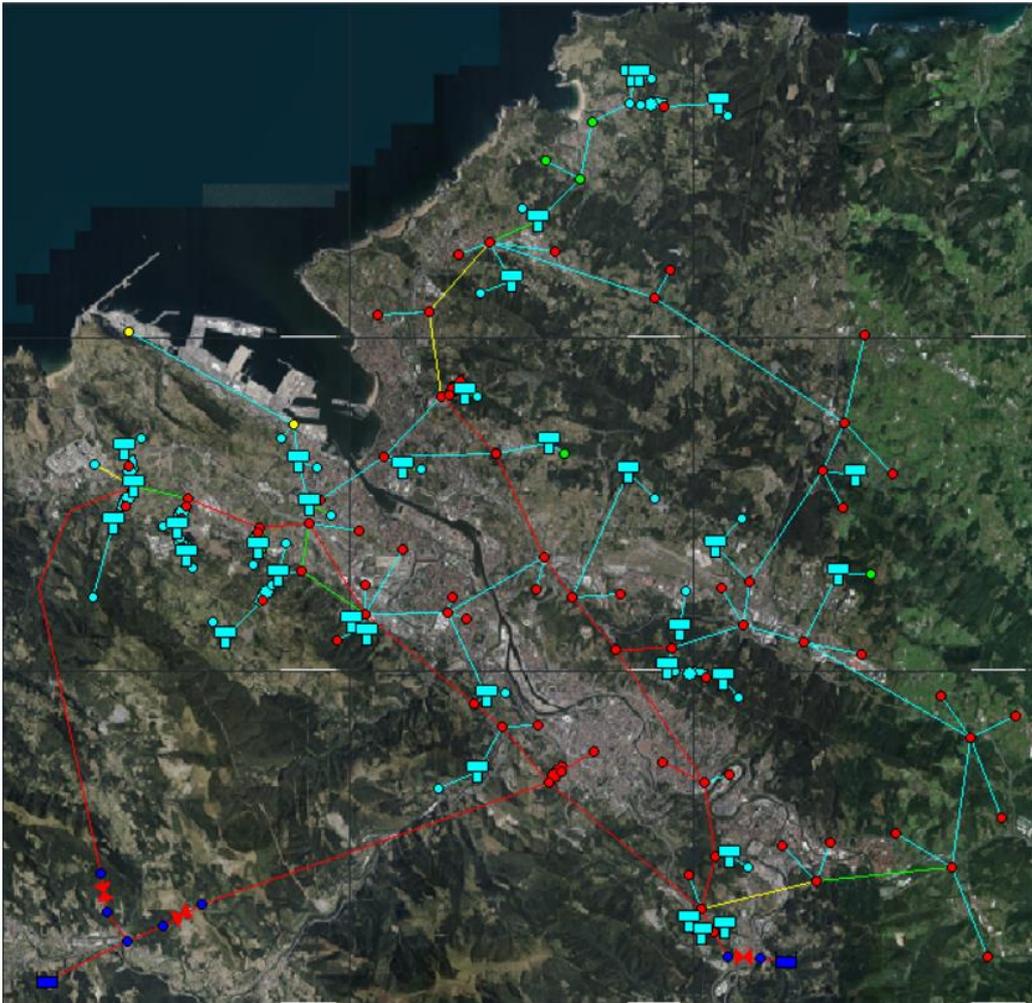


Ilustración 18: Simulación del modelo de la red hidráulica del escenario 3

En la imagen de la simulación del modelo de el escenario en cuestión, se puede ver como la presión en las ramificaciones principales se mantiene en niveles adecuados para satisfacer la demanda de la población en esa zona, sin embargo, en la zona interior de la mancomunidad del Gran Bilbao (Mungia y alrededores) se aprecia una presión ligeramente más baja. Aun así, esta presión es suficiente para cubrir la demanda durante un corto período de tiempo, mientras se realiza la reparación de la tubería principal que proviene de los embalses del Zadorra.

Además de monitorear la presión en la red de suministro de agua, es igualmente importante estudiar los caudales provenientes de las diferentes fuentes de abastecimiento de la región para el escenario actual. Los caudales juegan un papel crucial en la determinación de la eficiencia y la capacidad de la red para satisfacer la demanda, permitiendo evaluar si las fuentes de abastecimiento son capaces de proporcionar el volumen necesario de agua para cubrir la demanda de la población.

Por lo tanto, es necesario que, al igual que en los escenarios anteriores, el caudal medio total de agua de abastecimiento suministrado al Gran Bilbao deberá de ser entorno a los 3 m³/s. Si los caudales no son suficientes para satisfacer la demanda, se necesitará implementar medidas para mejorar la capacidad de la red, como la construcción de nuevas fuentes de abastecimiento o la ampliación de la capacidad de las existentes. Por otro lado, si los caudales son superiores a la demanda, se pueden considerar medidas para mejorar la eficiencia de la red y reducir los costes.

Para determinar si el escenario es exitoso, es fundamental llevar a cabo un estudio exhaustivo de los caudales provenientes de cada uno de los puntos de suministro de agua en la región, lo que permitirá conocer la capacidad de cada fuente para proporcionar el volumen necesario de agua para cubrir la demanda. A continuación, se muestran las gráficas que muestran la evolución de estos caudales durante las 72 horas de simulación:

- **Caudal proveniente del embalse de Ordunte:**
 - **Línea Sollano-Elejabarri:**

La tubería que conecta la ETAP de Sollano con Elejabarri es el único conducto principal del abastecimiento de agua al Gran Bilbao que se mantiene del modelo de la red real para este escenario. Al ser un elemento existente en la infraestructura hidráulica real, el caudal suministrado al sistema que proviene del embalse de Ordunte a través de esta tubería deberá de estar alrededor de los 1000 l/s.

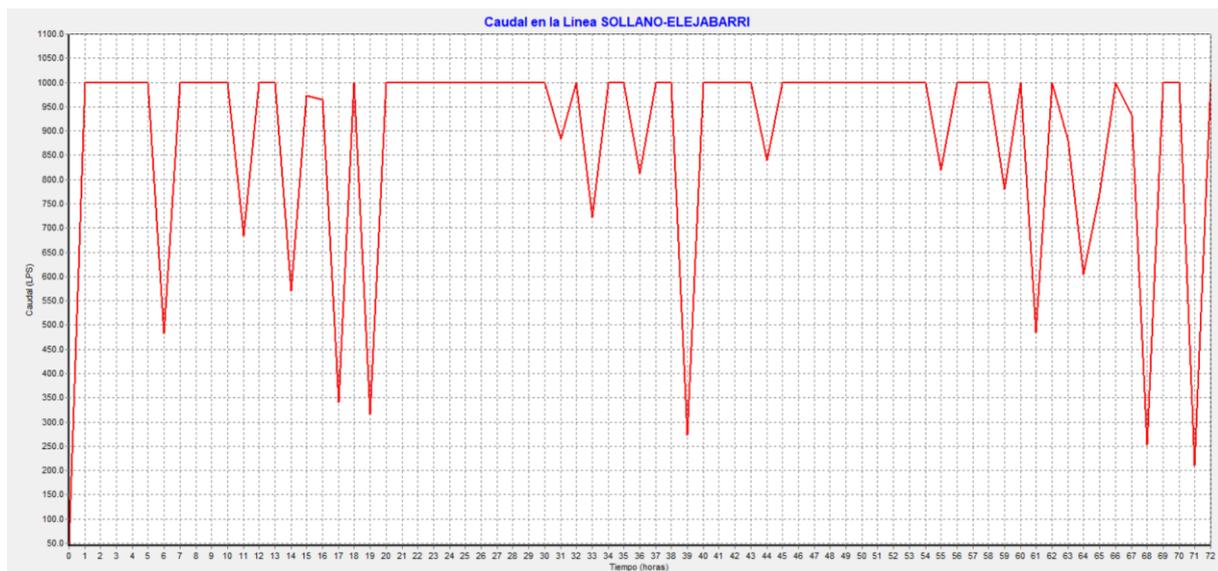


Ilustración 19: Caudal-Tiempo en la línea Sollano-Elejabarri en el escenario 3

Los datos proporcionados por el software de simulación hidráulica EPANET, han permitido conocer el caudal que fluye por la línea que conecta la ETAP de Sollano con Elejabarri, el cual es de 897 L/s. Resulta interesante observar que este valor se asemeja mucho al caudal medio que trascurre por esta tubería en la simulación del modelo real, lo que indica que este caudal se puede considerar como válido.

- **Línea Sollano-Muzkiz:**

Como ya se ha comentado anteriormente, la construcción de la tubería que conecta la estación de tratamiento de agua potable de Sollano con el depósito de Las Carreras es una propuesta importante para cubrir la demanda en caso de avería en la línea procedente del Zadorra.

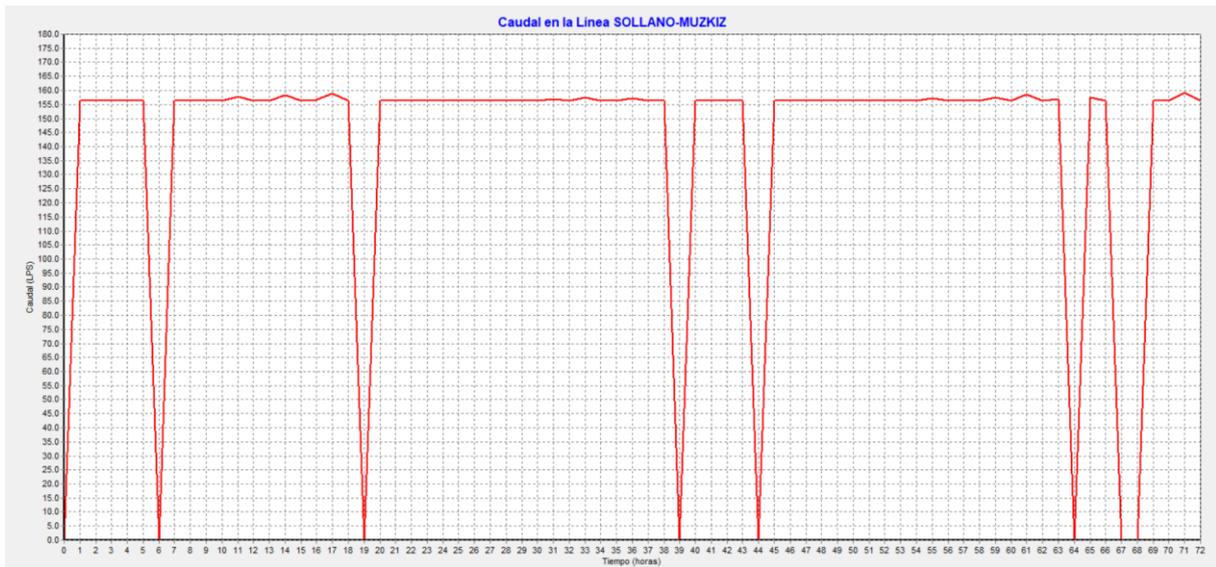


Ilustración 20: Caudal-Tiempo en la línea Sollano-Muzkiz en el escenario 3

La gráfica superior muestra el caudal procedente del embalse de Ordunte que se suministra hasta el depósito de Las Carreras en Muzkiz durante las 72 horas de la simulación. A partir de estos datos, se puede obtener la media de caudal que fluye por la tubería, que es de 141 l/s. De la misma forma que para la línea Sollano-Elejabarri, comparando esta información con los resultados obtenidos en la simulación del sistema real, se obtiene que este caudal medio entra dentro del rango de operación. Por lo tanto, se puede concluir que la construcción de este conducto es una inversión importante en la infraestructura de suministro de agua potable y contribuye a la resiliencia del sistema frente a posibles fallos o roturas.

- **Caudal proveniente del bombeo desde el río Nervión:**

El caudal de agua bombeado del río Nervión hasta la ETAP de Venta Alta, es la última de las tres fuentes de suministro de agua del sistema que abastece al Gran Bilbao en el caso de que el canal que proviene de los embalses del Zadorra quedase inoperable. Este bombeo es capaz de transportar un caudal máximo de 1000 l/s para ser depurado en la estación de tratamiento de Venta Alta antes de suministrarlo a la red. Esta restricción se representa en el modelo mediante una válvula FCV que limita el caudal de agua que puede atravesar esta línea.

Esta limitación significa que el bombeo de agua desde el río Nervión deberá funcionar prácticamente a su capacidad máxima para garantizar el suministro de agua a toda la población del Gran Bilbao.

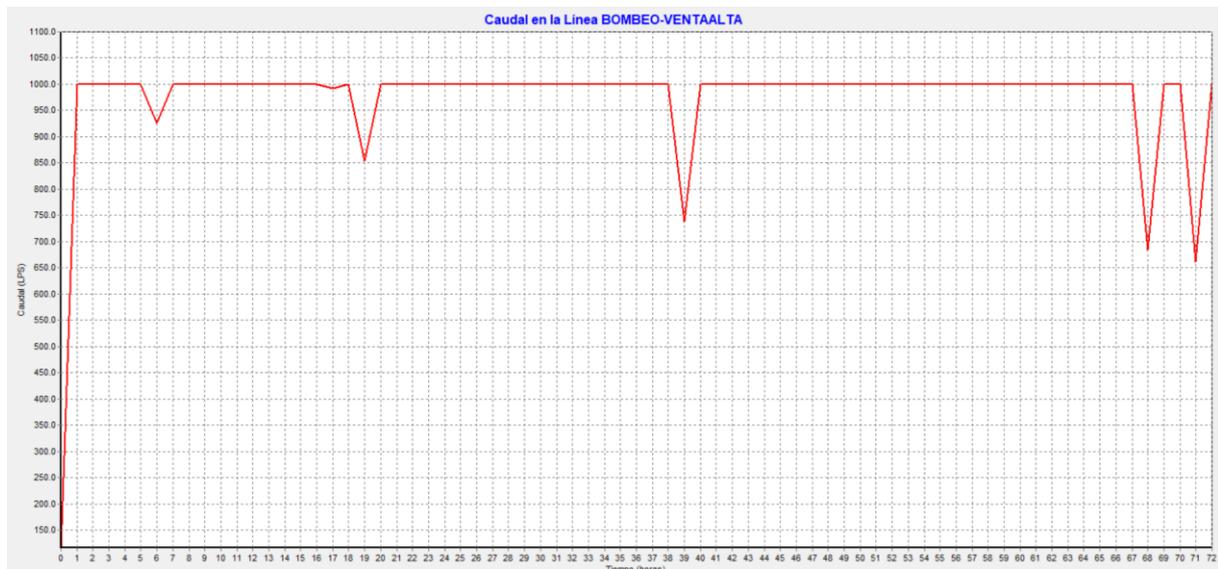


Ilustración 21: Caudal-Tiempo en la línea bombeo Basauri-Venta Alta en el escenario 3

La gráfica superior muestra el caudal que se bombea a la ETAP de Venta Alta durante 72 horas de simulación y en ella se puede observar como el caudal medio de esta línea es de 984 l/s. Además, también se puede ver que el caudal inyectado en la red en Venta Alta es de 1000 l/s durante prácticamente toda la simulación, lo que significa que el sistema de bombeo de emergencia está funcionando a la capacidad máxima durante la mayoría del tiempo.

Al conocer el caudal medio aportado por cada una de las tres fuentes de abastecimiento, se puede realizar la suma total para saber el caudal medio total que se suministra al sistema para poder evaluar la eficacia de las medidas de contingencia propuestas y determinar si son satisfactorias para enfrentar situaciones de emergencia. En este escenario, la suma de estos caudales asciende a 2022 L/s, lo que no resulta suficiente para asegurar el

abastecimiento ante la eventualidad de una rotura del canal que transporta agua de los embalses del Zadorra.

Tras evaluar las medidas de contingencia implementadas para hacer frente a la rotura en el canal procedente de los embalses del río Zadorra y la consecuente interrupción del suministro de agua a la red hidráulica del Gran Bilbao, se puede afirmar que los resultados no han sido satisfactorios para garantizar el caudal necesario a la población con la presión demandada. La construcción de la tubería desde la ETAP de Sollano hasta el depósito de Las Carreras y el bombeo de emergencia del río Nervión permiten abastecer de manera efectiva al sistema hidráulico del Gran Bilbao. Sin embargo, en el caso de que el canal procedente de los embalses del Zadorra quede fuera de servicio, no se podrá utilizar únicamente las medidas de contingencia propuestas.

9.2.4. ESCENARIO 4

Para el último escenario, se propone la implementación de las mismas medidas de contingencia que ya han sido establecidas en el caso anterior para la rotura del canal procedente de los embalses del Zadorra. Estas medidas incluyen la introducción de la nueva tubería que ramifica el agua procedente del embalse de Ordunte desde la ETAP de Sollano hasta el depósito de Las Carreras, además del bombeo de agua del río Nervión hasta la ETAP de Venta Alta.

