COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

CÁLCULOS HIDRÁULICOS Y MODELADO DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES CON SOFTWARE ALLIEVI

Autor: Martín Pedreira Lois

Director: Francisco Sarti Fernández

Madrid 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Cálculos hidráulicos y modelado de una estación depuradora de aguas residuales con software Allievi

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Martín Pedreira Lois Fecha: 30/08/2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Francisco Sarti Fernández Fecha: 30/08/2023

COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA
ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

CÁLCULOS HIDRÁULICOS Y MODELADO DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES CON SOFTWARE ALLIEVI

Autor: Martín Pedreira Lois

Director: Francisco Sarti Fernández

Madrid 2023

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a D. Francisco Sarti Fernández por darme la oportunidad de participar en este proyecto.

CÁLCULOS HIDRÁULICOS EDAR

Autor: Pedreira Lois, Martín.

Director: Sarti Fernández, Francisco.

Entidad Colaboradora: CT3 Ingeniería.

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto consiste en el modelado de cálculos hidráulicos pertenecientes a una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) real. Para ello, se realizará un cuidadoso estudio previo de la planta con el objetivo de conocer su funcionamiento y poder diseñar un modelo equivalente en el software Allievi, que permitirá realizar el cálculo hidráulico en régimen transitorio.

Palabras clave: EDAR, eficiencia, caudal, nivel de agua.

1. Introducción

La intencionalidad de este proyecto pasa por abordar la problemática relacionada con un mal tratamiento de las aguas residuales, así como su consumo energético. Son dos de los mayores problemas dentro de una estación de estas características. Un mal tratamiento de esta agua bruta puede generar un impacto negativo tanto en la salud humana como en el medio ambiente. Por dichos motivos, la finalidad de este proyecto no es otra que, mediante el modelado de una EDAR real a través de un programa de cálculos hidráulicos, conseguir unos resultados lo más precisos posibles para asegurarse de que se obtiene un rendimiento alto, una eficiencia operativa, una alta capacidad de tratamiento y una reducción de su impacto ambiental.

2. Definición del Proyecto

La planta objeto de estudio está formada por cuatro zonas de tratamiento conectadas a través de diferentes tuberías. Al igual que en el resto de depuradoras se puede distinguir un pretratamiento, un tratamiento primario, un tratamiento secundario y un tratamiento terciario.

Para el modelado de la planta es necesario realizar un estudio previo de los planos y de la información aportados. Es aquí, junto con la memoria de la estación, donde se recopilará toda la información con respecto a las dimensiones de la EDAR. Los valores más importantes son las cotas de agua, las cotas de solera y los volúmenes de los depósitos, los diámetros, longitudes y espesores de las tuberías y toda la información necesaria que vincule bombas, válvulas, etc.

El siguiente paso del Proyecto será la realización de un esquema orientativo donde vengan anotadas todas las medidas necesarias para poder plasmar toda la información de manera correcta a la hora de utilizar Allievi.

Finalmente, se diseñará la planta equivalente mediante el software de cálculos hidráulicos, donde se recogerán y analizarán todos los resultados con relación a volúmenes, cotas, caudales, presiones, etc.

3. Descripción del modelo

El primer paso a seguir es el diseño del modelo de forma esquemática, sin entrar en el programa de cálculos. Para la realización de este, se utilizará el programa AutoCad con el fin de conseguir una mayor claridad.

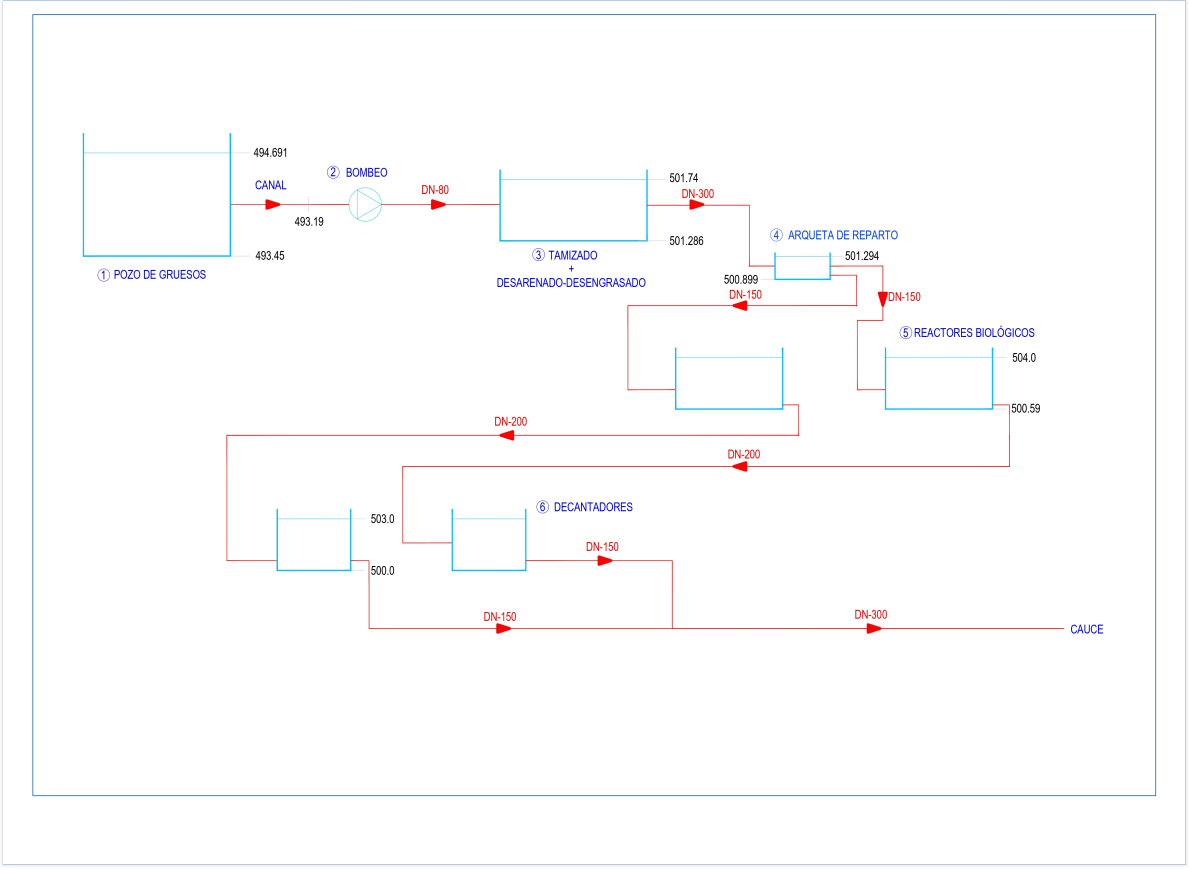


Ilustración 1. Esquema de la EDAR.