Sin embargo, lo que hace que esta propuesta sea diferente es la duplicación del caudal máximo del bombeo de Basauri a $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta acción supone intentar cubrir la falta de caudal de abastecimiento al Gran Bilbao que ocurre en el escenario anterior, ya que aumenta significativamente la capacidad de suministro de agua. De esta manera, se busca garantizar la continuidad del servicio de agua potable a la población del Gran Bilbao en caso de la eventualidad de una ruptura en el sistema de suministro de los embalses del río Zadorra.

Es importante destacar que la duplicación del caudal del bombeo no solo aumenta la capacidad de suministro, sino que también representa una inversión en infraestructura que puede tener beneficios a largo plazo. Este tipo de mejoras en la capacidad de suministro contribuyen a la resiliencia del sistema de agua potable, asegurando un suministro confiable incluso en situaciones de emergencia.

A continuación, se presenta el esquema de la red hidráulica del escenario, el cual es idéntico al mostrado en el escenario anterior, con la diferencia del caudal bombeado desde el río Nervión:

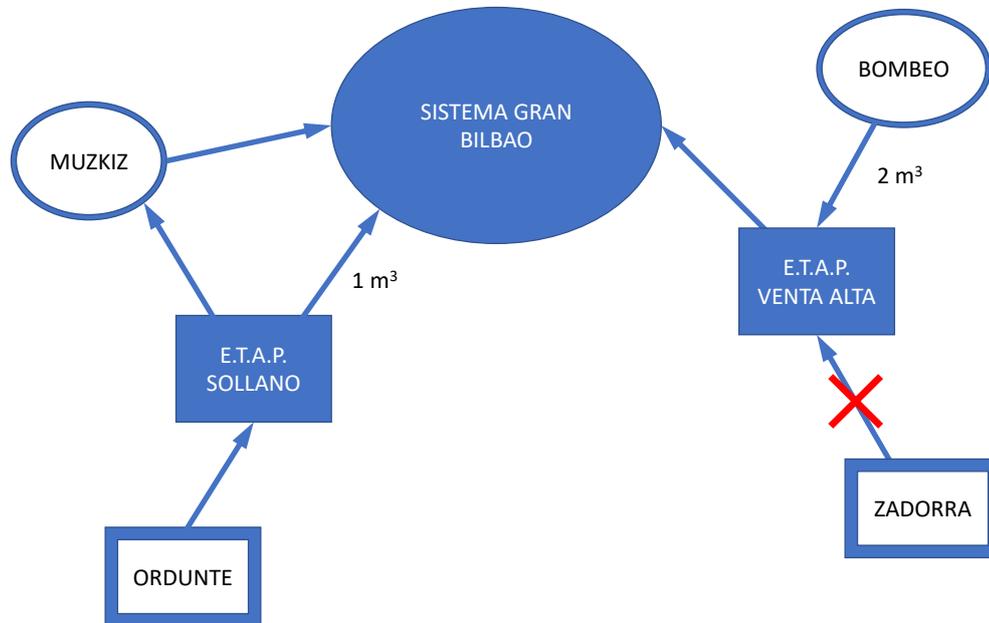


Ilustración 22: Esquema del escenario 4

Como ya se ha comentado anteriormente, el objetivo del escenario actual es estudiar la viabilidad de las medidas de contingencia propuestas en el escenario anterior, duplicando el caudal de agua procedente del río Nervión. Para lograr esto, se modifica la consigna de la válvula limitadora de caudal a 2000 L/s. Al aumentar la consigna de la válvula, se permite que más agua fluya a través la línea que suministra la ETAP de Venta Alta, lo que resulta en un aumento en el caudal total proporcionado al sistema de abastecimiento del Gran Bilbao.

En cualquier sistema de abastecimiento de agua, es esencial garantizar que la presión en los puntos de consumo sea adecuada para satisfacer las necesidades de los usuarios además de que el caudal medio suministrado al sistema sea suficiente para satisfacer la demanda. Es importante que la simulación del sistema de abastecimiento refleje las condiciones de la simulación del modelo real, asegurando que la presión en los puntos de consumo sea similar y que el caudal medio suministrado al sistema esté en torno a los 3 m³/s.

A continuación se muestra el modelo de la red primaria de abastecimiento del escenario actual, en la cual se muestra la presión en los nodos y los caudales de las líneas.

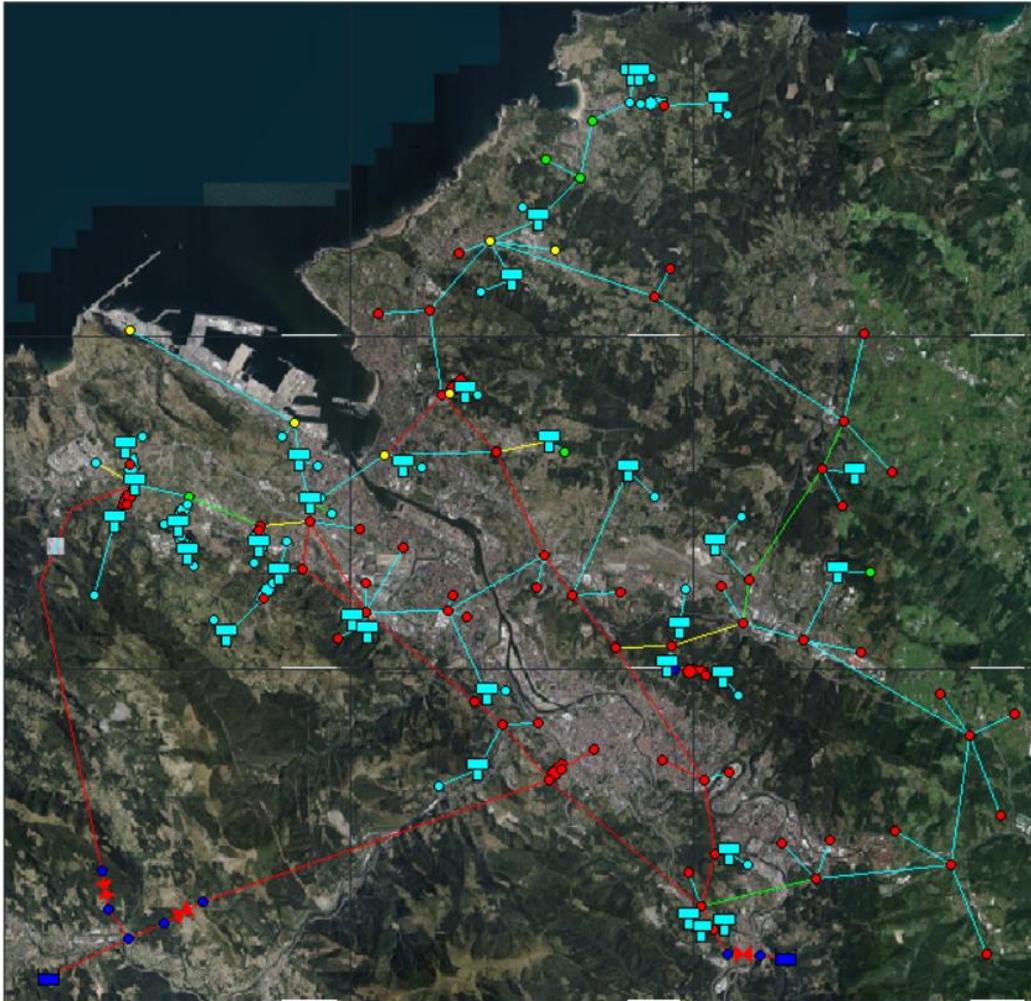


Ilustración 23: Simulación del modelo de la red hidráulica del escenario 4

De acuerdo con los resultados obtenidos de la simulación mediante EPANET del suministro de agua en la región del Gran Bilbao, las presiones en los puntos de consumo son suficientes para cubrir la demanda de los residentes y las empresas de la zona. Esto significa que el suministro de agua es estable y no se espera que se produzcan interrupciones en el suministro debido a la falta de presión en la red de distribución.

En el estudio llevado a cabo, se analiza el caudal procedente de cada fuente de abastecimiento con el objetivo de validar la cantidad de agua disponible para la distribución en la red de suministro. Este caudal se grafica para cada caso durante las 72 horas de la duración de la simulación. De esta forma se podrá observar como varía la cantidad de agua que se recibe de cada fuente a lo largo del tiempo, lo que permitirá calcular el valor medio de dicho caudal y así conocer su capacidad para satisfacer la demanda de la población del Gran Bilbao.

- **Caudal proveniente del embalse de Ordunte:**

Al igual que en el escenario anterior, a partir de la ETAP de Sollano se distribuye el agua a través de dos vías: de una ramificación existente que termina en Elejabarri, y de una nueva tubería de diámetro nominal de 800 mm que desemboca en el depósito de Las Carreras.

- **Línea Sollano-Elejabarri:**

El canal que conecta la ETAP de Sollano con Elejabarri es idéntico al escenario anterior, lo que significa que el caudal medio de la simulación deberá ser similar. Es importante destacar que el caudal máximo que puede circular por este canal está limitado a 1000 L/s.

A continuación, se muestra el caudal suministrado del embalse de Ordunte hasta Elejabarri durante 72 horas:

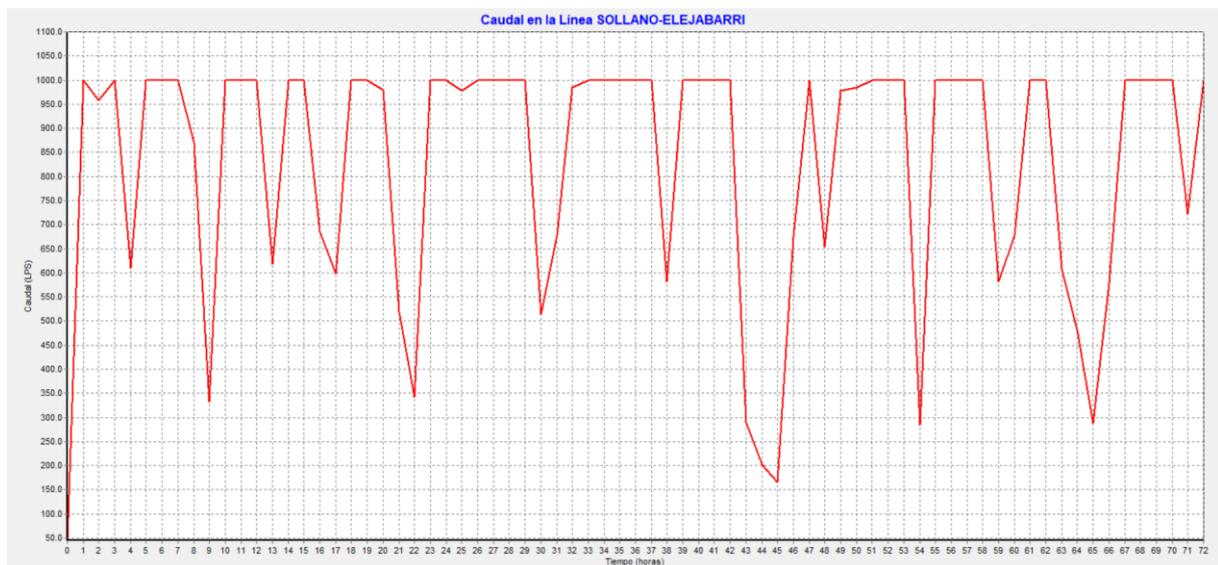


Ilustración 24: Caudal-Tiempo en la línea Sollano-Elejabarri en el escenario 4

De acuerdo con los resultados obtenidos de la simulación del sistema hidráulico, se ha determinado que el caudal suministrado al sistema es de 839 L/s. Este resultado se considera realista y, por tanto, puede ser dado por bueno. El hecho de que el caudal suministrado al sistema sea consistente con las limitaciones establecidas en el sistema de suministro de agua de la región indica que el modelo utilizado para la simulación es adecuado y que los parámetros del sistema están correctamente definidos.

○ **Línea Sollano-Muzkiz:**

La línea que transporta agua desde la ETAP de Sollano hasta el depósito de Las Carreras es idéntica a la del escenario anterior, la cual no es capaz de transportar un caudal significativo debido a las limitaciones impuestas por las condiciones constructivas de dicha tubería.

A continuación, se muestra el caudal suministrado del embalse de Ordunte hasta el depósito de Las Carreras durante 72 horas:



Ilustración 25: Caudal-Tiempo en la línea Sollano-Muzkiz en el escenario 4

El caudal suministrado a través de la tubería que conecta la ETAP de Sollano es de 148 L/s, lo que indica que el suministro de agua para la población del Gran Bilbao es adecuado. Además, esto sugiere que el caudal proveniente del embalse de Ordunte es suficiente para garantizar el suministro de agua potable a la población. En consecuencia, se puede concluir que el sistema de suministro de agua procedente del embalse de Ordunte está funcionando correctamente, al igual que en el escenario anterior.

● **Caudal proveniente del bombeo desde el río Nervión:**

En el escenario anterior, el caudal bombeado del río Nervión de 1 m³/s era insuficiente para garantizar el suministro de agua a la población del Gran Bilbao. Sin embargo, en este nuevo escenario se ha duplicado el bombeo a un máximo de 2 m³/s, lo que significa que se ha aumentado significativamente la cantidad de agua disponible para la región. Con esta duplicación del caudal, se pretende garantizar el suministro de agua potable a la población del

Gran Bilbao, lo que asegurará que los habitantes de la región tengan acceso a una fuente confiable de agua.

A continuación, se muestra el caudal suministrado del embalse de Ordunte hasta el depósito de Las Carreras durante 72 horas:

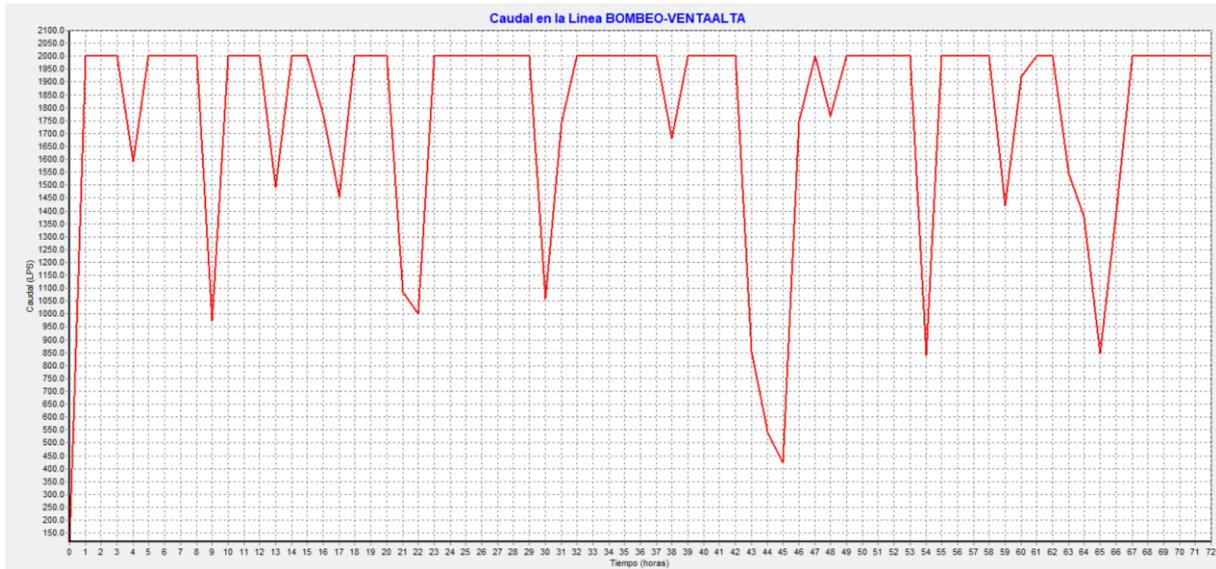


Ilustración 26: Caudal-Tiempo en la línea Bombeo Basauri-Venta Alta en el escenario 4

El caudal medio procedente del bombeo de Basauri con el doble de capacidad de bombeo es de 1785 l/s, lo que supone un incremento significativo respecto al caudal medio proporcionado por las instalaciones existentes. Además, al comparar la gráfica del bombeo de este escenario con la del escenario anterior, se puede observar que las bombas no trabajan a capacidad máxima durante la mayoría del tiempo, lo que sugiere que las bombas tendrán una vida útil más prolongada.

Para finalizar, se calcula el caudal medio total suministrado al sistema en este escenario, el cual es de 2772 l/s. Esta cifra representa un volumen de agua aproximado al que consume la red real, por lo que se considera suficiente para garantizar el suministro de agua continuo a la población del Gran Bilbao en caso de que ocurra algún imprevisto en el canal procedente de los embalses del río Zadorra. Es importante destacar que la seguridad del suministro de agua es una necesidad primordial en la sociedad, y en este sentido, la duplicación de la capacidad de bombeo de Basauri se convierte en una medida indispensable para garantizar la demanda de agua de la región del Gran Bilbao mediante estas medidas de contingencia. Con esta mejora en las instalaciones del bombeo de Basauri, se estaría reforzando significativamente la seguridad del abastecimiento a la población en caso de emergencia.

10. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

En este apartado se presenta el presupuesto del proyecto, el cual se desglosa en horas internas (se tienen en cuenta las horas realizadas del director del proyecto y del estudiante), amortizaciones del ordenador utilizado para el proyecto y las licencias necesarias, y los gastos de material de oficina e impresión del trabajo. Una vez obtenido el subtotal se aplican los porcentajes pertinentes a los costes indirectos, imprevistos y costes financieros para obtener el presupuesto total del proyecto.

HORAS INTERNAS	Unidad	Número unidades	Coste/unidad	Coste
Directora del proyecto	h	60	60 €	3.600,00 €
Estudiante	h	600	30 €	18.000,00 €
AMORTIZACIONES	Coste de adquisición	Vida útil [h]	Tiempo de uso	Amortización
Ordenador	1.200	35.040	600	20,55 €
Licencias	3.000	8.760	500	171,23 €
GASTOS	Unidad	Número unidades	Coste/unidad	Coste
Material oficina	-	-	-	100,00 €
Impresión TFM	-	-	-	30,00 €
SUBTOTAL 1				21.921,78 €
COSTES INDIRECTOS (7%)				1.534,52 €
SUBTOTAL 2				23.456,31 €
IMPREVISTOS (10%)				2.345,63 €
SUBTOTAL 3				25.801,94 €
COSTES FINANCIEROS (4%)				1.032,08 €
TOTAL				26.834,01 €

Tabla 7: Presupuesto del proyecto

El coste total de la elaboración del proyecto descritos asciende a un importe de **VEINTISÉIS MIL OCHOCIENTOS TREINTA Y CUATRO CON UNA CENTÉSIMA DE EUROS (26.834,01€)**.

11. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS DEL PROYECTO

En este apartado se detallan las distintas tareas que son necesarias para llevar a cabo el proyecto, así como el orden en que se deben realizar y las fechas previstas para cada una de ellas. La planificación del proyecto se ha representado a través de un diagrama de Gantt, que es una herramienta muy útil para visualizar el tiempo y la duración de cada tarea, así como las interdependencias entre ellas. De esta manera, se puede establecer un calendario realista y ajustado a las necesidades del proyecto, lo que permitirá una gestión más eficiente de los recursos disponibles y una mayor probabilidad de cumplir los objetivos establecidos en el plazo previsto.

A continuación, se describen las tareas principales realizadas en el presente proyecto:

Tarea 1: denominada Definición del Trabajo Fin de Máster, se trata de determinar el contexto, los objetivos y el alcance del proyecto.

Tarea 1.1: Definición del contexto

Tarea 1.2: Definición de los objetivos y el alcance

Tarea 2: denominada Búsqueda de información, se trata de obtener la información relevante a la red primaria de abastecimiento del CABB en cuanto a consumos y datos de los depósitos, bombeos y embalses existentes en la red, además de estudiar el manual de EPANET 2.0 y la forma de insertar mapas con longitudes reales en este software mediante AUTOCAD.

Tarea 2.1: Documentación sobre la red primaria del CABB

Tarea 2.1.1: Características de los puntos de consumo

Tarea 2.1.2: Características de los depósitos

Tarea 2.1.3: Características de los bombeos

Tarea 2.1.4: Características de los embalses

Tarea 2.1.5: Características de la red de tuberías

Tarea 2.2: Documentación sobre los programas informáticos

Tarea 2.2.1: Documentación del manual de EPANET 2.0

Tarea 2.2.2: Documentación del manual de AUTOCAD

Tarea 3: denominada Realización del modelo de la red primaria de abastecimiento en EPANET, se trata de modelizar la red primaria de abastecimiento del Gran Bilbao, en el que se introduce el mapa de fondo de pantalla, se define el patrón de demanda de consumo de la zona durante

Tarea 3.1: Inserción del mapa de fondo de pantalla

Tarea 3.2: Definición del patrón de demanda

Tarea 3.3: Modelización de los parámetros en EPANET

Tarea 3.4: Definición de las opciones hidráulicas y de tiempo

Tarea 4: denominada Análisis de las roturas, se trata de obtener los resultados de la simulación del modelo del sistema existente en la realidad y compararlo con varias casuísticas de rotura de los canales procedentes de los embalses que abastecen a la población del Gran Bilbao.

Tarea 4.1: Simulación de la red primaria de abastecimiento del CABB

Tarea 4.2: Simulación de las casuísticas

Tarea 4.2.1: Simulación del escenario 1

Tarea 4.2.2: Simulación del escenario 2

Tarea 4.2.3: Simulación del escenario 3

Tarea 4.2.4: Simulación del escenario 4

Tarea 5: denominada Redacción, se trata de plasmar de manera rigurosa y detallada en el papel todo el trabajo que se ha llevado a cabo en el marco del proyecto, investigación o cualquier otra actividad, con el fin de registrar de forma clara y precisa los objetivos, metodologías, resultados y conclusiones obtenidas a lo largo del proceso .

Tarea 5.1: Redacción de la memoria

Tarea 6: denominada Corrección del Trabajo Fin de Máster, se trata de eliminar los errores en las primeras versiones del proyecto antes del hito de entrega del mismo

Tarea 6.1: Corrección de los errores

Tarea 6.2: Entrega del Trabajo Fin de Máster

Tarea 7: denominada Defensa del proyecto, se trata de presentar el proyecto de *“Fiabilidad de la red primaria de abastecimiento en el ámbito del Gran Bilbao”*

Tarea 7.1: Preparación de la defensa

Tarea 7.2: Presentación de la defensa

El diagrama de Gantt presenta este conjunto de tareas organizadas de manera cronológica que se deben realizar para cumplir el tiempo impuesto para la realización del proyecto y su posterior gestión y seguimiento eficiente (**VER ANEXO IV. DIAGRAMA DE GANTT**).

12. CONCLUSIONES

El presente proyecto de fiabilidad de la red primaria de abastecimiento en el ámbito del Gran Bilbao es una iniciativa clave para garantizar la calidad y la continuidad del suministro de agua potable en la zona en caso de que se produzca una rotura en alguna de las tuberías principales del sistema. A lo largo del proyecto, se ha llevado a cabo una exhaustiva evaluación de la red primaria de abastecimiento y se han estudiado medidas de contingencia y soluciones para aumentar su fiabilidad y prevenir posibles problemas en el futuro. En este apartado se presentarán las principales conclusiones del proyecto, incluyendo los resultados obtenidos, las lecciones aprendidas y las recomendaciones para asegurar el funcionamiento de la red primaria de abastecimiento en el largo plazo.

Se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- La evaluación de la red primaria de abastecimiento ha permitido identificar diversas debilidades en la infraestructura, tales como la rotura de los canales procedentes de los embalses del Zadorra y de Ordunte.
- La rotura de cualquiera de estos dos canales-supondría una emergencia grave, ya que cualquier interrupción en el suministro de agua puede dejar a parte de la población sin agua potable, por lo que es necesario la introducción de medidas de contingencia para poder garantizar que la demanda sea cubierta.
- El desarrollo de mejoras y soluciones, tales como la construcción de tuberías, alguna ya en construcción por el CABB, y la implementación de bombeos de emergencia han permitido aumentar la fiabilidad de la red primaria de abastecimiento y prevenir posibles problemas ante cualquier adversidad posible en la red primaria de abastecimiento del Gran Bilbao.
- El canal que transporta el agua desde los embalses del Zadorra es de vital importancia para el sistema de abastecimiento del Gran Bilbao, suministra aproximadamente el 80% del consumo. Además del propio canal de 14 Km de longitud, también debe tenerse en cuenta la posible rotura o colapso de los túneles de carga de la central de Barazar, con capacidad para más de 30 m³/s, pero también únicos y sin posibilidad de Bypass.
- La necesidad de que la red primaria de abastecimiento sea mallada, es decir, que se interconecten varias tuberías para garantizar el suministro a los diferentes puntos de consumo a través del mayor número de vías posible para así evitar interrupciones en

el suministro en caso de rotura o avería de algún conducto del sistema. Cuanto más mallado sea el sistema, más fiables es el mismo.

- La explotación conjunta de las dos principales fuentes de suministro al Sistema, Embalses del Zadorra y de Ordunte, por parte del CABB, permite bajo condiciones previamente estudiadas y con alguna de las obras de emergencia aquí mencionadas, el cierre temporal de suministro de una de ellas para su revisión y reparación preventiva.
- La evaluación, mejora y seguimiento constante de la red son esenciales para asegurar la fiabilidad de la misma, o la prevención ante roturas o atentados en la red primaria.

En el presente proyecto se han analizado fallos en las principales conducciones de suministro, proponiéndose con mayor o menor éxito alternativas para dar continuidad al mismo. No obstante, debiera darse prolongación al análisis a una escala menor y con mayor detalle de conducciones y bombeos, estudio que sobrepasa el alcance del actual trabajo entre otras causas por la necesidad de programas de mayor capacidad (no gratuitos). Debiera de procederse a una zonificación del ámbito del Gran Bilbao desde el punto de vista hidráulico y analizar cada una de estas zonas, primero de forma individual y después en su interrelación con las zonas anexas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] https://www.consorciodeaguas.eus/web/QuienesSomos/resena_historica.aspx
- [2] <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-etap>
- [3] <https://www.consorciodeaguas.eus/web/CicloAgua/ciclodelagua.aspx?id=recogida>
- [4] <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- [5] <https://www.autodesk.es/products/autocad>
- [6] https://www.consorciodeaguas.eus/Web/OficinaPrensa/noticias_detalle.aspx?id=394
- [7] <https://www.elcorreo.com/bizkaia/nervion/bizkaia-puede-beber-20181020205524-nt.html>
- [8] https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-07/epanet_users_manual_2.2.0-1.pdf

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado durante la realización de mi Trabajo Fin de Máster. En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor, Raúl García, por su aportación de conocimiento y su tiempo empleado a lo largo de la realización del proyecto. En segundo lugar, quiero agradecer a Iñigo Otaola, subdirector de explotación de abastecimiento del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia, por la información proporcionada relativa a la red hidráulica existente. Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mi familia y amigos en general por su apoyo y comprensión durante todo el proceso.

ANEXO I. NORMATIVA APLICABLE

[I] **Real Decreto 3/2003**, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro

[II] **Real Decreto 140/2003**, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

[III] **Real Decreto 606/2003**, de 23 de mayo, sobre la gestión de la calidad de las aguas de consumo humano y su control

[IV] **Ley 10/2001**, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, la cual establece el marco general para la planificación hidrológica en España, incluyendo la gestión de agua potable y la protección de los recursos hídricos

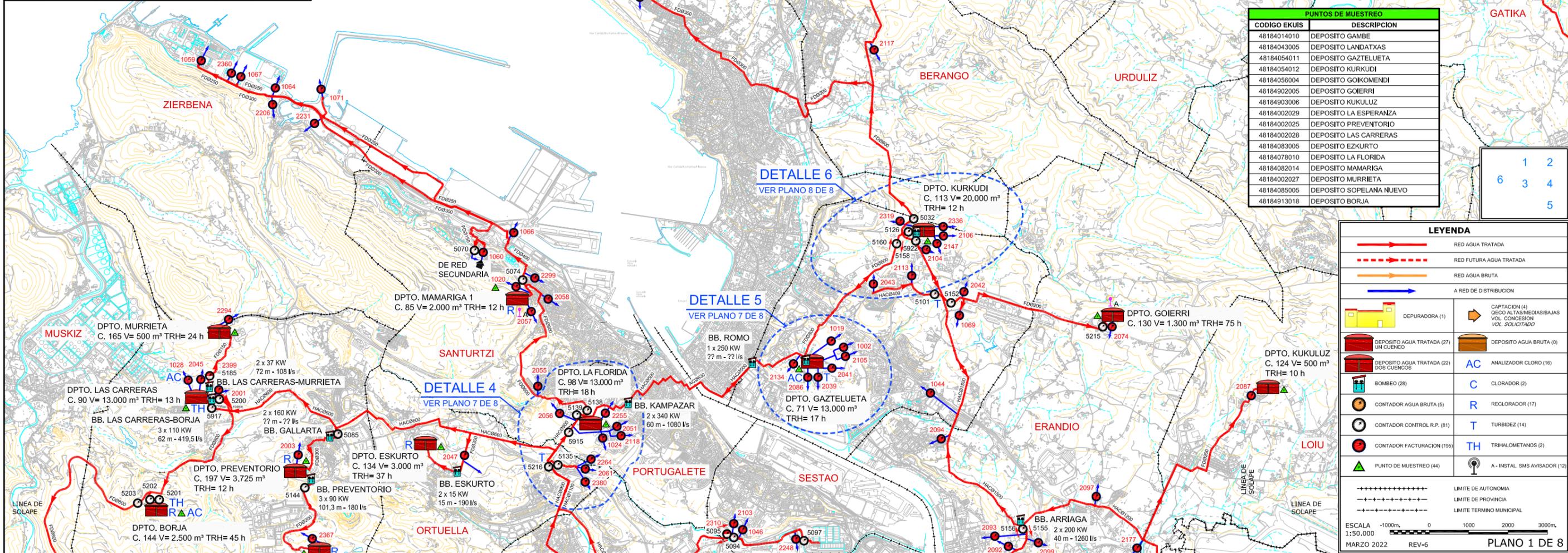
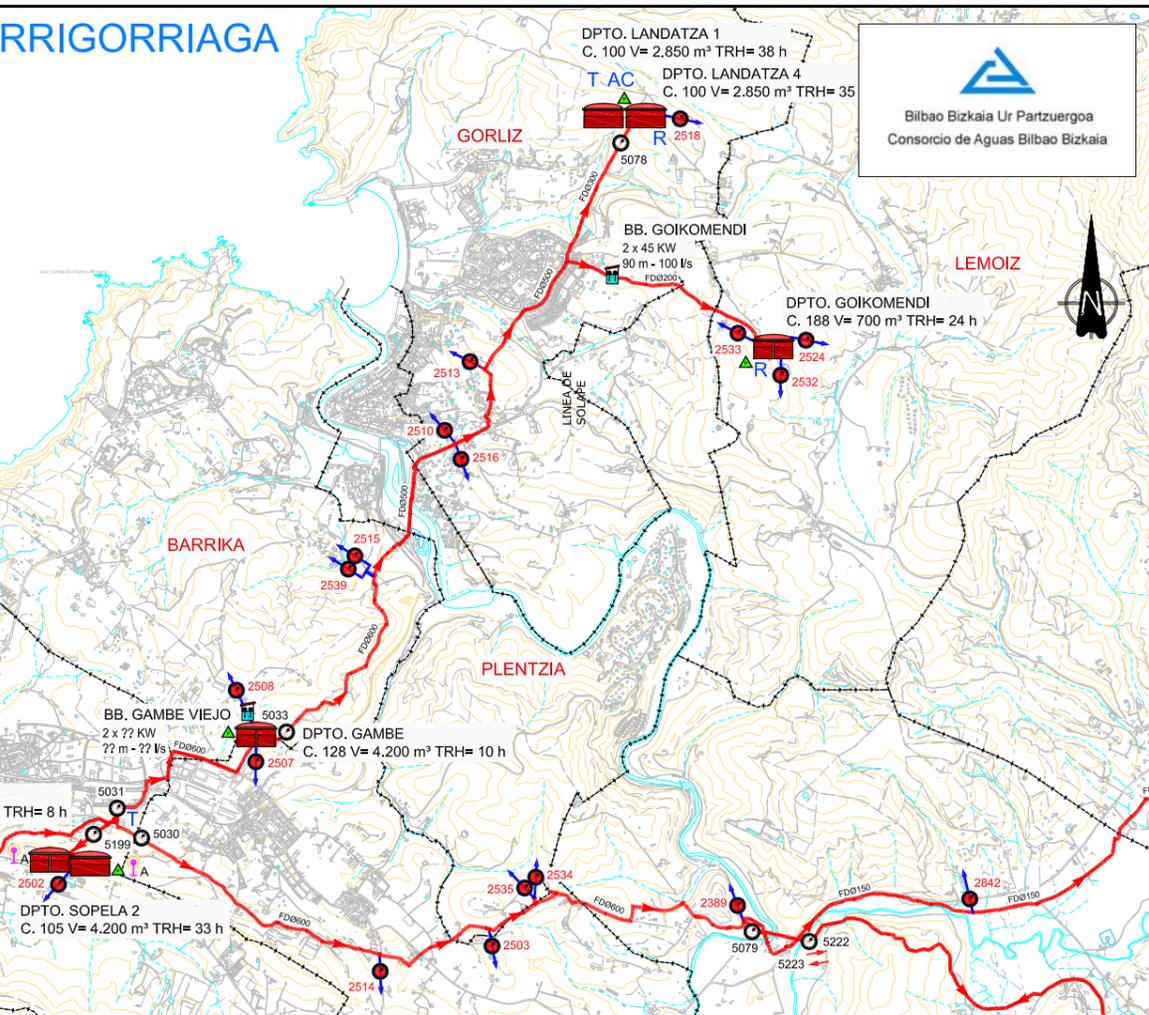
ANEXO II: PLANOS DE LA RED PRIMARIA DE ABASTECIMIENTO DEL GRAN BILBAO