Fuente: elaboración propia.

Una vez comprendido y analizado todo el trabajo previo correspondiente a la depuradora, y tras haber realizado el esquema orientativo, se procederá al modelado mediante el software Allievi.

Para la realización del modelado a través de dicho software, se recomienda abordar la planta paso por paso, comenzando por un par de depósitos con una estación de bombeo, comprobando que no existen irregularidades hasta conseguir la planta al completo.

A continuación, se presenta el diseño finalizado:

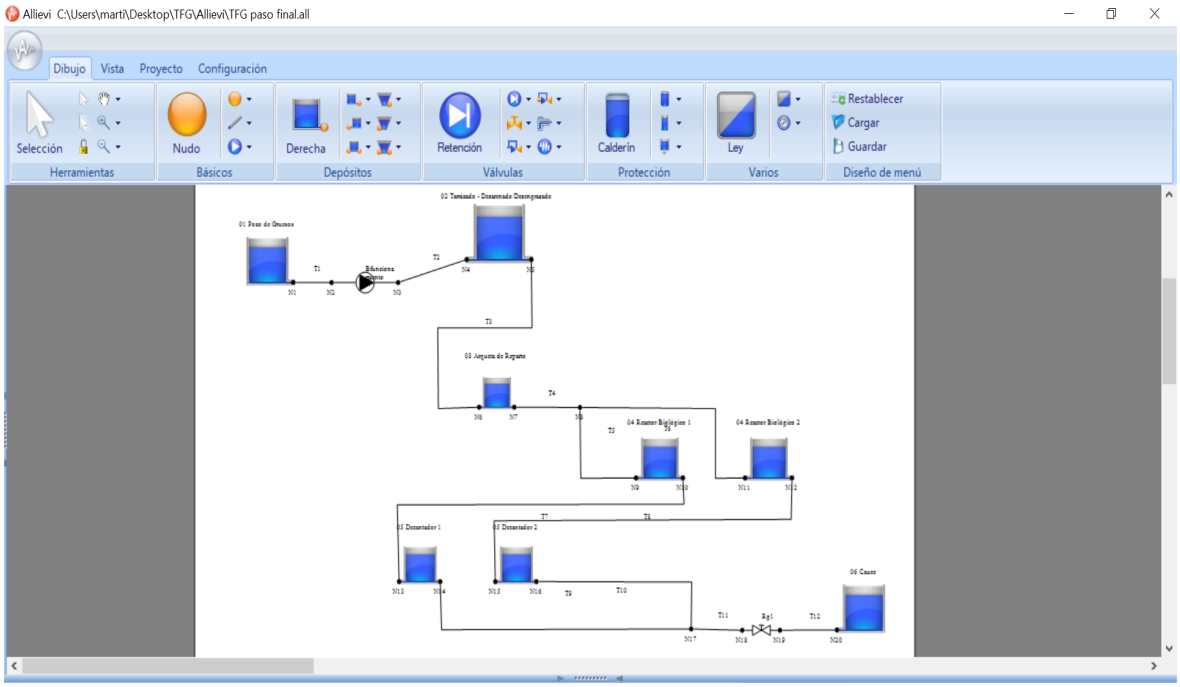


Ilustración 2. Diseño en Allievi.

La planta cuenta con un total de ocho depósitos, una estación de bombeo con cinco bombas disponibles, doce tuberías y una válvula cuyos valores serán descritos a lo largo del proyecto.

4. Resultados

Para poder analizar los resultados es necesario fijar un tiempo de simulación para el régimen transitorio. El valor escogido es de 200 segundos de transitorio. No obstante, se podrá aumentar este tiempo de simulación si fuese necesario con el fin de observar de mejor manera lo ocurrido en la planta.

A continuación, se mostrará una comparación entre el depósito inicial y final, comparado con uno de los depósitos intermedios.

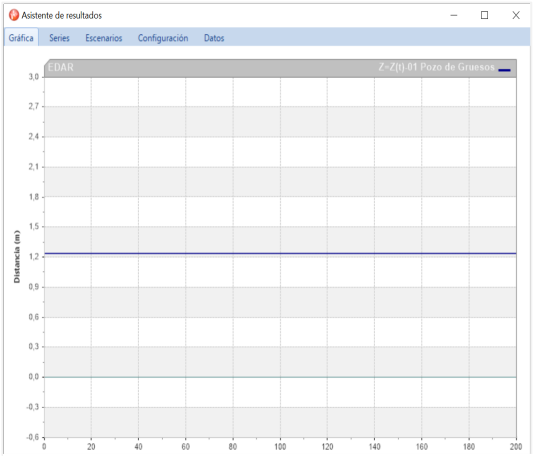


Ilustración 3. Depósito inicial.

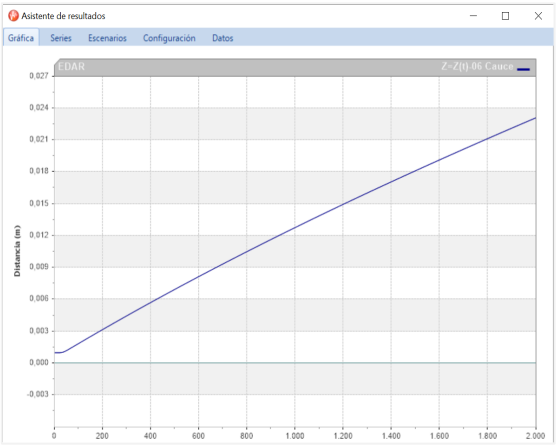


Ilustración 4. Depósito final.

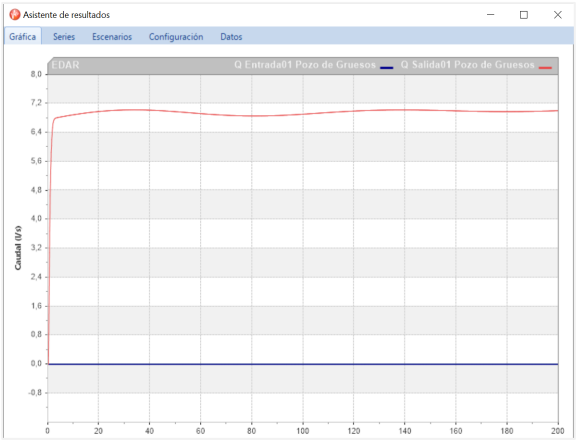


Ilustración 5. Caudal planta.

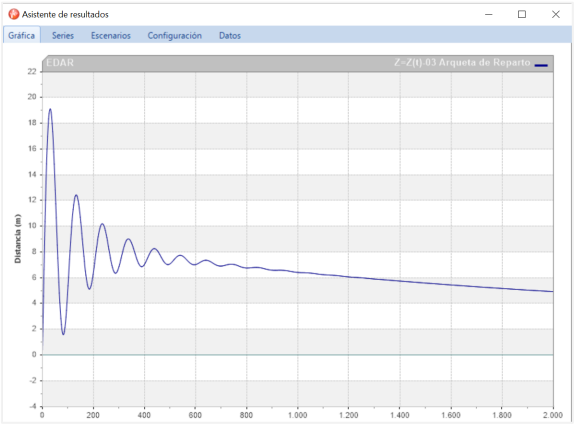


Ilustración 6. Depósito intermedio. 1

5. Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, los objetivos que se buscaban era conseguir que a través de la EDAR fluyese agua residual con un caudal nominal de 25 m^3/h, es decir 7 l/s, y que los depósitos se estabilizasen a lo largo del tiempo.

Como se puede observar en las ilustraciones de los resultados, la *Ilustración 5* confirma que a lo largo de todo el transitorio, el caudal de la planta es el nominal. Las *Ilustración 3* e *Ilustración 4* representan el depósito inicial y final de la planta respectivamente. Como el depósito final es realmente un río, se ha diseñado como un depósito de superficie mucho mayor al resto de depósitos, es por ello que su nivel de agua no se ve realmente afectado durante el transitorio. El depósito inicial Pozo de Gruesos se ha configurado como depósito de grandes dimensiones con el objetivo de que su nivel de agua no varíe y se pueda simular el ciclo completo. El nivel de agua constante se puede apreciar en la *Ilustración 4*.

En la *Ilustración 6* se ve representado el nivel de agua de la arqueta de reparto, que es un depósito que se encuentra en mitad de la planta, con un flujo entrante y otro saliente. Es por ese mismo motivo que la gráfica oscila hasta que consigue estabilizarse en un valor cercano a los 4 m de nivel de agua.

Por lo tanto, se ha conseguido con éxito modelar una EDAR mediante el software Allievi a caudal nominal que mantenga constantes los niveles de agua y su correcto funcionamiento.

HYDRAULIC CALCULATIONS ON SEWAGE TREATMENT PLANT

Author: Pedreira Lois, Martín.

Supervisor: Sarti Fernández, Francisco.

Collaborating Entity: CT3 Engineering

ABSTRACT

The current project consists of the modeling of hydraulic calculations belonging to a real Sewage Treatment Plant. For achieving this, a previous study of the plant will be carried out with the aim of knowing its operation well and being able to design an equivalent model in the Allievi software, which will allow the hydraulic calculation to be carried out in a transitory regime.

Keywords: Sewage Treatment Plant, efficiency, flow, water level.

1. Introduction

The purpose of this project is to address the problems related to poor sewage treatment, as well as its energy usage. They are two of the biggest problems within a plant of these qualities. Poor treatment of this raw water can have a negative impact on both human health and the environment. For these reasons, the purpose of this project is none other than by modeling a real Sewage Treatment Plant in a hydraulic calculation program, to achieve the most accurate results possible to ensure a high performance, operational efficiency, high treatment capacity and a reduction of its environmental impact.

2. Project definition

The plant about to be studied is made up of four treatment zones connected through different pipes. As in the rest of the treatment plants, a pretreatment, a primary treatment, a secondary treatment and a tertiary treatment can be distinguished.

For the modeling of the plant, it is necessary to carry out a previous study of the information plans provided. It is here together with the station memory where all the information regarding the dimensions of the plant will be collected. The most important measurements are the water levels, the levels of the floor and the volumes of the deposits, the diameters, lengths and thicknesses of the pipes and all the necessary information about pumps, valves, etc.

The next step of the project will be about the making of a scheme where all the necessary measurements are noted to be able to capture all the information correctly later on while using Allievi.

Finally, the equivalent plant will be designed in the hydraulic calculation software, where all the results will be collected and analyzed in terms of volumes, heights, flows, pressures, etc.

3. Description of the model

The first step to follow is the design of the model in schematic form, without going into the calculation program. For making this, AutoCad program will be used to achieve greater clarity.

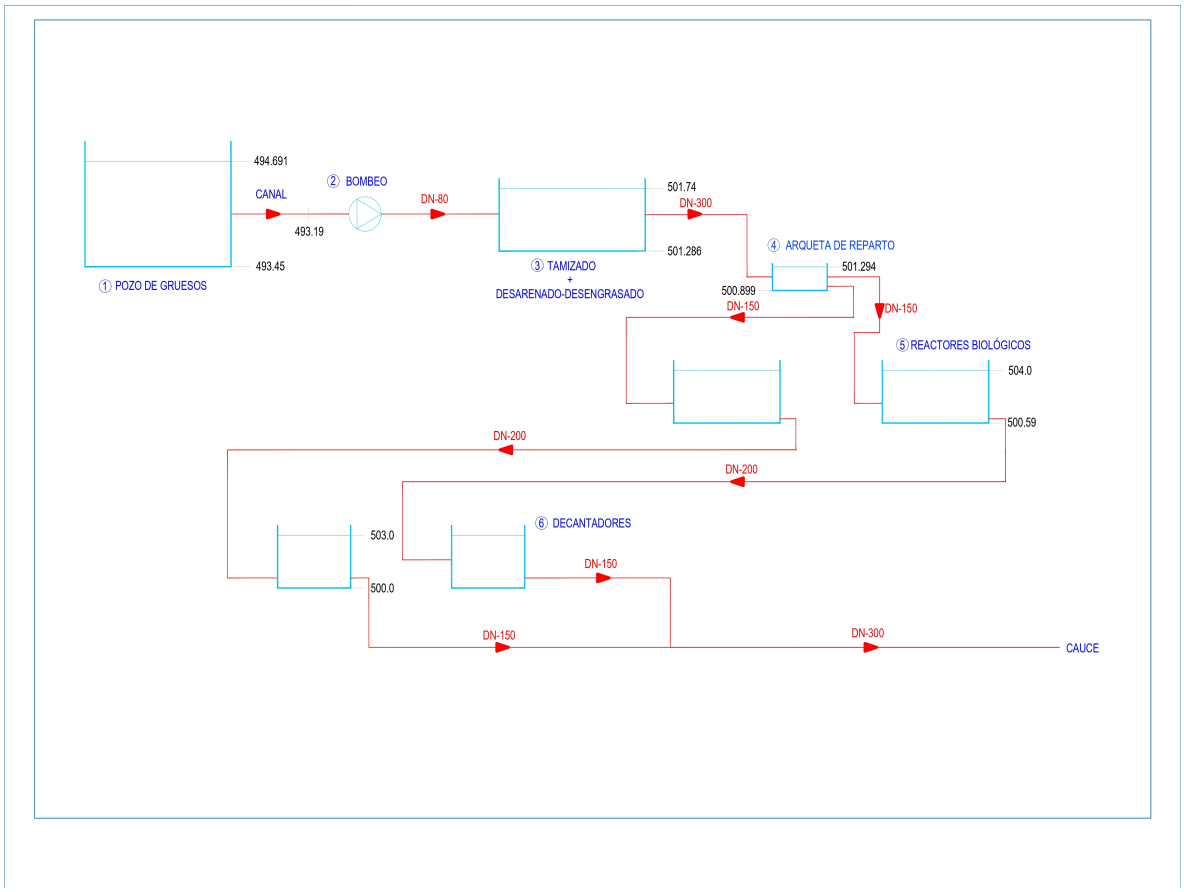


Illustration 1. Drawing of the plant

Once all the previous work corresponding to the treatment plant has been understood and analysed, and after having carried out the drawing, the modelling will start in Allievi.