ZONA ABASTECIMIENTO VENTA ALTA - ARRIGORRIAGA

CONTADORES				
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día
1002	INDUSTRIAS	AGRA S.A.	9,7	3.827
1019	INDUSTRIAS	FAES	4,8	1.874
1020	INDUSTRIAS	IBERDUERO (TERMICA)	0,5	179
1024	INDUSTRIAS	NERVACERO (DPTO. PORTUGALETE)	20,0	7.838
1028	INDUSTRIAS	PETRONOR	184,0	72.262
1044	INDUSTRIAS	DOW-CHEMICAL - N°2	0,0	1
1046	INDUSTRIAS	A.H.V. (SESTAO)	11,5	4.516
1058	INDUSTRIAS	REAL SOCIEDAD GOLF DE NEGURI	2,8	1.094
1059	INDUSTRIAS	BAHIA BIZKAIA	2,0	803
1060	INDUSTRIAS	IBERDROLA(TOMA EMERGENCIA)	1,3	493
1064	INDUSTRIAS	BUNGE IBERICA S.A.	10,2	3.986
1066	INDUSTRIAS	PUERTO AUTONOMO TOMA N°2	2,3	891
1067	INDUSTRIAS	BIOCOMBUSTIBLES	0,0	0
1069	INDUSTRIAS	UNIVERSIDAD	3,7	1.434
1071	INDUSTRIAS	BEFESA (PUERTO)	17,6	6.904
2001	ABANTO	BOMBEO LAS CARRERAS	4,1	1.606
2003	ABANTO	DEPOSITO DEL PREVENTORIO	24,5	9.637
2039	GETXO	DEPOSITO DE GAZTELUETA N°1	45,7	17.951
2041	LEIOA	DEPOSITO DE GAZTELUETA N°1	31,6	12.404
2042	LEIOA	LIBOA	0,2	65
2043	LEIOA	UNIVERSIDAD N°1	0,0	0
2045	MUSKIZ	DEPOSITO DE LAS CARRERAS	22,3	8.775
2047	ORTUELLA	DEPOSITO EL BARRACON N°1	22,8	8.960
2051	PORTUGALETE	DEPOSITO N°1	86,9	34.144
2055	SANTURTZI	CABIECES	2,2	855
2056	SANTURTZI	CEMENTERIO	65,7	25.821
2057	SANTURTZI	MAMARIGA N°2	45,1	17.694
2058	SANTURTZI	MAMARIGA N°1	5,6	2.313
2061	SESTAO	BALLONTI	38,2	15.019
2074	ERANDIO	DEPOSITO DE GOIHERRI	4,8	1.882
2085	GETXO	DEPOSITO DE GAZTELUETA N°2	50,3	19.761
2087	LOIU	ERANDIO N°1-DPTO DE KUKULUZ	14,5	5.685
2092	ERANDIO	DESIERTO	21,7	8.534
2093	ERANDIO	ARRIAGA N°1	0,8	305
2094	ERANDIO	ASTRABUDUA	18,8	7.391
2097	ERANDIO	LA CAMPA	6,2	2.443
2099	ERANDIO	ARRIAGA N°2	3,9	1.515
2103	SESTAO	A.H.V.	13,0	5.103
2104	LEIOA	KURKUDI N°1	1,1	427
2105	LEIOA	EARLE	15,8	6.211
2106	LEIOA	KURKUDI N°2	0,0	13
2113	LEIOA	UNIVERSIDAD N°2	0,0	1
2117	BERANGO	KURKUDI	5,5	5.169
2118	PORTUGALETE	DEPOSITO N°2 TOMA DIRECTA	7,3	2.881
2134	LEIOA	DEPOSITO DE GAZTELUETA N°3	4,4	1.730
2147	LEIOA	KURKUDI N°3 ARTEA	14,6	5.735
2177	ERANDIO	CORDELERIA	4,1	1.626

CONTADORES				
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día
2184	GETXO	LA GALEA	5,9	2.309
2206	ZIERBENA	PUERTO TOMA N°1	1,2	455
2231	ZIERBENA	PUERTO TOMA N°2	2,1	843
2248	SESTAO	SESTAO-GALINDO	2,7	1.079
2255	PORTUGALETE	DPTO. N°3 - EROSKI	0,0	2
2284	PORTUGALETE	POLIGONO NERVION	0,5	179
2294	ZIERBENA	MURRIETA	5,7	2.241
2299	SANTURTZI	REGALES	2,0	782
2310	SESTAO	CUETO-ACB_TOTALIZADOR 2	0,0	2
2319	GETXO	SALIDA KURKUDI GETXO	121,5	47.703
2336	LEIOA	PARQUE CIENTIFICO	4,8	1.889
2360	ZIERBENA	ZIERBENA-PUNTA SOLLANO	0,5	215
2367	ABANTO	SALIDA LA ESPERANZA	8,2	3.207
2380	ORTUELLA	SALIDA BALLONTI	0,1	33
2389	GATIKA	GATIKA BUTRON	2,9	1.143
2399	ABANTO	BOMBEO MURRIETA TOT2	0,0	0
2420	BERANGO	POLIGONO ARENE	10,0	3.923
2502	SOPELANA	SOPELANA SALIDA DEPOSITO	35,9	14.105
2503	LAUKIZ	DEPOSITO DE KUKUTXAS	5,2	2.036
2507	URDULIZ	DEPOSITO DE GANBE NUEVO	11,0	4.325
2508	BARRIKA	DEPOSITO DE GANBE	6,1	2.413
2510	GORLIZ	GANDIA	9,2	3.603
2513	GORLIZ	DEPOSITO DE GENTILMENDI	2,5	978
2514	URDULIZ	TOMA DIRECTA	3,2	1.257
2515	PLENTZIA	TXIPIOS	3,4	1.353
2516	PLENTZIA	N°2 URIBE-KOSTA	13,5	5.309
2518	GORLIZ	DEPOSITO DE LANDATXAS N°2	16,5	6.488
2524	LEMOIZ	BERREAGAS	5,9	2.311
2532	PLENTZIA	DEPOSITO DE GOIKOMENDI	1,5	584
2533	GORLIZ	DEPOSITO DE GOIKOMENDI	0,7	275
2534	PLENTZIA	KUKUTXAS	0,1	21
2535	URDULIZ	KUKUTXAS	0,0	6
2539	BARRIKA	TXIPIOS	2,3	892
2842	GATIKA	BOMBEO	8,0	3.158
5030	CONTROL	DPTO. KUKUTXAS (EN LARRAGOITI)	137,2	53.900
5031	CONTROL	DPTO. GAMBE (EN LARRAGOITI)	221,4	86.959
5032	CONTROL	KURKUDI-LARRAGOITI	577,8	226.900
5033	CONTROL	GRAL. DPTO. GAMBE-LEMOIZ	170,5	66.962
5070	CONTROL	IBERDROLA-BAHIA BIZKAIA	0,0	7

CONTADORES				
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día
5074	CONTROL	BAHIA BIZKAIA-ZIERBENA	123,8	48.639
5078	CONTROL	CONTROL GORLIZ LANDATXAS	51,8	20.338
5079	CONTROL	CONTROL MARURI-GATIKA	49,4	19.416
5085	CONTROL	ASPIRACION BOM. PREVENTORIO	102,1	40.086
5094	CONTROL	ACB-TRAPAGA (SESTAO)	0,0	0
5095	CONTROL	ACB-CUETO_TOTALIZADOR 2	0,0	2
5097	CONTROL	EDAR GALINDO	12,7	4.982
5101	CONTROL	SALIDA URIPETAS-GAZTELUETA	0,3	100
5126	CONTROL	ENTRADA DEPOSITO KURKUDI	878,5	345.006
5135	CONTROL	BALLONTI NUEVO SESTAO	99,6	39.099
5138	CONTROL	LA FLORIDA-MAMARIGA	287,2	112.796
5139	CONTROL	ENTRADA DPTO. LA FLORIDA	351,4	137.886
5144	CONTROL	BOMBEO LA ESPERANZA	29,6	11.620
5152	CONTROL	URIPETAS-GOIHERRI	27,2	10.676
5155	CONTROL	ARRIAGAS; ARRIAGAS-RONTEGI	270,3	106.156
5156	CONTROL	ARRIAGAS; RONTEGI-ARRIAGAS	0,2	62
5158	CONTROL	KURKUDI; KURKUDI-GAZTELUETA	480,1	188.545
5160	CONTROL	KURKUDI; GAZTELUETA-KURKUDI	0,0	0
5185	CONTROL	CESIÓN ABANTO A CABB TOT1	3,5	1.367
5199	CONTROL	LARRAGOITI-SOPELANA	109,2	42.904
5200	CONTROL	SALIDA BOMBEO LAS CARRERAS	47,2	18.554
5201	CONTROL	ENTRADA BORJA CAMARA 1	36,7	14.420
5202	CONTROL	ENTRADA BORJA CAMARA 2	10,7	4.198
5203	CONTROL	SALIDA BORJA ENKARTERRI	42,8	16.824
5215	CONTROL	ENTRADA DEPOSITO GOIERRI	14,9	5.836
5216	CONTROL	BALLONTI - LAS CARRERAS	877,3	344.548
5222	CONTROL	INTERCONEXION BUTRON A GATIKA	58,6	23.028
5223	CONTROL	INTERCONEXION BUTRON DE GATIKA	0,0	6
5915	CONTROL	ENTRADA LA FLORIDA	836,6	328.564
5917	CONTROL	ENTRADA LAS CARRERAS	680,8	267.365
5922	CONTROL	ENTRADA KURKUDI	105,4	512.651



PUNTOS DE MUESTREO	
CODIGO EKUIS	DESCRIPCION
48184014010	DEPOSITO GAMBE
48184043005	DEPOSITO LANDATXAS
48184054011	DEPOSITO GAZTELUETA
48184054012	DEPOSITO KURKUDI
48184056004	DEPOSITO GOIKOMENDI
48184902005	DEPOSITO GOIERRI
48184903006	DEPOSITO KUKULUZ
48184002029	DEPOSITO LA ESPERANZA
48184002025	DEPOSITO PREVENTORIO
48184002028	DEPOSITO LAS CARRERAS
48184083005	DEPOSITO EZKURTO
48184078010	DEPOSITO LA FLORIDA
48184082014	DEPOSITO MAMARIGA
48184002027	DEPOSITO MURRIETA
48184085005	DEPOSITO SOPELANA NUEVO
48184913018	DEPOSITO BORJA

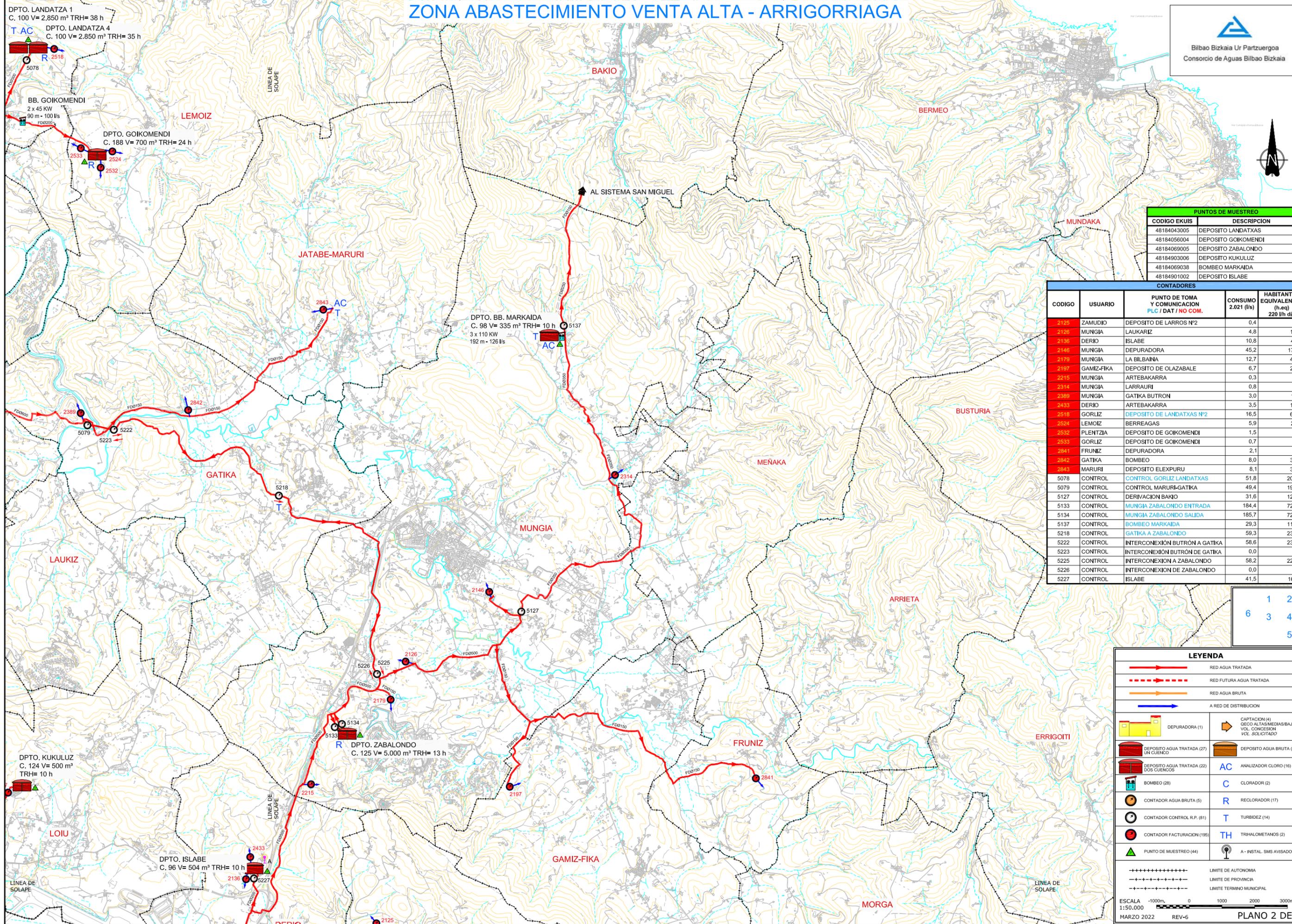
LEYENDA

- RED AGUA TRATADA
- RED FUTURA AGUA TRATADA
- RED AGUA BRUTA
- A RED DE DISTRIBUCION
- DEPURADORA (1)
- DEPOSITO AGUA TRATADA (27)
- DEPOSITO AGUA TRATADA (22) DOS CUENCOS
- BOMBEO (28)
- CONTADOR AGUA BRUTA (5)
- CONTADOR CONTROL R.P. (81)
- CONTADOR FACTURACION (195)
- PUNTO DE MUESTREO (44)
- CAPTACION (4)
- DEPOSITO AGUA BRUTA (0)
- AC ANALIZADOR CLORO (16)
- C CLORADOR (2)
- R RECLORADOR (17)
- T TURBIDEZ (14)
- TH TRIHALOMETANOS (2)
- A-INSTAL. SMS AVISADOR (12)

ESCALA 1:50.000

MARZO 2022 REV-6 PLANO 1 DE 8

ZONA ABASTECIMIENTO VENTA ALTA - ARRIGORRIAGA



DPTO. LANDATZA 1
C. 100 V= 2.850 m³ TRH= 38 h

DPTO. LANDATZA 4
C. 100 V= 2.850 m³ TRH= 35 h

BB. GOIKOMENDI
2 x 45 KW
90 m - 100 l/s

DPTO. GOIKOMENDI
C. 188 V= 700 m³ TRH= 24 h

DPTO. BB. MARKAIDA
C. 98 V= 335 m³ TRH= 10 h
3 x 110 KW
192 m - 126 l/s

DPTO. KUKULUZ
C. 124 V= 500 m³
TRH= 10 h

DPTO. ISLABE
C. 96 V= 504 m³ TRH= 10 h

PUNTOS DE MUESTREO	
CODIGO EKUIS	DESCRIPCION
48184043005	DEPOSITO LANDATXAS
48184056004	DEPOSITO GOIKOMENDI
48184069005	DEPOSITO ZABALONDO
48184903006	DEPOSITO KUKULUZ
48184069038	BOMBEO MARKAIDA
48184901002	DEPOSITO ISLABE