To make the model on the software, it is recommended to take it step by step, beginning with a couple of deposits and a pump station, making sure everything is working as it should until completing the whole plant.

Here is the finished and final design:

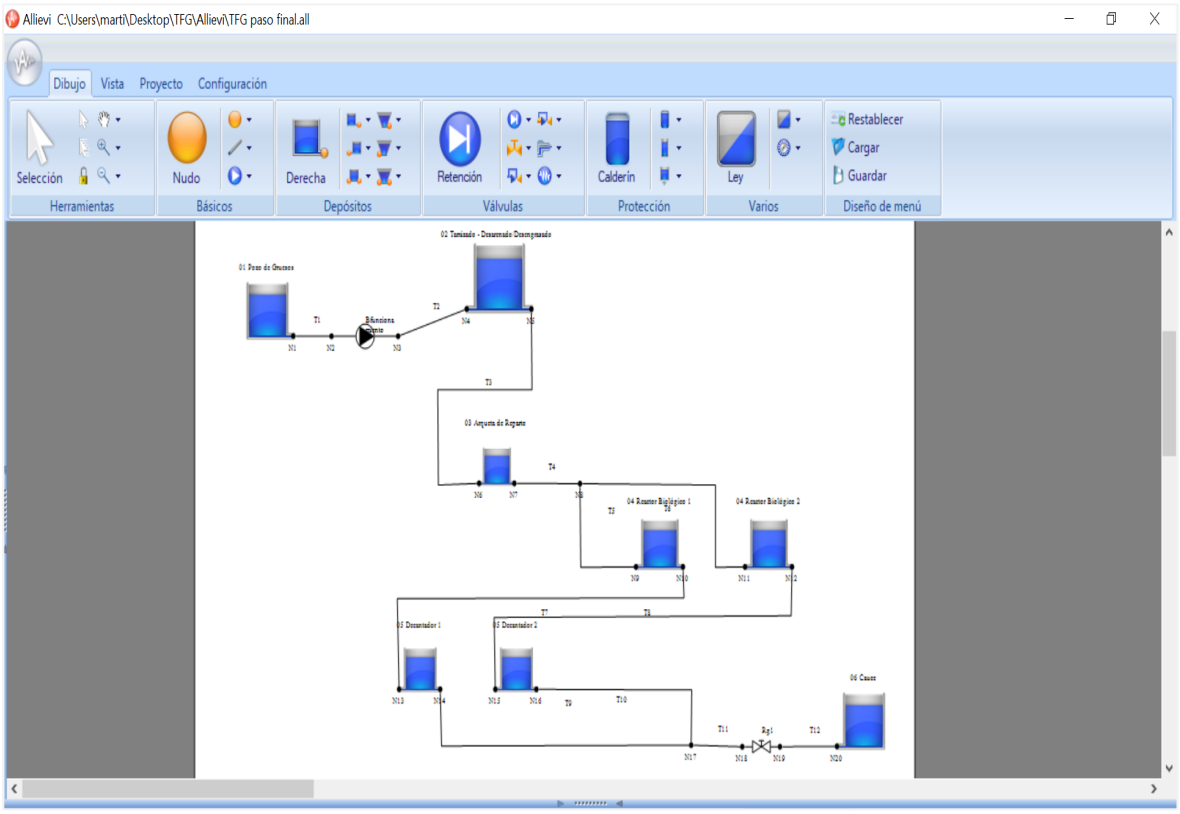


Illustration 2. Allievi design.

The plant has a total of eight tanks, a pumping station with five pumps available, twelve pipes and a valve whose values will be described throughout the project.

4. Results

In order to analyze the results, it is necessary to set a simulation time for the transient regime. The chosen value is 200 seconds. However, this simulation time may be increased, if necessary, in order to better observe what happened in the plant.

Here, there is a comparison between the first and final tanks of the plant. Also compared with one in the middle.

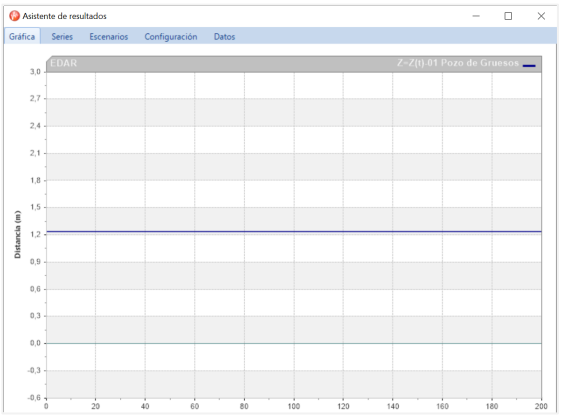


Illustration 3. Initial tank..

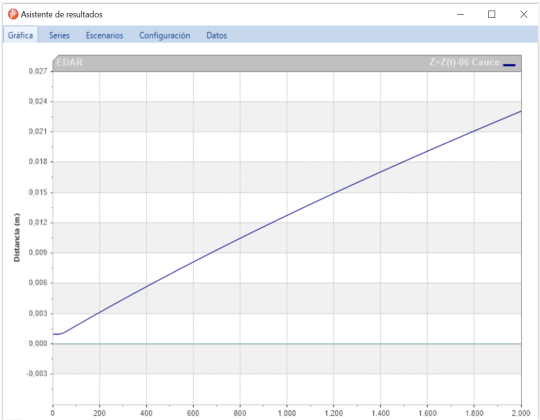


Illustration 4. Final tank.

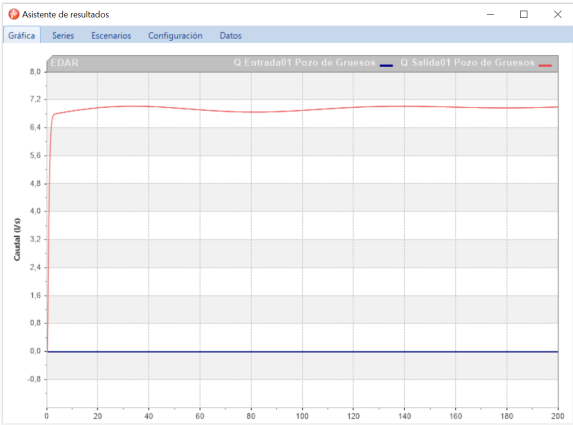


Illustration 5. Flow of the plant.

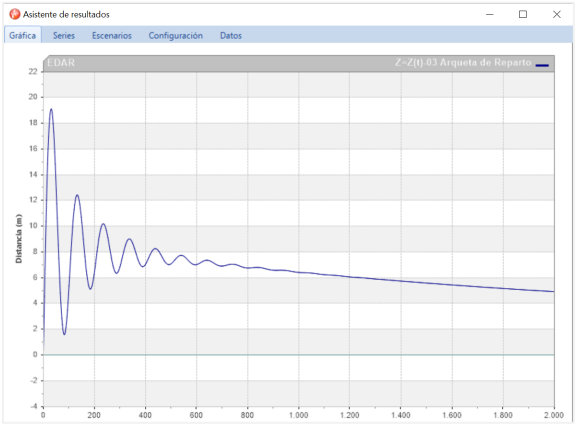


Illustration 6. Middle tank.

5. Conclusions

Taking into account the results obtained, the objectives sought were to ensure that sewage treatment with a nominal flow of 25 m3/h (7 l/s), and that the deposits stabilized throughout the process.

As can be seen in the illustrations of the results, *Illustration 5* confirms that throughout the entire transient the flow rate of the plant is nominal. *Illustration 3* and *Illustration 4* represent the initial and final deposit of the plant respectively. As the final reservoir is really a river, it has been designed as a much larger surface reservoir than the rest of the reservoirs, for this reason its water level is not really affected during the transient. The initial tank has been configured as a large reservoir so that its water level does not vary, and the complete cycle can be simulated. The constant water level can be seen in *Illustration 4*.

Illustration 6 shows the water level of the distribution box, which is a tank located in the middle of the plant, with an incoming and an outgoing flow. It is for this same reason that the graph oscillates until it manages to stabilize at a value close to 4 m of water level.

Therefore, the modelling of the plant in the Allievi software at a nominal flow that maintains constant water levels and its correct operation has been successful.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción ***6***

1.1 Motivación del proyecto 6

1.2 Objetivos del proyecto 7

1.3 Metodología de trabajo 8

1.4 Recursos a emplear 9

Capítulo 2. Descripción de la Planta ***11***

2.1 Características geográficas 11

2.2 Características del efluente 13

2.3 Procesos de tratamiento 23

2.4 Partes de la EDAR 31

Capítulo 3. Estado de la Cuestión ***38***

3.1 Consumo energético en las EDAR 38

3.2 Objetivos de desarrollo sostenible 49

Capítulo 4. Descripción del Proyecto ***52***

4.1 Análisis Del Sistema 52

4.2 Desarrollo de la planta 54

4.3 Diseño de la planta 69

Capítulo 5. Análisis de Resultados ***81***

Capítulo 6. Conclusiones ***98***

Capítulo 7. Bibliografía ***101***

Índice de figuras

Figura 1. Vertido del agua. *15*

Figura 2. Contaminación subterránea. *16*

Figura 3. Escala de veneno. *17*

Figura 4. Contaminación mapa de España. *18*

Figura 5. Ruta del agua. *20*

Figura 6. Esquema EDAR. *23*

Figura 7. Proceso de pretratamiento. *26*

Figura 8. Tratamiento primario. *27*

Figura 9. Tratamiento secundario. *29*

Figura 10. Potencia por tratamiento. *40*

Figura 11. Gráfico de estimación de consumo. *48*

Figura 12. Paso 0. ..... *55*

Figura 13. Depósitos paso 0. ..... *56*

Figura 14. Tuberías paso 0. ..... *57*

Figura 15. Bomba paso 0. ..... *58*

Figura 16. Arranque bomba paso 0. ..... *58*

Figura 17. Nivel pozo de gruesos paso 0. ..... *59*

Figura 18. Nivel tamizado paso 0. ..... *60*

Figura 19. Caudal bombeo paso 0. ..... *61*

Figura 20. Presión nudos bomba paso 0. ..... *61*

Figura 21. Paso 1. ..... *63*

Figura 22. Depósitos paso 1. ..... *63*

Figura 23. Resultado paso 1. 64

Figura 24. Presión nudos bomba paso 1. 65

Figura 25. Paso 1.2. 66

Figura 26. Errores paso 1.2. 67

Figura 27. Esquema final de la planta. 68

Figura 28. Esquema final de la planta. 69

Figura 29. Pozo de gruesos final. 70

Figura 30. Tamizado/Desarenado/Desengrasado. 71

Figura 31. Arqueta de reparto. 72

Figura 32. Reactores biológicos. 73

Figura 33. Decantadores. 74

Figura 34. Cauce. 75

Figura 35. Tuberías paso final. 76

Figura 36. Válvula paso final. 77

Figura 37. Funcionamiento válvula. 78

Figura 38. Condiciones bomba final. 79

Figura 39. Inercia de la bomba. 80

Figura 40. Régimen permanente. 81

Figura 41. Nivel pozo de gruesos. 83

Figura 42. Pozo de gruesos PD. 84

Figura 43. Caudal pozo de gruesos. 85

Figura 44. Nivel de agua Tamizado. 86

Figura 45. Nivel de agua Arqueta Reparto. 87

Figura 46. Arqueta 2000 segundos. 88

Figura 47. Nivel final cauce. 89

Figura 48. Caudal bombeo. 90

Figura 49. Velocidad de rotación bomba. 91

Figura 50. Potencia eje bomba. 91

Figura 51. Altura de bombeo. 92

Figura 52. Presión en nudo N2. 93

Figura 53. Presión en nudo N3. 93

Figura 54. Volumen de cavitación N2. 94

Figura 55. Volumen de cavitación N3. 95

Figura 56. Funcionamiento válvula. 96

Figura 57. Pérdida de carga válvula. 97

Índice de tablas

Tabla 1. Características medias del agua. ***22***

Tabla 2. Estándares de calidad. ***23***

Tabla 3. Porcentajes de reducción. ***31***

Tabla 4. Tratamiento frente a habitantes. ***39***

Tabla 5. Energía teórica. ***44***

Tabla 6. Caudales de la planta. ***54***

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto fin de grado de título Cálculos hidráulicos EDAR consistirá en el estudio de una planta depuradora de aguas residuales donde el objetivo principal será obtener unos resultados hidráulicos eficientes para conseguir un ahorro energético óptimo.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

A la hora de afrontar este proyecto, tras haber finalizado el grado de Ingeniería Industrial de especialidad mecánica, el objetivo era hallar un proyecto relacionado con la mecánica de fluidos y la utilización de turbomáquinas. A través de la ingeniería CT3 surge una oportunidad de proyecto que genera gran interés.