CONTADORES				
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2,021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (l/m ²) 220 l/h día
2125	ZAMUDIO	DEPOSITO DE LARROS Nº2	0,4	170
2126	MUNGIA	LAUKARIZ	4,8	1.867
2136	DERIO	ISLABE	10,8	4.251
2146	MUNGIA	DEPURADORA	45,2	17.751
2179	MUNGIA	LA BILBAINA	12,7	4.993
2197	GAMIZ-FIKA	DEPOSITO DE OLAZABALE	6,7	2.649
2215	MUNGIA	ARTEBAKARRA	0,3	108
2314	MUNGIA	LARRAURI	0,8	303
2360	MUNGIA	GATIKA BUTRON	3,0	1.171
2433	DERIO	ARTEBAKARRA	3,5	1.385
2518	GORLIZ	DEPOSITO DE LANDATXAS Nº2	16,5	6.488
2524	LEMOIZ	BERREAGAS	5,9	2.311
2532	PLENTZIA	DEPOSITO DE GOIKOMENDI	1,5	584
2533	GORLIZ	DEPOSITO DE GOIKOMENDI	0,7	275
2841	FRUNIZ	DEPURADORA	2,1	839
2842	GATIKA	BOMBEO	8,0	3.158
2843	MARURI	DEPOSITO ELEXPURU	8,1	3.188
5078	CONTROL	CONTROL GORLIZ LANDATXAS	51,8	20.338
5079	CONTROL	CONTROL MARURI-GATIKA	49,4	19.416
5127	CONTROL	DERIVACION BAKJO	31,6	12.414
5133	CONTROL	MUNGIA ZABALONDO ENTRADA	184,4	72.412
5134	CONTROL	MUNGIA ZABALONDO SALIDA	185,7	72.945
5137	CONTROL	BOMBEO MARKAIDA	29,3	11.516
5218	CONTROL	GATIKA A ZABALONDO	59,3	23.274
5222	CONTROL	INTERCONEXION BUTRON A GATIKA	58,6	23.028
5223	CONTROL	INTERCONEXION BUTRON DE GATIKA	0,0	6
5225	CONTROL	INTERCONEXION A ZABALONDO	58,2	22.868
5226	CONTROL	INTERCONEXION DE ZABALONDO	0,0	1
5227	CONTROL	ISLABE	41,5	16.301

1	2
6	3
	4
	5

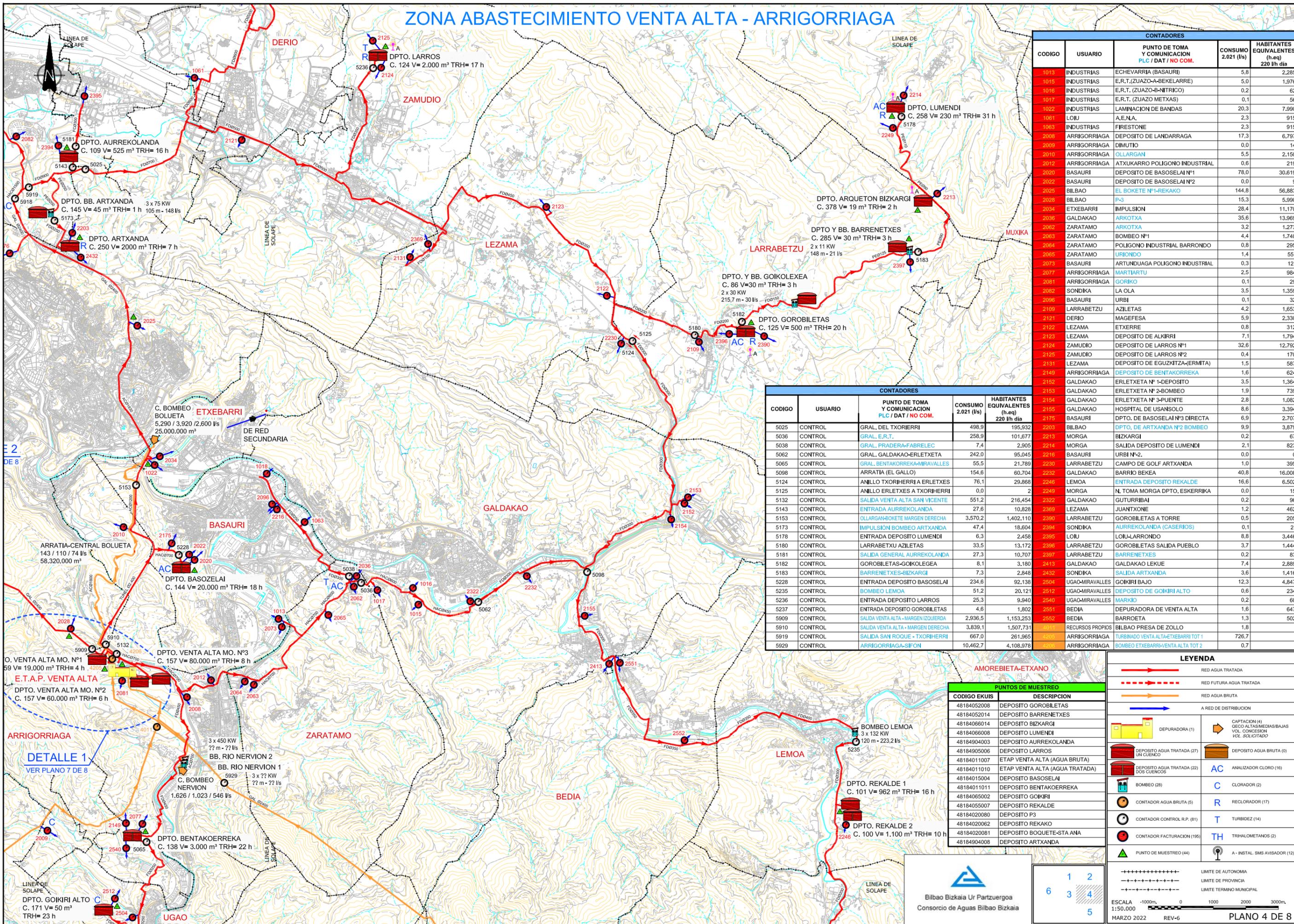
LEYENDA

- RED AGUA TRATADA
- RED FUTURA AGUA TRATADA
- RED AGUA BRUTA
- A RED DE DISTRIBUCION
- DEPURADORA (1)
- DEPOSITO AGUA TRATADA (27) UN CUENCO
- DEPOSITO AGUA TRATADA (22) DOS CUENCOS
- BOMBEO (28)
- CONTADOR AGUA BRUTA (5)
- CONTADOR CONTROL R.P. (81)
- CONTADOR FACTURACION (195)
- PUNTO DE MUESTREO (44)
- CAPTACION (4) GEOC ALTAS/MEDIAS/BAJAS VOL. CONCESION VOL. SOLICITADO
- DEPOSITO AGUA BRUTA (0)
- AC ANALIZADOR CLORO (16)
- C CLORADOR (2)
- R RECLORADOR (17)
- T TURBIDEZ (14)
- TH TRIHALOMETANOS (2)
- A - INSTAL. SMS AVISADOR (12)

ESCALA 1:50.000

MARZO 2022 REV-6 PLANO 2 DE 8

ZONA ABASTECIMIENTO VENTA ALTA - ARRIGORRIAGA



CONTADORES					
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día	
1013	INDUSTRIAS	ECHEVARRIA (BASAURI)	5,8	2,285	
1015	INDUSTRIAS	E.R.T.(ZUAZO-A-BEKELARRE)	5,0	1,976	
1016	INDUSTRIAS	E.R.T.(ZUAZO-B-NITRICO)	0,2	62	
1017	INDUSTRIAS	E.R.T.(ZUAZO METXAS)	0,1	56	
1022	INDUSTRIAS	LAMINACION DE BANDAS	20,3	7,990	
1061	LOIU	A.E.N.A.	2,3	915	
1063	INDUSTRIAS	FIRESTONE	2,3	915	
2008	ARRIGORRIAGA	DEPOSITO DE LANDARRAGA	17,3	6,797	
2009	ARRIGORRIAGA	DIMUTIO	0,0	14	
2010	ARRIGORRIAGA	OLLARGAN	5,5	2,150	
2012	ARRIGORRIAGA	ATXUKARRO POLIGONO INDUSTRIAL	0,6	219	
2020	BASAURI	DEPOSITO DE BASOSELAI Nº1	78,0	30,619	
2022	BASAURI	DEPOSITO DE BASOSELAI Nº2	0,0	9	
2025	BILBAO	EL BOKETE Nº1-REKAKO	144,8	56,883	
2028	BILBAO	P-3	15,3	5,990	
2034	ETXEBARRI	IMPULSION	28,4	11,170	
2036	GALDAKAO	ARKOTXA	35,6	13,969	
2062	ZARATAMO	ARKOTXA	3,2	1,273	
2063	ZARATAMO	BOMBEO Nº1	4,4	1,740	
2064	ZARATAMO	POLIGONO INDUSTRIAL BARRONDO	0,8	295	
2065	ZARATAMO	URIONDO	1,4	551	
2073	BASAURI	ARTUNDUAGA POLIGONO INDUSTRIAL	0,3	121	
2077	ARRIGORRIAGA	MARTIARTU	2,5	984	
2081	ARRIGORRIAGA	GORKIKO	0,1	29	
2082	SONDIKA	LA OLA	3,5	1,359	
2096	BASAURI	URBI	0,1	32	
2109	LARRABETZU	AZILETAS	4,2	1,653	
2121	DERIO	MAGEFESA	5,9	2,330	
2122	LEZAMA	ETXERRE	0,8	312	
2123	LEZAMA	DEPOSITO DE ALKIRRI	7,1	1,794	
2124	ZAMUDIO	DEPOSITO DE LARROS Nº1	32,6	12,792	
2125	ZAMUDIO	DEPOSITO DE LARROS Nº2	0,4	170	
2131	LEZAMA	DEPOSITO DE EGUZKITZA(ERMITA)	1,5	587	
2149	ARRIGORRIAGA	DEPOSITO DE BENTAKORREKA	1,6	624	
2152	GALDAKAO	ERLETXETA Nº 1-DEPOSITO	3,5	1,364	
2153	GALDAKAO	ERLETXETA Nº 2-BOMBEO	1,9	739	
2154	GALDAKAO	ERLETXETA Nº 3-PUENTE	2,8	1,082	
2155	GALDAKAO	HOSPITAL DE USANSOLO	8,6	3,394	
2175	BASAURI	DPTO. DE BASOSELAI Nº3 DIRECTA	6,9	2,707	
2203	BILBAO	DPTO. DE ARTXANDA Nº2 BOMBEO	9,9	3,879	
2213	MORGA	BIZKARGI	0,2	67	
2214	MORGA	SALIDA DEPOSITO DE LUMENDI	2,1	823	
2216	BASAURI	URBI Nº-2.	0,0	0	
2230	LARRABETZU	CAMPO DE GOLF ARTXANDA	1,0	395	
2232	GALDAKAO	BARRIA BEKA	40,8	16,008	
2246	LEMOA	ENTRADA DEPOSITO REKALDE	16,6	6,502	
2249	MORGA	N. TOMA MORGA DPTO. ESKERRIKA	0,0	15	
2322	GALDAKAO	GUTURRIBAI	0,2	96	
2369	LEZAMA	JUANTXONE	1,2	462	
2390	LARRABETZU	GOROBILETAS A TORRE	0,5	205	
2394	SONDIKA	AURREKOLANDA (CASERIOS)	0,1	21	
2395	LOIU	LOIU-LARONDO	8,8	3,446	
2396	LARRABETZU	GOROBILETAS SALIDA PUEBLO	3,7	1,444	
2397	LARRABETZU	BARRENETXES	0,2	83	
2413	GALDAKAO	GALDAKAO LEKUE	7,4	2,889	
2432	SONDIKA	SALIDA ARTXANDA	3,6	1,416	
2504	UGAO-MIRAVALLS	GOIKIRI BAJO	12,3	4,847	
2512	UGAO-MIRAVALLS	DEPOSITO DE GOIKIRI ALTO	0,6	234	
2540	UGAO-MIRAVALLS	MARKIO	0,2	60	
2551	BEDIA	DEPURADORA DE VENTA ALTA	1,6	647	
2552	BEDIA	BARROETA	1,3	502	
2553	BEDIA	BILBAO PRESA DE ZOLLO	1,8	718	
2554	ARRIGORRIAGA	TURBINADO VENTA ALTA-ETXEBARRI TOT 1	726,7		
2555	ARRIGORRIAGA	BOMBEO ETXEBARRI-VENTA ALTA TOT 2	0,7		

CONTADORES					
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día	
5025	CONTROL	GRAL. DEL TXORIERRI	498,9	195,932	
5036	CONTROL	GRAL. E.R.T.	258,9	101,677	
5038	CONTROL	GRAL. PRADERA-FABRELEC	7,4	2,905	
5062	CONTROL	GRAL. GALDAKAO-ERLETXETA	242,0	95,045	
5065	CONTROL	GRAL. BENTAKORREKA-MIRAVALLS	55,5	21,789	
5098	CONTROL	ARRATIA (EL GALLO)	154,6	60,704	
5124	CONTROL	ANILLO TXORIERRI A ERLETXES	76,1	29,888	
5125	CONTROL	ANILLO ERLETXES A TXORIERRI	0,0	2	
5132	CONTROL	SALIDA VENTA ALTA SAN VICENTE	551,2	216,454	
5143	CONTROL	ENTRADA AURREKOLANDA	27,6	10,828	
5153	CONTROL	OLLARGAN-BOKETE MARGEN DERECHA	3.570,2	1.402.110	
5173	CONTROL	IMPULSION BOMBEO ARTXANDA	47,4	18,604	
5178	CONTROL	ENTRADA DEPOSITO LUMENDI	6,3	2,458	
5180	CONTROL	LARRABETZU AZILETAS	33,5	13,172	
5181	CONTROL	SALIDA GENERAL AURREKOLANDA	27,3	10,707	
5182	CONTROL	GOROBILETAS-GOIKOLEGEA	8,1	3,180	
5183	CONTROL	BARRENETXES-BIZKARGI	7,3	2,848	
5228	CONTROL	ENTRADA DEPOSITO BASOSELAI	234,6	92,138	
5235	CONTROL	BOMBEO LEMOA	51,2	20,121	
5236	CONTROL	ENTRADA DEPOSITO LARROS	25,3	9,940	
5237	CONTROL	ENTRADA DEPOSITO GOROBILETAS	4,6	1,802	
5909	CONTROL	SALIDA VENTA ALTA -MARGEN IZQUIERDA	2.936,5	1.153.253	
5910	CONTROL	SALIDA VENTA ALTA -MARGEN DERECHA	3.839,1	1.507.731	
5919	CONTROL	SALIDA SAN ROQUE - TXORIERRI	667,0	261.965	
5929	CONTROL	ARRIGORRIAGA-SIFON	10.462,7	4.108.978	

PUNTOS DE MUESTREO	
CODIGO EKUIS	DESCRIPCION
48184052008	DEPOSITO GOROBILETAS
48184052014	DEPOSITO BARRENETXES
48184060014	DEPOSITO BIZKARGI
48184060008	DEPOSITO LUMENDI
48184904003	DEPOSITO AURREKOLANDA
48184905006	DEPOSITO LARROS
48184011007	ETAP VENTA ALTA (AGUA BRUTA)
48184011010	ETAP VENTA ALTA (AGUA TRATADA)
48184015004	DEPOSITO BASOSELAI
48184011011	DEPOSITO BENTAKORREKA
48184065002	DEPOSITO GOIKIRI
48184055007	DEPOSITO REKALDE
48184020080	DEPOSITO P3
48184020062	DEPOSITO REKAKO
48184020081	DEPOSITO BOQUETE-STA ANA
48184904008	DEPOSITO ARTXANDA

LEYENDA

- RED AGUA TRATADA
- - - RED FUTURA AGUA TRATADA
- RED AGUA BRUTA
- A RED DE DISTRIBUCION

DEPURADORA (1)	CAPTACION (4) GECO ALTAS/MEDIAS/BAJAS VOL. CONCESION VOL. SOLICITADO
DEPOSITO AGUA TRATADA (27) UN CUENCO	DEPOSITO AGUA BRUTA (0)
DEPOSITO AGUA TRATADA (22) DOS CUENCOS	AC ANALIZADOR CLORO (16)
BOMBEO (28)	C CLORADOR (2)
CONTADOR AGUA BRUTA (5)	R RECLORADOR (17)
CONTADOR CONTROL R.P. (81)	T TURBIDEZ (14)
CONTADOR FACTURACION (195)	TH TRIHALOMETANOS (2)
PUNTO DE MUESTREO (44)	A -INSTAL. SMS AVISADOR (12)

----- LIMITE DE AUTONOMIA

----- LIMITE DE PROVINCIA

----- LIMITE TERMINO MUNICIPAL

ESCALA 1:50.000

MARZO 2022 REV-6

PLANO 4 DE 8

Bilbao Bizkaia Ur Partzuergoa
Consortio de Aguas Bilbao Bizkaia

1

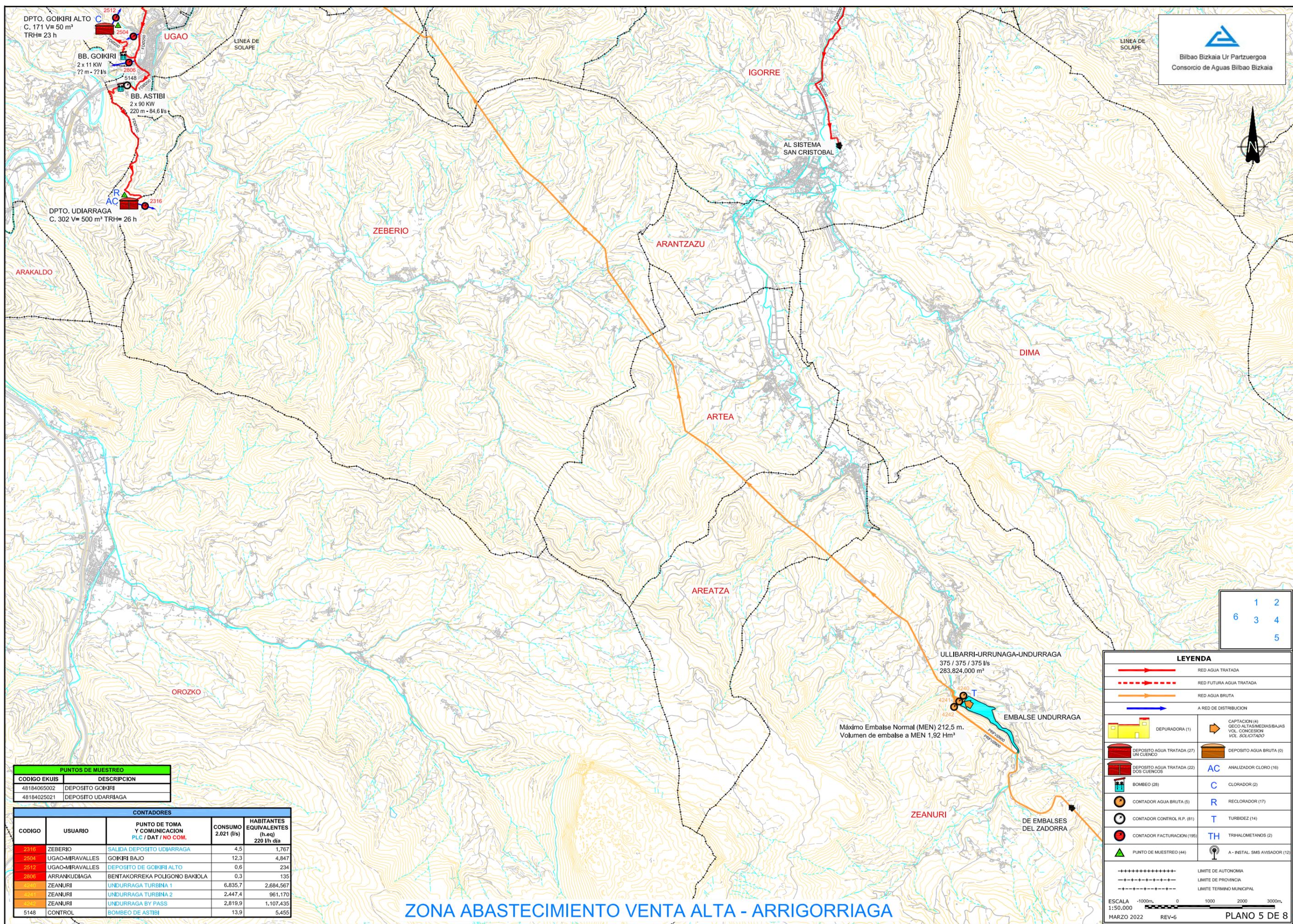
2

6

3

4

5



1	2
6	3
	4
	5

DPTO. GOIKIRI ALTO
C. 171 V= 50 m³
TRH= 23 h

BB. GOIKIRI
2 x 11 KW
?? m - ?? l/s

BB. ASTIBI
2 x 90 KW
220 m - 84.6 l/s

DPTO. UDIARRAGA
C. 302 V= 500 m³ TRH= 26 h

ULLIBARRI-URRUNAGA-UNDURRAGA
375 / 375 / 375 l/s
283.824.000 m³

Máximo Embalse Normal (MEN) 212,5 m.
Volumen de embalse a MEN 1,92 Hm³

EMBALSE UNDURRAGA

PUNTOS DE MUESTREO	
CODIGO EKUIS	DESCRIPCION
48184065002	DEPOSITO GOIKIRI
48184025021	DEPOSITO UDARRIAGA

CONTADORES				
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h dia
2316	ZEBERIO	SALIDA DEPOSITO UDIARRAGA	4,5	1.767
2504	UGAO-MIRAVALLS	GOIKIRI BAJO	12,3	4.847
2512	UGAO-MIRAVALLS	DEPOSITO DE GOIKIRI ALTO	0,6	234
2806	ARRANKUDIAGA	BENTAKORREKA POLIGONO BAKIOLA	0,3	135
5148	ZEANURI	UNDURRAGA TURBINA 1	6.835,7	2.684.567
5148	ZEANURI	UNDURRAGA TURBINA 2	2.447,4	961.170
5148	ZEANURI	UNDURRAGA BY PASS	2.819,9	1.107.435
5148	CONTROL	BOMBEO DE ASTIBI	13,9	5.455

LEYENDA

- RED AGUA TRATADA
- RED FUTURA AGUA TRATADA
- RED AGUA BRUTA
- A RED DE DISTRIBUCION

DEPURADORA (1)	CAPTACION (4)
DEPOSITO AGUA TRATADA (27)	DEPOSITO AGUA BRUTA (0)
DEPOSITO AGUA TRATADA (22)	AC ANALIZADOR CLORO (16)
BOMBEO (28)	C CLORADOR (2)
CONTADOR AGUA BRUTA (5)	R RECLORADOR (17)
CONTADOR CONTROL R.P. (81)	T TURBIDEZ (14)
CONTADOR FACTURACION (195)	TH TRIHALOMETANOS (2)
PUNTO DE MUESTREO (44)	A- INSTAL. SMS AVISADOR (12)

ESCALA 1:50.000

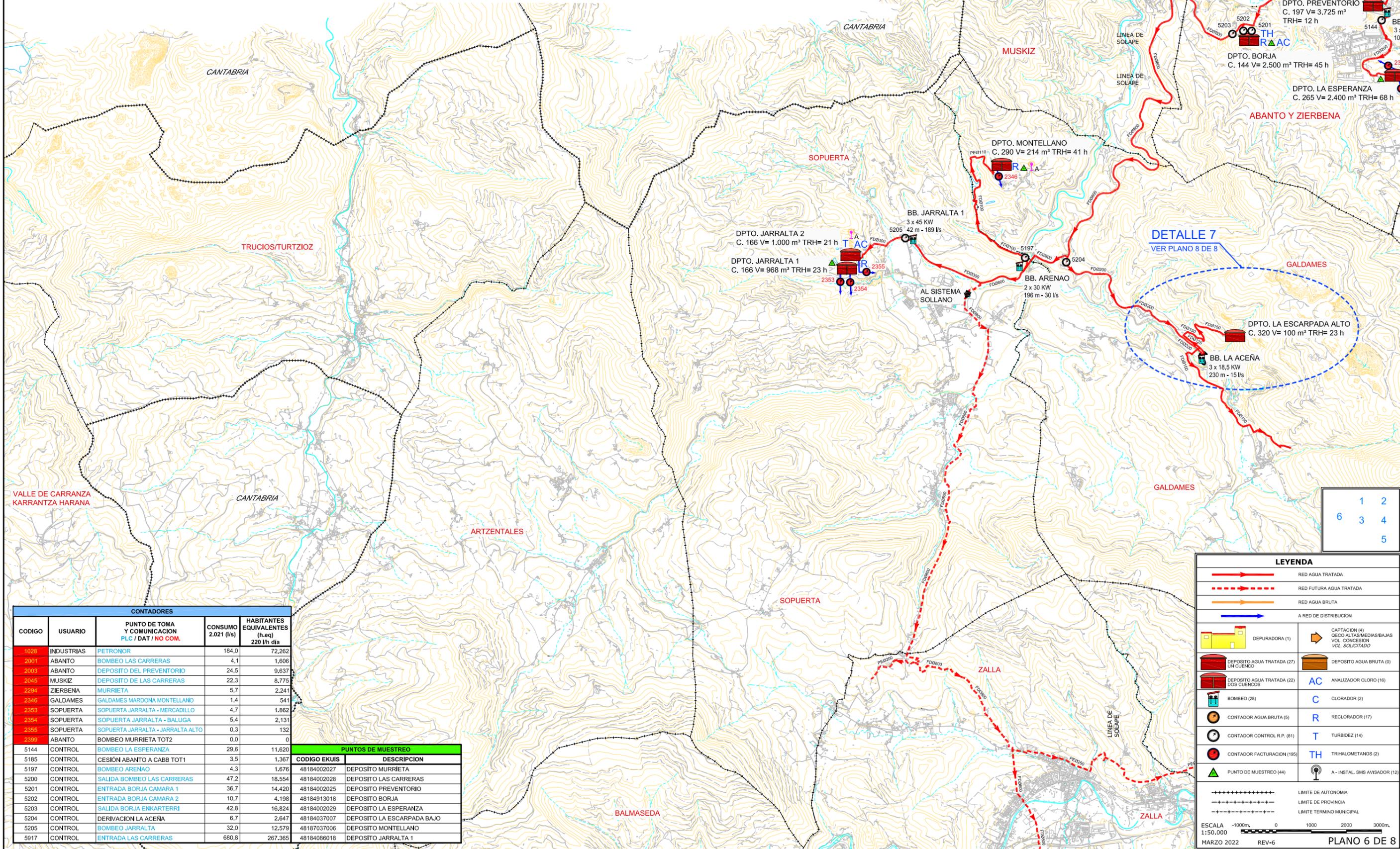
MARZO 2022 REV-6

PLANO 5 DE 8

ZONA ABASTECIMIENTO VENTA ALTA - ARRIGORRIAGA



ZONA ABASTECIMIENTO VENTA ALTA - SOPUERTA - GALDAMES



CONTADORES			
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día
1028	INDUSTRIAS	PETRONOR	184,0
2001	ABANTO	BOMBEO LAS CARRERAS	4,1
2003	ABANTO	DEPOSITO DEL PREVENTORIO	24,5
2045	MUSKIZ	DEPOSITO DE LAS CARRERAS	22,3
2294	ZIERBENA	MURRIETA	5,7
2346	GALDAMES	GALDAMES MARDONA MONTELLANO	1,4
2353	SOPUERTA	SOPUERTA JARRALTA - MERCADILLO	4,7
2354	SOPUERTA	SOPUERTA JARRALTA - BALUGA	5,4
2355	SOPUERTA	SOPUERTA JARRALTA - JARRALTA ALTO	0,3
2399	ABANTO	BOMBEO MURRIETA TOT2	0,0
5144	CONTROL	BOMBEO LA ESPERANZA	29,6
5185	CONTROL	CESIÓN ABANTO A CABB TOT1	3,5
5197	CONTROL	BOMBEO ARENAO	4,3
5200	CONTROL	SALIDA BOMBEO LAS CARRERAS	47,2
5201	CONTROL	ENTRADA BORJA CAMARA 1	36,7
5202	CONTROL	ENTRADA BORJA CAMARA 2	10,7
5203	CONTROL	SALIDA BORJA ENKARTERRI	42,8
5204	CONTROL	DERIVACION LA ACEÑA	6,7
5205	CONTROL	BOMBEO JARRALTA	32,0
5917	CONTROL	ENTRADA LAS CARRERAS	680,8

PUNTOS DE MUESTREO	
CODIGO EKUIS	DESCRIPCION
48184002027	DEPOSITO MURRIETA
48184002028	DEPOSITO LAS CARRERAS
48184002025	DEPOSITO PREVENTORIO
48184913018	DEPOSITO BORJA
48184002029	DEPOSITO LA ESPERANZA
48184037007	DEPOSITO LA ESCARPADA BAJO
48187037006	DEPOSITO MONTELLANO
48184086018	DEPOSITO JARRALTA 1

1	2
6	4
	5

LEYENDA

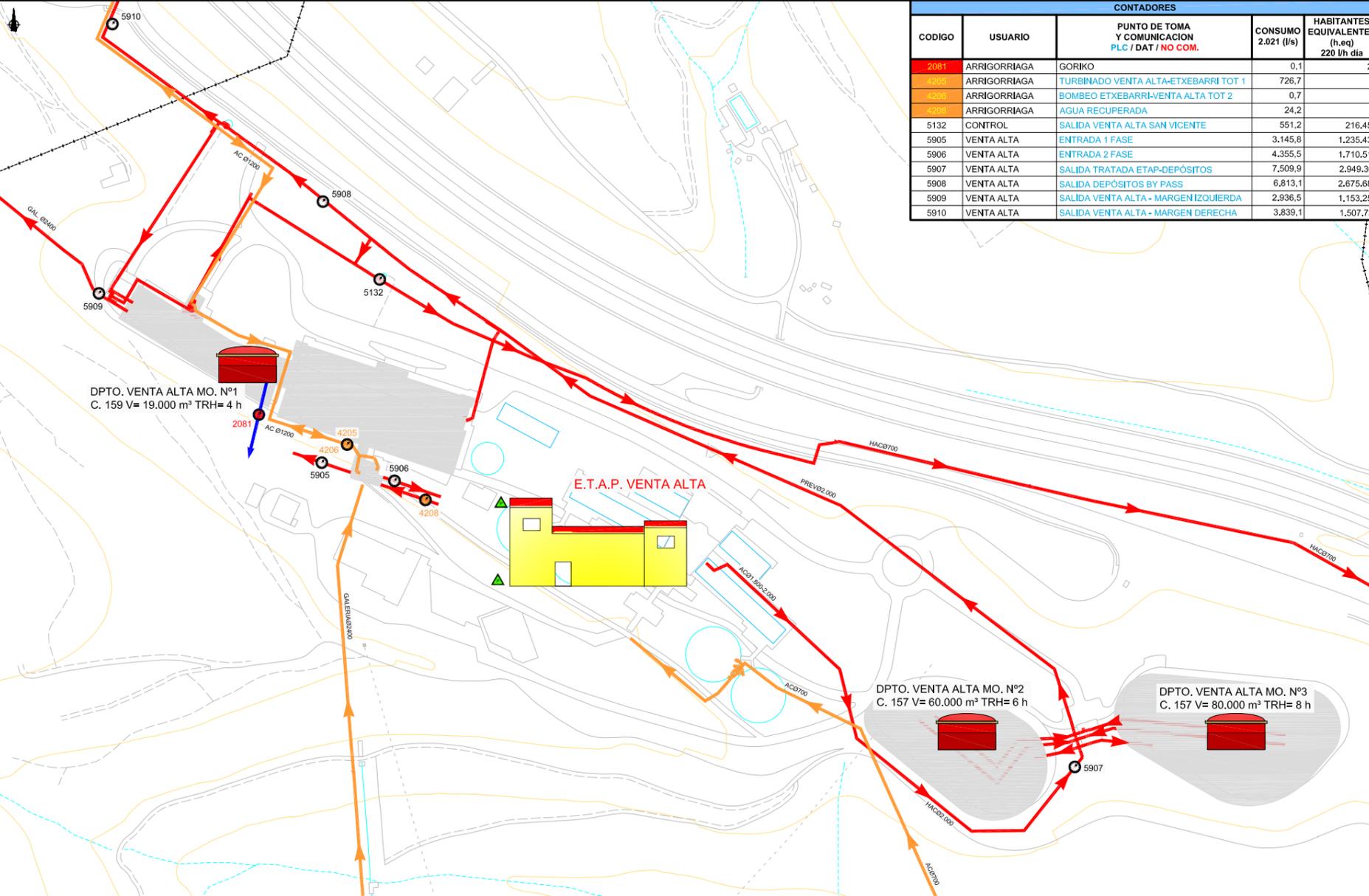
- RED AGUA TRATADA (Red line with arrow)
- RED FUTURA AGUA TRATADA (Dashed red line with arrow)
- RED AGUA BRUTA (Orange line with arrow)
- A RED DE DISTRIBUCION (Blue dashed line)

	DEPURADORA (1)		CAPTACION (4)
	DEPOSITO AGUA TRATADA (27)		DEPOSITO AGUA BRUTA (0)
	DEPOSITO AGUA TRATADA (22) DOS CUENCOS		ANALIZADOR CLORO (16)
	BOMBEO (28)		CLORADOR (2)
	CONTADOR AGUA BRUTA (5)		RECLORADOR (17)
	CONTADOR CONTROL R.P. (81)		TURBIDEZ (14)
	CONTADOR FACTURACION (195)		TRIHALOMETANOS (2)
	PUNTO DE MUESTREO (44)		A - INSTAL. SMS AVISADOR (12)