España ha sido un país pionero en la investigación y desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas residuales. Actualmente cuenta con una amplia red de infraestructuras de este tipo, alcanzando las 3.900 estaciones en funcionamiento, dato que refleja la importancia de estas. Esta cifra significa que aproximadamente es necesaria una EDAR por cada 12.000 habitantes. La problemática para estos escenarios no es otra que el consumo energético. Un estudio realizado en 2010 por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDEA, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) estima que el volumen de agua residual tratada al año es de 4.450 hm^3 asociado a un consumo de 2.225 GWh anuales. Este estudio matiza las diferencias entre las depuradoras pequeñas y las de mayor tamaño. En las estaciones pequeñas el consumo es ligeramente mayor, elevándose la cifra a 50 kWh por habitante al año, mientras que en las grandes depuradoras el consumo energético ronda los 20 – 30 kWh por habitante al año de media. Esta diferencia se debe a que las grandes depuradoras cuentan con mayores inversores y son diseñadas comuna mayor optimización y calidad que las depuradoras de menor tamaño. La media nacional de kWh por habitante al año resulta más cercana a los 50 kWh, cifra que representa una potencia de consumo de 5,7 W/habitante y entre el 1% y el 2% del consumo eléctrico de los hogares en

España. La gran motivación de este proyecto se fundamenta en la realización precisa de unos cálculos hidráulicos a caudal nominal (25 m^3/h) para optimizar la eficiencia energética de la planta. El cumplimiento de diferentes objetivos de desarrollo sostenible será relevante, como pueden ser el agua limpia y saneamiento, energía asequible y no contaminante, industria, innovación e infraestructura, ciudades y comunidades sostenibles.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos del presente proyecto se pueden resumir en los siguientes puntos:

1. Aprendizaje de la planta: consiste en un meticuloso y completo estudio de la EDAR con la que se va a trabajar, en la que se asimilarán los conceptos clave del funcionamiento de una planta y la importancia de estas en un enfoque nacional. Se estudiará de manera detallada cada proceso llevado a cabo, comparándolo con otras infraestructuras del mismo ámbito. También se analizarán los equipos y componentes disponibles para el funcionamiento del sistema como bombas, volúmenes de los tanques, diámetro de las tuberías, etc.
2. Aprendizaje de recopilación de datos: una vez identificados los equipos a utilizar, el objetivo será ser capaz de extraer la información necesaria de los documentos informativos y los diferentes planos de la EDAR. El análisis de la línea de agua será clave a la hora de obtener los datos de los caudales, volúmenes, longitudes y diámetros de tuberías, etc.
3. Aprendizaje de modelado de la planta: a partir de la información extraída de los anexos y planos de la estación, el objetivo es la familiarización con el uso de PFD y P&ID para poder simplificar los planos y facilitar la posterior comprensión del esquema.
4. Ejecutar el cálculo hidráulico: una vez recopilada toda la información acerca de la estación, se deberá aprender a manejar el programa Allievi para poder plasmar en él el esquema realizado anteriormente. Una vez realizado esto se efectuarán los cálculos.

5. Análisis de los resultados: con los resultados obtenidos, obtener las conclusiones necesarias en base a la información suministrada aportando el sentido crítico.

1.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la correcta realización del proyecto y de un buen cálculo hidráulico en una EDAR es esencial llevar a cabo la siguiente metodología:

Lo primero de todo es un buen análisis de los datos de partida. Los datos de las instalaciones y los procesos de la EDAR serán proporcionados por CT3 y será necesario recopilar y analizar los datos relevantes y necesarios para el posterior cálculo. Dentro de esta sección habrá que escoger los datos más importantes para poder comprender como funciona la planta en régimen transitorio y permanente. El caudal de entrada y de salida, las diferentes cotas y volúmenes de los depósitos y las tuberías. Todos los datos han de permitir comprender las condiciones iniciales en las que se encuentra la planta para poder partir de una base. Resulta de gran interés conocer los comandos del software que se utilizará posteriormente para poder extraer única y exclusivamente los datos relevantes.

A continuación, será necesaria la realización de un esquema de la planta para facilitar la ejecución y comprensión del cálculo. Este esquema consta de la representación gráfica de la instalación y de las diferentes etapas de tratamiento, remarcando los equipos utilizados como bombas y las conexiones de todas las tuberías y canales. La claridad del esquema será clave para el posterior modelado.

En esta fase comenzará el modelado y diseño de la red a simular en el software. El programa elegido es Allievi. Todos los parámetros anteriormente recopilados en el esquema serán clave para el correcto funcionamiento del flujo de agua bruta.

La ejecución del cálculo aportará una serie de valores que posteriormente serán estudiados y discutidos. Existe la posibilidad de evaluar el comportamiento hidráulico para diferentes condiciones de caudal, ya sea con caudal máximo, mínimo o con el que se centrará este

proyecto que es con el nominal. Esto resulta una buena manera de comprobación del diseño de la planta.

En cuanto a la extracción y discusión sobre los resultados, será necesario comparar estos con la información aportada al inicio del proyecto. Se discutirán las limitaciones de la planta, los problemas identificados aportando posibles soluciones o incluso mejoras.

Por último, toda la información deberá ser recopilada en forma de presentación para poder exponer las conclusiones derivadas de los cálculos hidráulicos realizados.

1.4 RECURSOS A EMPLEAR

Para el presente proyecto se dispone de una serie de documentación previa con información sobre la planta a estudiar. Se trata de tres Anexos diferentes:

1. Cálculo de caudales y características del agua a tratar
2. Cálculos del proceso
3. Cálculos hidráulicos

Los dos primeros serán fundamentales a la hora de recoger información sobre la EDAR, junto con la memoria también adjuntada de la misma donde se puede encontrar detalladamente todo lo necesario sobre dicha estación. El tercer Anexo de Cálculos hidráulicos será clave a la hora de comparar los resultados obtenidos en el proyecto. El objetivo principal es conseguir unos resultados similares a los del mismo documento y conseguir discutir los mismos, proponiendo mejoras si fuesen necesarias.

A su vez, se dispone de una serie de planos que representan la EDAR tanto en vista piezométrica para poder llevar un control de las cotas, como en vista de pájaro para poder ubicar toda la planta y como distribución de línea de agua bruta. Los planos serán necesarios para extraer la información y tener una visión en 2D de la estación.