+-----+ LIMITE DE AUTONOMIA
 - - - - - LIMITE DE PROVINCIA
 - - - - - LIMITE TERMINO MUNICIPAL

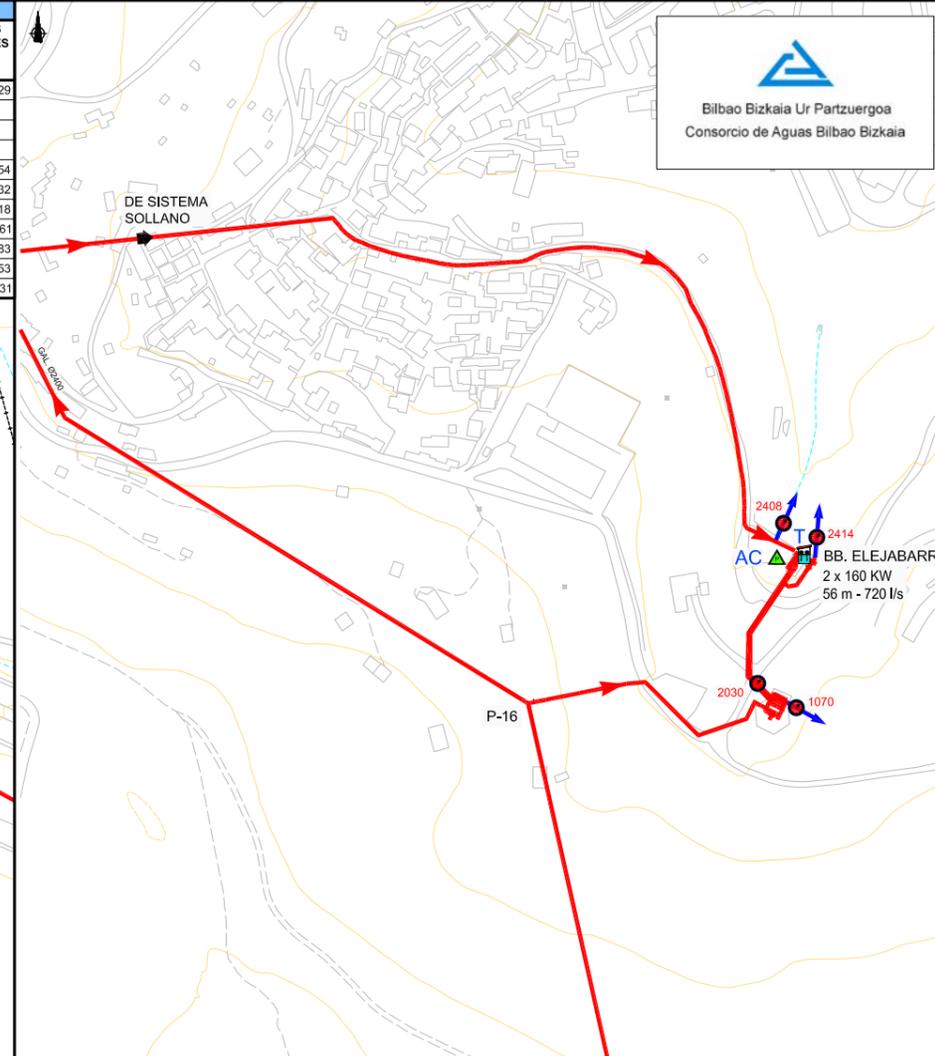
ESCALA 1:50.000
 MARZO 2022 REV-6 PLANO 6 DE 8

DETALLE 1



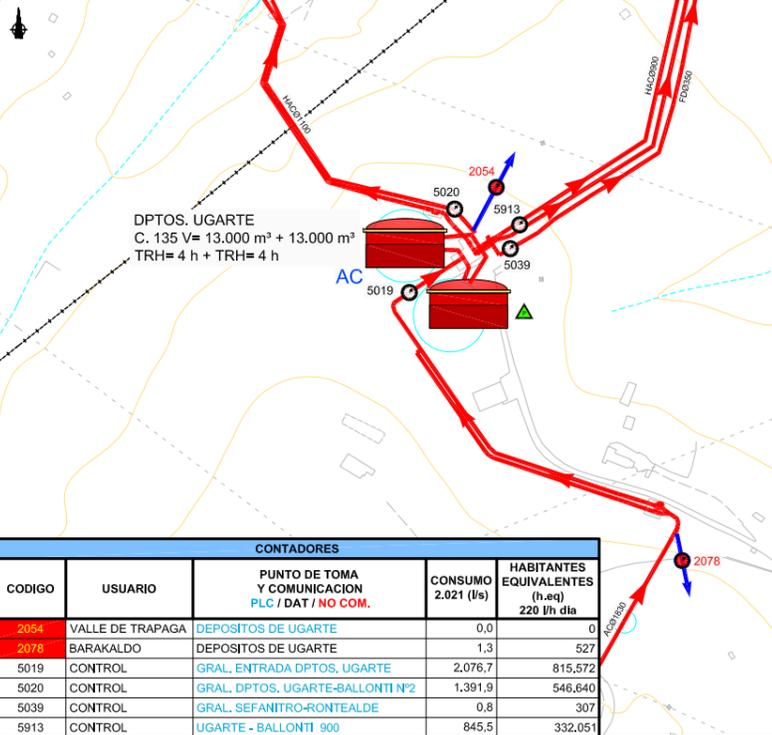
CONTADORES					
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día	
2061	ARRIGORRIAGA	GORIKO	0,1		29
2062	ARRIGORRIAGA	TURBINADO VENTA ALTA-ETXEBARRI TOT 1	726,7		
2063	ARRIGORRIAGA	BOMBEO ETXEBARRI-VENTA ALTA TOT 2	0,7		
2064	ARRIGORRIAGA	AGUA RECUPERADA	24,2		
5132	CONTROL	SALIDA VENTA ALTA SAN VICENTE	551,2	216,454	
5905	VENTA ALTA	ENTRADA 1 FASE	3.145,8	1.235,432	
5906	VENTA ALTA	ENTRADA 2 FASE	4.355,5	1.710,518	
5907	VENTA ALTA	SALIDA TRATADA ETAP-DEPÓSITOS	7.509,9	2.949,361	
5908	VENTA ALTA	SALIDA DEPÓSITOS BY PASS	6.813,1	2.675,683	
5909	VENTA ALTA	SALIDA VENTA ALTA - MARGEN IZQUIERDA	2.936,5	1.153,253	
5910	VENTA ALTA	SALIDA VENTA ALTA - MARGEN DERECHA	3.839,1	1.507,731	

DETALLE 2



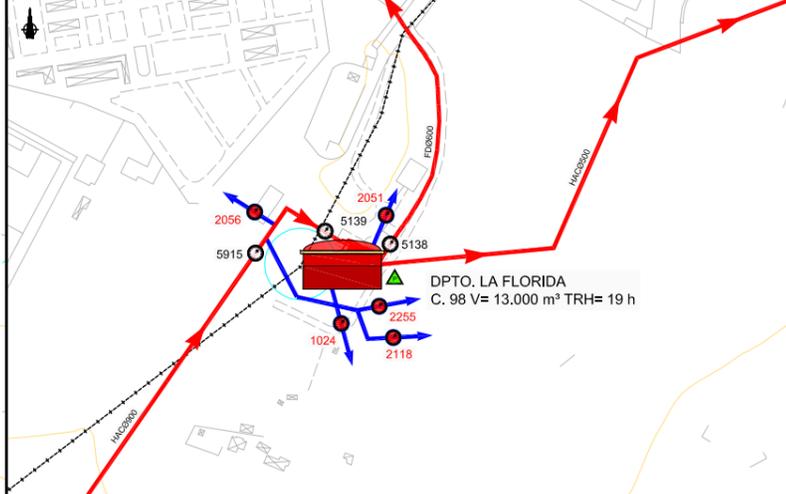
CONTADORES					
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día	
1070	INDUSTRIAS	HOSPITAL DE BASURTO	3,8	1,490	
2030	BILBAO	P-16-A	95,7	37,577	
2408	BILBAO	BASURTO	0,2	60	
2414	BILBAO	BILBAO ENTRADA ELEJABARRI	269,5	105,855	

DETALLE 3



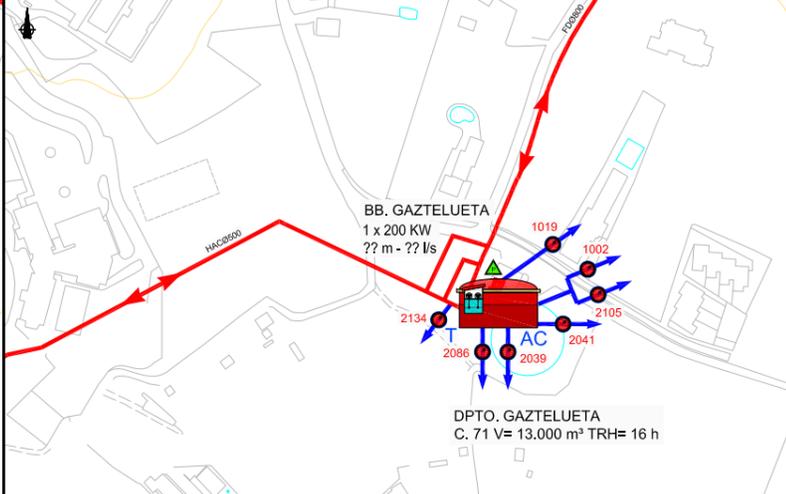
CONTADORES					
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día	
2054	VALLE DE TRAPAGA	DEPOSITOS DE UGARTE	0,0		0
2076	BARAKALDO	DEPOSITOS DE UGARTE	1,3	527	
5019	CONTROL	GRAL. ENTRADA DPTOS. UGARTE	2.076,7	815,572	
5020	CONTROL	GRAL. DPTOS. UGARTE-BALLONTI N°2	1.391,9	546,640	
5039	CONTROL	GRAL. SEFANITRO-RONTEALDE	0,8	307	
5913	CONTROL	UGARTE - BALLONTI 900	845,5	332,051	

DETALLE 4



CONTADORES					
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día	
1024	INDUSTRIAS	NERVACERO (DPTO. PORTUGALETE)	20,0	7,838	
2051	PORTUGALETE	DEPOSITO N°1	86,9	34,144	
2056	SANTURTZI	CEMENTERIO	65,7	25,821	
2118	PORTUGALETE	DEPOSITO N°2 TOMA DIRECTA	7,3	2,881	
2255	PORTUGALETE	DPTO. N°3 - EROSKI	0,0	2	
5138	CONTROL	PORTUGALETE LA FLORIDA-MAMARIGA	287,2	112,796	
5139	CONTROL	PORTUGALETE ENTRADA DEP. LA FLORIDA	351,4	137,986	
5915	CONTROL	ENTRADA LA FLORIDA	836,6	328,567	

DETALLE 5



CONTADORES					
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día	
1902	INDUSTRIAS	AGRA S.A.	9,7	3,827	
1019	INDUSTRIAS	FAES	4,8	1,874	
2039	GETXO	DEPOSITO DE GAZTELUETA N°-1	45,7	17,951	
2041	LEIOA	DEPOSITO DE GAZTELUETA N°-1	31,6	12,404	
2086	GETXO	DEPOSITO DE GAZTELUETA N°-2	50,3	19,761	
2105	LEIOA	EARLE	15,8	6,211	
2134	LEIOA	DEPOSITO DE GAZTELUETA N°-3	4,4	1,730	

PUNTOS DE MUESTREO	
CODIGO EKUIS	DESCRIPCION
48184011007	ETAP VENTA ALTA (AGUA BRUTA)
48184011010	ETAP VENTA ALTA (AGUA TRATADA)
48019020134	DEPOSITO ELEJABARRI ENTRADA (C.O.)
48184013006	DEPOSITO UGARTE
48184078010	DEPOSITO LA FLORIDA
48184054011	DEPOSITO GAZTELUETA

LEYENDA

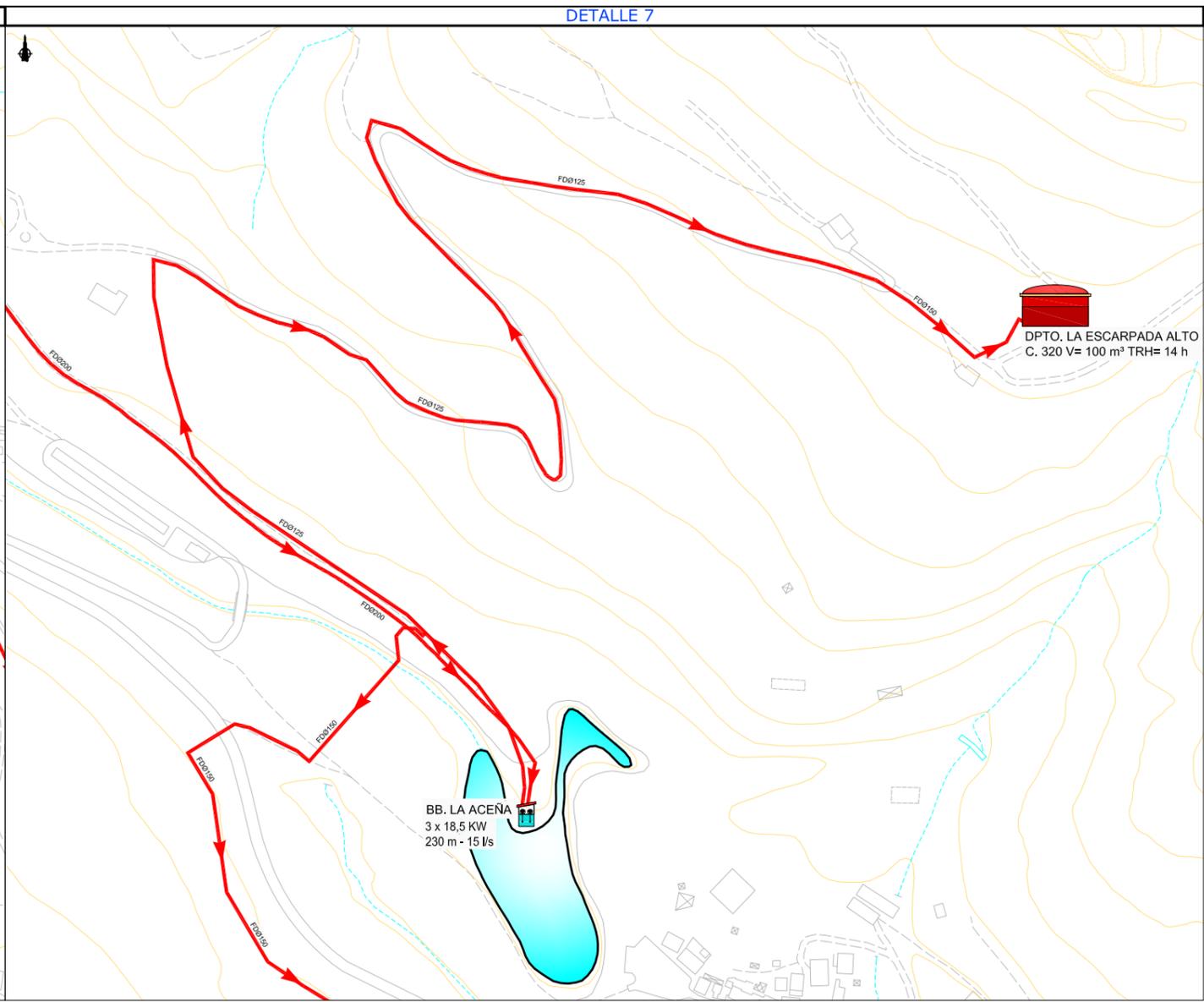
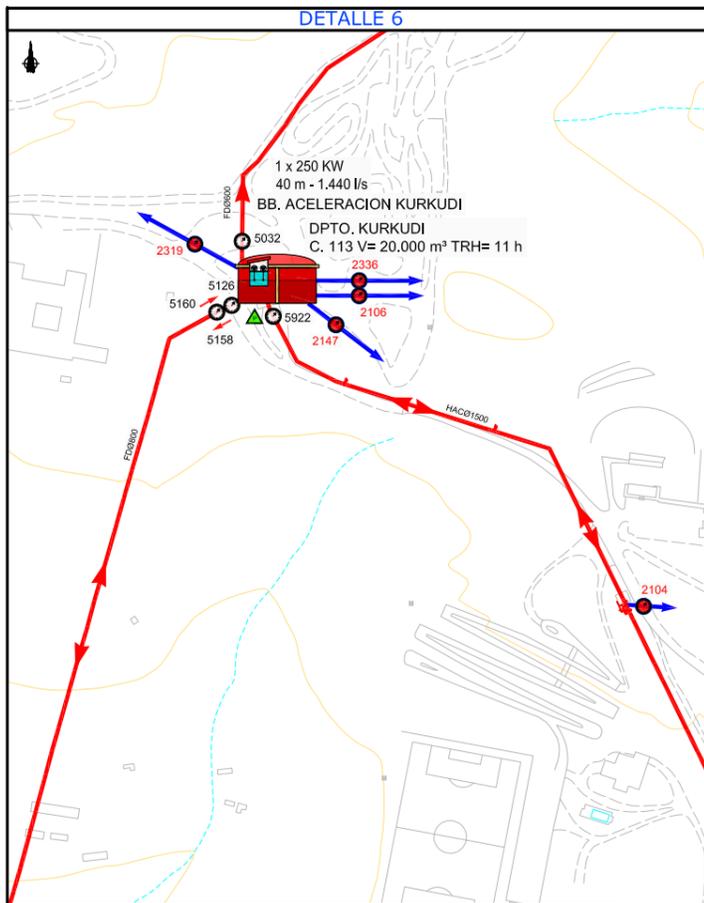
- Red Agua Tratada (Solid red line)
- Red Futura Agua Tratada (Dashed red line)
- Red Agua Bruta (Orange line)
- A Red de Distribucion (Blue line)

LEGENDA DE SIMBOLOS:

- DEPURADORA (1)
- DEPOSITO AGUA TRATADA (27)
- DEPOSITO AGUA TRATADA (22) DOS CUENCOS
- BOMBEO (28)
- CONTADOR AGUA BRUTA (5)
- CONTADOR CONTROL R.P. (81)
- CONTADOR FACTURACION (195)
- PUNTO DE MUESTREO (44)
- CAPTACION (4)
- DEPOSITO AGUA BRUTA (0)
- ANALIZADOR CLORO (16)
- CLORADOR (2)
- RECLORADOR (17)
- TURBIDEZ (14)
- TRIHALOMETANOS (2)
- A - INSTAL. SMS AVISADOR (12)

ESCALA 1:4.000

MARZO 2022 REV-6 PLANO 7 DE 8



CONTADORES				
CODIGO	USUARIO	PUNTO DE TOMA Y COMUNICACION PLC / DAT / NO COM.	CONSUMO 2.021 (l/s)	HABITANTES EQUIVALENTES (h.eq) 220 l/h día
2104	LEIOA	KURKUDI Nº-1	1,1	427
2106	LEIOA	KURKUDI Nº-2	0,0	13
2147	LEIOA	KURKUDI Nº-3 ARTEA	14,6	5.735
2319	GETXO	SALIDA KURKUDI GETXO	121,5	47.703
2336	LEIOA	PARQUE CIENTIFICO	4,8	1.889
5032	CONTROL	KURKUDI-LARRAGOITI	577,8	226.900
5126	CONTROL	ENTRADA DEPÓSITO KURKUDI	551,2	216.454
5158	CONTROL	KURKUDI: KURKUDI-GAZTELUETA	480,1	188.545
5160	CONTROL	KURKUDI: GAZTELUETA-KURKUDI	0,0	0
5922	CONTROL	ENTRADA KURKUDI	1.305,4	512.651

PUNTOS DE MUESTREO	
CODIGO EKUIS	DESCRIPCION
48184054012	DEPOSITO KURKUDI

LEYENDA	
	RED AGUA TRATADA
	RED FUTURA AGUA TRATADA
	RED AGUA BRUTA
	A RED DE DISTRIBUCION
	DEPURADORA (1)
	CAPTACION (4) GECO ALTAS/MEDIAS/BAJAS VOL. CONCESION VOL. SOLICITADO
	DEPOSITO AGUA TRATADA (27) UN CUENCO
	DEPOSITO AGUA BRUTA (0)
	DEPOSITO AGUA TRATADA (22) DOS CUENCOS
	ANALIZADOR CLORO (16)
	CLORADOR (2)
	RECLORADOR (17)
	TURBIDEZ (14)
	TRIHALOMETANOS (2)
	PUNTO DE MUESTREO (44)
	A - INSTAL. SMS AVISADOR (12)

+++++	LIMITE DE AUTONOMIA
-----	LIMITE DE PROVINCIA
-----	LIMITE TERMINO MUNICIPAL

ESCALA 1:4.000

MARZO 2022 REV-6 PLANO 8 DE 8

ANEXO III: LISTADO DE CAUDALES

MODELO REAL		
LINEA:	ORDUNTE-SOLLANO	ZADORRA-VENTA ALTA
Tiempo [h]	Caudal [L/s]	Caudal [L/s]
0:00	46,6	114,94
1:00	1000	2557,37
2:00	1000	2565,72
3:00	930,17	2312,68
4:00	950,17	2361,1
5:00	1000	2718,47
6:00	446,3	1140,2
7:00	683,59	1582,28
8:00	1000	2799,27
9:00	703,4	1668,56
10:00	711,94	1680,67
11:00	794,34	2073,06
12:00	626,16	1388,84
13:00	1000	2801,93
14:00	1000	2770,25
15:00	985,77	2446,17
16:00	606,68	1340,97
17:00	673,78	1580,71
18:00	715,01	1695,59
19:00	1000	2792,52
20:00	623,79	1381,13
21:00	373,96	947,37
22:00	1000	2718,47
23:00	854,66	2118,93
24:00	922,96	2295,23
25:00	1000	2557,35
26:00	1000	2565,73
27:00	1000	2583,21
28:00	898,77	2250,47
29:00	1000	2718,49
30:00	991,58	2459,97
31:00	756,57	1788,8
32:00	873,06	2173,55
33:00	725,97	1721,85
34:00	600,69	1329,06

35:00	991,2	2459,07
36:00	1000	2488,79
37:00	914,73	2258,64
38:00	1000	2738,79
39:00	949,09	2357,65
40:00	1000	2754,54
41:00	606,66	1316,28
42:00	737,63	1748,11
43:00	983,12	2439,55
44:00	923,4	2279,9
45:00	824,99	2142,33
46:00	976,08	2423,13
47:00	941,67	2340,57
48:00	961,61	2317,21
49:00	1000	2557,33
50:00	1000	2565,74
51:00	877,48	2202,46
52:00	1000	2642,54
53:00	1000	2718,47
54:00	979,49	2430,24
55:00	396,66	999,1
56:00	954,88	2378,92
57:00	985,39	2445,28
58:00	1000	2736,57
59:00	616,39	1384,46
60:00	718,18	1706,91
61:00	1000	2801,86
62:00	265,79	658,92
63:00	616,85	1386,87
64:00	495,3	1259,6
65:00	793,26	2069,56
66:00	994,69	2467,33
67:00	639,7	1437,42
68:00	871,2	2169,01
69:00	1000	2506,62
70:00	842,72	2100,11
71:00	162,94	400,57
72:00	1000	2561,8
MEDIA:	840	2119
TOTAL:	2958 L/s	

MODELO ESCENARIO 1	
LINEA:	ZADORRA-VENTA ALTA
Tiempo [h]	Caudal [L/s]
0:00	161,54
1:00	3278,41
2:00	3261,39
3:00	3041,85
4:00	3101,39
5:00	3423,52
6:00	3243,21
7:00	1918,53
8:00	3112,09
9:00	3081,37
10:00	3439,72
11:00	1593,24
12:00	3275,78
13:00	2935,6
14:00	3448,05
15:00	2827,22
16:00	1624,56
17:00	2290,21
18:00	1104,59
19:00	3251,78
20:00	1166,39
21:00	3036,18
22:00	3395,61
23:00	3041,79
24:00	3282,42
25:00	3278,38
26:00	3285,94
27:00	2913,32
28:00	2974,7
29:00	3423,48
30:00	1836,21
31:00	3253,41
32:00	3258,54
33:00	3447,89
34:00	3195,62
35:00	1526,27
36:00	2282,9
37:00	3292,01

38:00	2859,76
39:00	2763,48
40:00	3213,67
41:00	3222,68
42:00	1803,1
43:00	2885,43
44:00	3253,57
45:00	1194,74
46:00	3177,53
47:00	1188,68
48:00	3282,38
49:00	3278,39
50:00	3285,95
51:00	2913,32
52:00	2974,71
53:00	3423,48
54:00	1945,48
55:00	1349,49
56:00	3469,23
57:00	3204,65
58:00	3128,68
59:00	1830,21
60:00	1740,56
61:00	3017,49
62:00	3106,95
63:00	1500,03
64:00	1117,95
65:00	1555,26
66:00	2327,08
67:00	3251,78
68:00	1937,82
69:00	3482,85
70:00	1684,81
71:00	1369,07
72:00	2891,17
MEDIA:	2691

MODELO ESCENARIO 2		
LINEA:	ZADORRA-VENTA ALTA	SOLLANO-MUZKIZ
Tiempo [h]	Caudal [L/s]	Caudal [L/s]
0:00	161,54	0
1:00	3278,41	155,59
2:00	3285,94	155,59
3:00	3041,85	155,59
4:00	1197,98	155,71
5:00	3423,52	155,6
6:00	3099,99	155,59
7:00	3253,91	155,59
8:00	2893,21	155,6
9:00	3420,29	155,59
10:00	3211,19	155,59
11:00	3098,86	155,59
12:00	2409,62	155,59
13:00	3525,5	155,59
14:00	3106,99	155,6
15:00	3448,79	155,59
16:00	3213,67	155,59
17:00	2769,74	155,59
18:00	3231,19	155,59
19:00	1946,95	155,59
20:00	3269,53	155,59
21:00	1816,72	0
22:00	3302,84	155,59
23:00	368,96	0
24:00	3257,81	155,59
25:00	3278,38	155,59
26:00	3256,16	155,59
27:00	3301,7	155,59
28:00	2974,71	155,59
29:00	3423,48	155,59
30:00	2304,71	155,59
31:00	3520,01	155,59
32:00	3137,05	155,6
33:00	1939,42	155,71
34:00	1779,76	155,59
35:00	1352,79	0
36:00	2285	155,59
37:00	636,48	0

38:00	2859,77	155,6
39:00	2962,29	155,59
40:00	2005,09	155,59
41:00	3222,67	155,59
42:00	1341,42	155,59
43:00	1938,93	155,59
44:00	3274,14	155,59
45:00	1974,23	155,59
46:00	3422,95	155,59
47:00	2090,7	155,59
48:00	3282,39	155,59
49:00	3248,49	155,59
50:00	2895,25	155,59
51:00	3301,71	155,59
52:00	3121,37	155,59
53:00	3197,84	155,59
54:00	2329,14	155,59
55:00	3253,91	155,59
56:00	3106,58	155,6
57:00	2488,33	155,59
58:00	1769,16	155,71
59:00	3098,85	155,59
60:00	3017,48	155,59
61:00	1319,53	155,59
62:00	3106,97	155,6
63:00	1940,19	155,59
64:00	1520,15	155,59
65:00	3222,67	155,59
66:00	3231,19	155,59
67:00	3130,04	155,59
68:00	2818,55	155,59
69:00	2908,55	155,59
70:00	3423,51	155,6
71:00	1791,19	155,71
72:00	3282,41	155,59
MEDIA:	2736	147
TOTAL:	2883 L/s	

MODELO ESCENARIO 3			
LINEA:	BOMBEO-VENTA ALTA	SOLLANO-ELEJABARRI	SOLLANO-MUZKIZ
Tiempo [h]	Caudal [L/s]	Caudal [L/s]	Caudal [L/s]
0:00	116,54	45	0
1:00	1000	1000	156,34
2:00	1000	1000	156,33
3:00	1000	1000	156,45
4:00	1000	1000	156,33
5:00	1000	1000	156,34
6:00	926,62	481,96	0
7:00	1000	1000	156,34
8:00	1000	1000	156,34
9:00	1000	1000	156,33
10:00	1000	1000	156,34
11:00	1000	684,53	157,73
12:00	1000	1000	156,34
13:00	1000	1000	156,33
14:00	1000	569,71	158,25
15:00	1000	973,37	156,47
16:00	1000	963,94	156,51
17:00	991,84	339,93	158,78
18:00	1000	1000	156,33
19:00	853,81	316,47	0
20:00	1000	1000	156,33
21:00	1000	1000	156,33
22:00	1000	1000	156,33
23:00	1000	1000	156,33
24:00	1000	1000	156,34
25:00	1000	1000	156,33
26:00	1000	1000	156,34
27:00	1000	1000	156,34
28:00	1000	1000	156,34
29:00	1000	1000	156,34
30:00	1000	1000	156,33
31:00	1000	884,13	156,89
32:00	1000	1000	156,33
33:00	1000	721,99	157,58
34:00	1000	1000	156,34
35:00	1000	1000	156,34
36:00	1000	812,09	157,28
37:00	1000	1000	156,33

38:00	1000	1000	156,34
39:00	737,64	272,9	0
40:00	1000	1000	156,33
41:00	1000	1000	156,34
42:00	1000	1000	156,34
43:00	1000	1000	156,33
44:00	1000	839,56	0
45:00	1000	1000	156,33
46:00	1000	1000	156,33
47:00	1000	1000	156,34
48:00	1000	1000	156,33
49:00	1000	1000	156,34
50:00	1000	1000	156,33
51:00	1000	1000	156,34
52:00	1000	1000	156,34
53:00	1000	1000	156,34
54:00	1000	1000	156,33
55:00	1000	820,13	157,17
56:00	1000	1000	156,34
57:00	1000	1000	156,34
58:00	1000	1000	156,34
59:00	1000	780,24	157,34
60:00	1000	1000	156,33
61:00	1000	484,64	158,45
62:00	1000	1000	156,35
63:00	1000	881,17	156,9
64:00	1000	605,5	0
65:00	1000	771,4	157,38
66:00	1000	1000	156,34
67:00	1000	932,86	0
68:00	684,96	252,71	0
69:00	1000	1000	156,33
70:00	1000	1000	156,33
71:00	662,12	210,92	159,06
72:00	1000	1000	156,34
MEDIA:	984	897	141
TOTAL:	2023 L/s		

MODELO ESCENARIO 4			
LINEA:	BOMBEO-VENTA ALTA	SOLLANO-ELEJABARRI	SOLLANO-MUZKIZ
Tiempo [h]	Caudal [L/s]	Caudal [L/s]	Caudal [L/s]
0:00	116,54	45	0
1:00	2000	1000	156,34
2:00	2000	957,52	156,55
3:00	2000	1000	156,33
4:00	1590,81	609,75	158,01
5:00	2000	1000	156,34
6:00	2000	1000	156,33
7:00	2000	1000	156,33
8:00	2000	871,08	157
9:00	972,49	332,1	158,8
10:00	2000	1000	156,34
11:00	2000	1000	156,33
12:00	2000	1000	156,34
13:00	1490,38	618,04	157,97
14:00	2000	1000	156,35
15:00	2000	1000	156,33
16:00	1773,64	685,11	157,72
17:00	1455,05	598,81	158,03
18:00	2000	1000	156,33
19:00	2000	1000	156,33
20:00	2000	980,3	156,44
21:00	1084,36	518,13	0
22:00	1002,46	341,4	158,78
23:00	2000	1000	156,33
24:00	2000	1000	156,33
25:00	2000	978,07	156,45
26:00	2000	1000	156,34
27:00	2000	1000	156,34
28:00	2000	1000	156,34
29:00	2000	1000	156,34
30:00	1059,44	514,25	0
31:00	1740,95	677,49	157,75
32:00	2000	985,17	156,42
33:00	2000	1000	156,33
34:00	2000	1000	156,33
35:00	2000	1000	156,34
36:00	2000	1000	156,33
37:00	2000	1000	156,34

38:00	1682,13	580,84	158,09
39:00	2000	1000	156,33
40:00	2000	1000	156,33
41:00	2000	1000	156,33
42:00	2000	1000	156,33
43:00	854,1	289,15	158,9
44:00	541,98	201,39	0
45:00	423,07	165,98	0
46:00	1746,12	674,28	157,76
47:00	2000	1000	156,34
48:00	1768,24	654,66	157,83
49:00	2000	978,07	156,45
50:00	2000	985,25	156,41
51:00	2000	1000	156,34
52:00	2000	1000	156,34
53:00	2000	1000	156,34
54:00	840,51	284,34	158,91
55:00	2000	1000	156,33
56:00	2000	1000	156,35
57:00	2000	1000	156,33
58:00	2000	1000	156,33
59:00	1421,34	581,16	158,19
60:00	1920,61	677,64	157,75
61:00	2000	1000	156,33
62:00	2000	1000	156,34
63:00	1544	608,55	158
64:00	1376,7	482,84	158,4
65:00	844,53	287,69	158,9
66:00	1396,12	578,83	158,1
67:00	2000	1000	156,33
68:00	2000	1000	156,33
69:00	2000	1000	156,33
70:00	2000	1000	156,35
71:00	2000	722,36	157,58
72:00	2000	1000	156,34
MEDIA:	1785	839	148
TOTAL:	2772 L/s		

ANEXO IV. DIAGRAMA DE GANTT