Para la realización de los cálculos hidráulicos se cuenta con el software Allievi. Este programa cuyo nombre proviene del ingeniero italiano Lorenzo Allievi conocido por su

trabajo en el estudio del golpe de ariete, es un software profesional para el cálculo y simulación de transitorios hidráulicos en sistemas a presión y en lámina libre diseñado en la Universidad Politécnica de Valencia. Consiste nada más y nada menos en uno de los softwares a nivel mundial con mayor fiabilidad a la hora de representación y cálculo de transitorios en sistemas hidráulicos.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

2.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

La correcta ubicación a la hora de construir una EDAR resulta fundamental para conseguir una reducción de los costes de construcción, funcionamiento y mantenimiento. Son varios los requisitos a la hora de seleccionar el lugar de esta:

- **Superficie del terreno:** la superficie que albergará la EDAR debe disponer de suficiente tamaño para poder instalar cada proceso de tratamiento, teniendo en cuenta la posible instalación de otro tipo de estructuras como tanques de almacenamiento o incluso oficinas. El acceso a las instalaciones debe de ser seguro y sencillo, para obtener un acceso fácil. En cuanto al terreno, este debe ser estable y capaz de soportar todo tipo de estructura sin riesgo de deslizamiento o riesgo de hundimiento. Es recomendable realizar estudios geotécnicos, con el fin de conocer la viabilidad de uso del terreno. Por lo general las EDAR ocupan un área de entre un poco más de mil metros cuadrados pudiendo alcanzar varias hectáreas de superficie. Sin embargo, no existe ningún tamaño estandarizado para todas las estaciones ya que cada planta depende en gran medida del flujo de agua que se vaya a tratar. El terreno también deberá cumplir las regulaciones o normativas existentes, ya sean locales, regionales o nacionales en cuanto al urbanismo, el medio ambiente y la seguridad de la planta. Serán requeridos una serie de permisos correspondientes al cumplimiento de dicha normativa.

- **Acceso a red de alcantarillado:** este requisito resulta fundamental ya que se precisa de una buena conexión y captación de las aguas residuales de la zona de influencia. La distancia del terreno escogido hasta la red de alcantarillado y a su vez hasta el punto de vertido toma un papel importante. Esto se debe a los posibles problemas de seguridad que podría proporcionar una mala construcción.

- **Drenaje adecuado:** se busca evitar zonas con problemas de inundaciones o incluso de estancamiento de agua para que la EDAR funcione de manera adecuada ya que una inundación podría interferir en los procesos de tratamiento del agua, eliminando por completo la utilidad de la planta.

- **Acceso a servicios básicos:** los servicios básicos son necesarios en todas las estaciones de este tipo como era de esperar. El acceso a la electricidad y al agua potable es imprescindible junto a una buena red de telecomunicaciones. Las instalaciones eléctricas se requieren para diversas utilidades como pueden ser para la activación de las bombas que sean necesarias o para la utilización de los reactores biológicos. En la estación depuradora de Atalerreka ubicada en la provincia de Guipúzcoa se ha desarrollado una sala de cogeneración energética para conseguir una mayor eficiencia, consiste en la producción conjunta de energía eléctrica y térmica a partir del mismo combustible para el proceso de secado de los fangos generados.

- **Distancia de seguridad:** es recomendable a la hora de construir una planta de este tipo tener en cuenta una cierta distancia de seguridad a cursos de agua. Esto quiere decir que es preferible que la EDAR se encuentre a una distancia razonablemente segura de áreas que se pueden ver contaminadas por el desbordamiento o por el fallo en algún proceso de la planta. Fuentes de agua potable como ríos, lagos o arroyos se deben de tener en consideración a la hora de la construcción de manera que el riesgo de contaminación por fallo de la planta sea mínimo. Esta distancia se debe tener en cuenta también en referencia a las áreas residenciales. En este caso la necesidad de una distancia de seguridad no se rige tanto por la posible contaminación del agua, si no por los posibles impactos negativos en la calidad de vida de las comunidades cercanas, teniendo en cuenta factores como el ruido o el olor que pueda desprender la estación.

- **Condiciones topográficas adecuadas:** la topografía del área es sin duda alguna el factor más importante de todos. Consiste en el conjunto de características que presenta la superficie o el relieve de un terreno, por lo que su análisis es crucial. El objetivo que se busca dentro de esta sección no es otro que conseguir a través de la gravedad generada por las pendientes, poder prescindir de sistemas de bombeo para llevar el agua a tratar hasta la planta y/o evacuar las aguas has el medio. Conseguir un óptimo funcionamiento de la estación sin la necesidad de recurrir a sistemas de bombeo reduce significativamente el coste de construcción y los costes de operación y mantenimiento. Es por eso que se buscan pendientes naturales lo más uniformes posibles para evitar estancamientos y se coloca la estación trabajando aguas abajo para poder funcionar exclusivamente con la gravedad. Como último requisito se busca que la salida al efluente se encuentre también debajo de la estación para poder descargar el agua tratada con facilidad.

- **Posibilidad de crecimiento:** de la misma manera que al realizar cualquier tipo de instalación de una planta de este estilo, es necesario tener en cuenta el posible crecimiento, debido tanto al aumento de la demanda como a la posibilidad de mejoras de la instalación que puedan ocupar un mayor terreno. Por eso se debe contar si es posible con cierta área adicional disponible para que sea posible llevar a cabo la construcción de nuevas instalaciones.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE

Las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) afectan de manera directa la calidad del agua de los ríos, lagos o arroyos. El correcto tratamiento de las aguas residuales resulta fundamental para poder ser posteriormente vertidas a estas fuentes de agua potable. Como ya se ha explicado anteriormente, el mal tratamiento de las aguas residuales no solo puede ser perjudicial para la salud humana sino también para los ecosistemas acuáticos. La contaminación de nutrientes, la presencia de sustancias tóxicas y de bacterias son algunas de las problemáticas principales.

Existen muchos tipos de aguas contaminadas, pero por lo general se estudian tres tipos concretos que son las aguas superficiales, las aguas subterráneas y las aguas de contaminación particular, que incluye contaminación por metales, por pesticidas y la eutrofización.

La contaminación de las aguas superficiales es la más común, ya que están muy expuestas a cualquier tipo de contaminación. A pesar de esto son las más reconocibles por lo que se considera una contaminación sencilla de controlar. Por lo general trata de ríos, es decir que tienen un flujo de agua rápido y la contaminación se dispersa rápidamente. La principal fuente de contaminación de las aguas superficiales como ríos o arroyos no es otra que el vertido de distintos contaminantes. Existe una distinción en función del destino del vertido y de la procedencia del mismo. Se trata de vertidos directos, donde la descarga del elemento, sustancia o recurso se descarga de manera directa en un punto fijo y al recurso hídrico. Por el contrario, los vertidos indirectos son los que por lo general se dan en las aguas superficiales a través de la recogida de aguas residuales, aguas pluviales o a través de algún medio de desagüe.

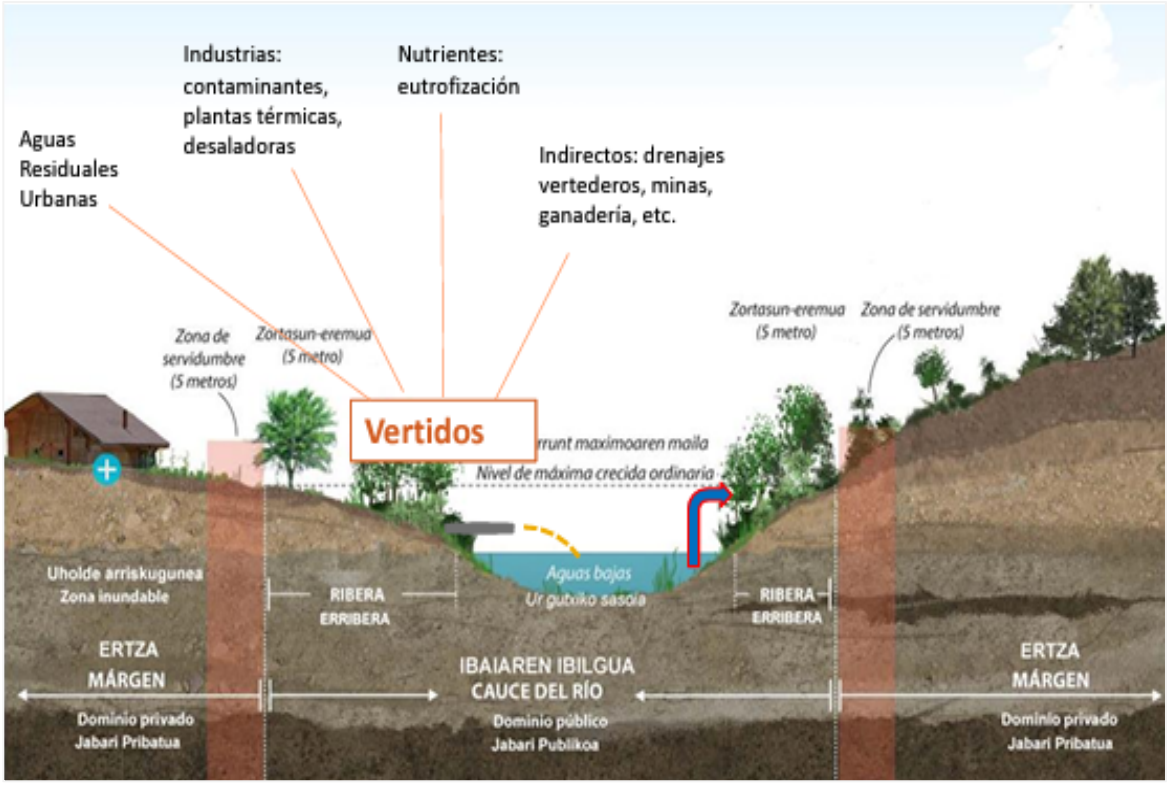


Figura 1. Vertido del agua.

Fuente: Presentación 2.2 "Contaminación y calidad". Ingeniería Medioambiental ICAI.

La contaminación en las aguas subterráneas funciona de otra manera ya que al contrario que las superficiales circulan bajo tierra y son difíciles de controlar. Por lo general derivan del agua procedente de la lluvia. También resulta ser un flujo de agua bastante lento en comparación con los ríos, es un agua por lo general protegida de contaminantes externos pero con poca oxigenación, agua bastante turbia y con presencia de una cantidad elevada de minerales.

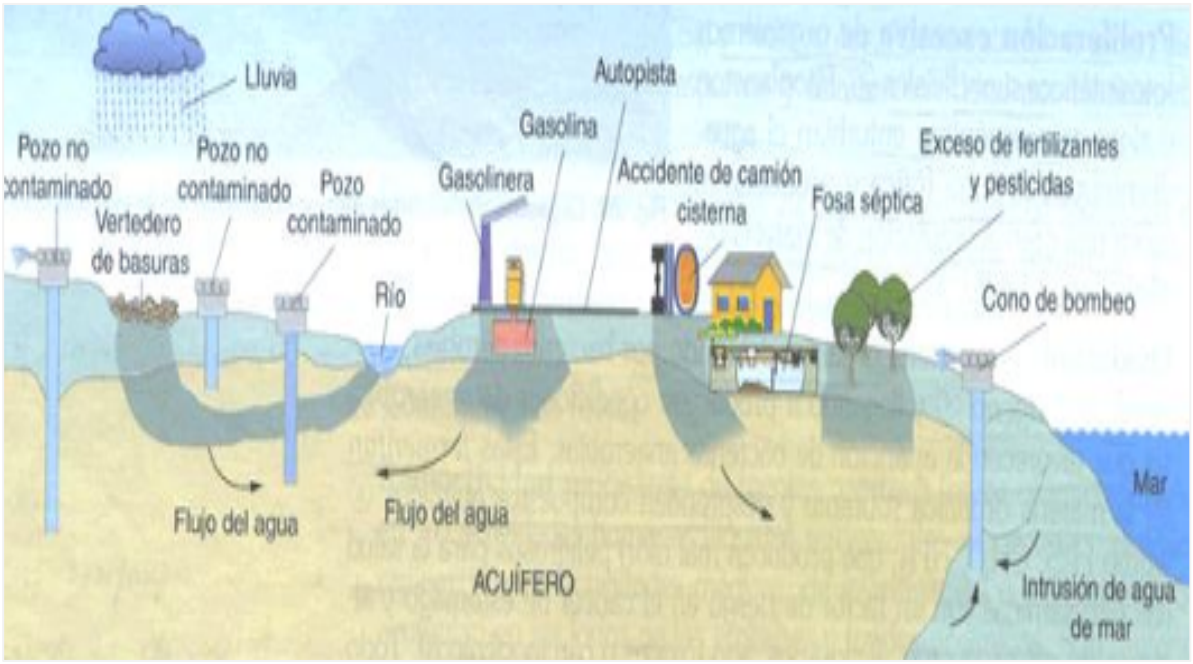


Figura 2. Contaminación subterránea.

Fuente: http://biologiaygeologia.org/unidadbio/a_ctma/hidrosfera/contaminasubterranea.html

En cuanto a las aguas con una contaminación particular, se pueden destacar los metales pesados y los pesticidas, acompañado de la eutrofización producida por una mala depuración del agua residual. El gran problema acerca de los metales pesados es la imposibilidad de su degradación en la naturaleza y el nivel de toxicidad que presentan. Son insolubles y precipitan a fondo asociándose con los sedimentos. A la hora de estudiar el mayor o menor peligro que pueda aportar cada metal, se distinguen en función de su nivel de DL50, es decir, de su grado de toxicidad.

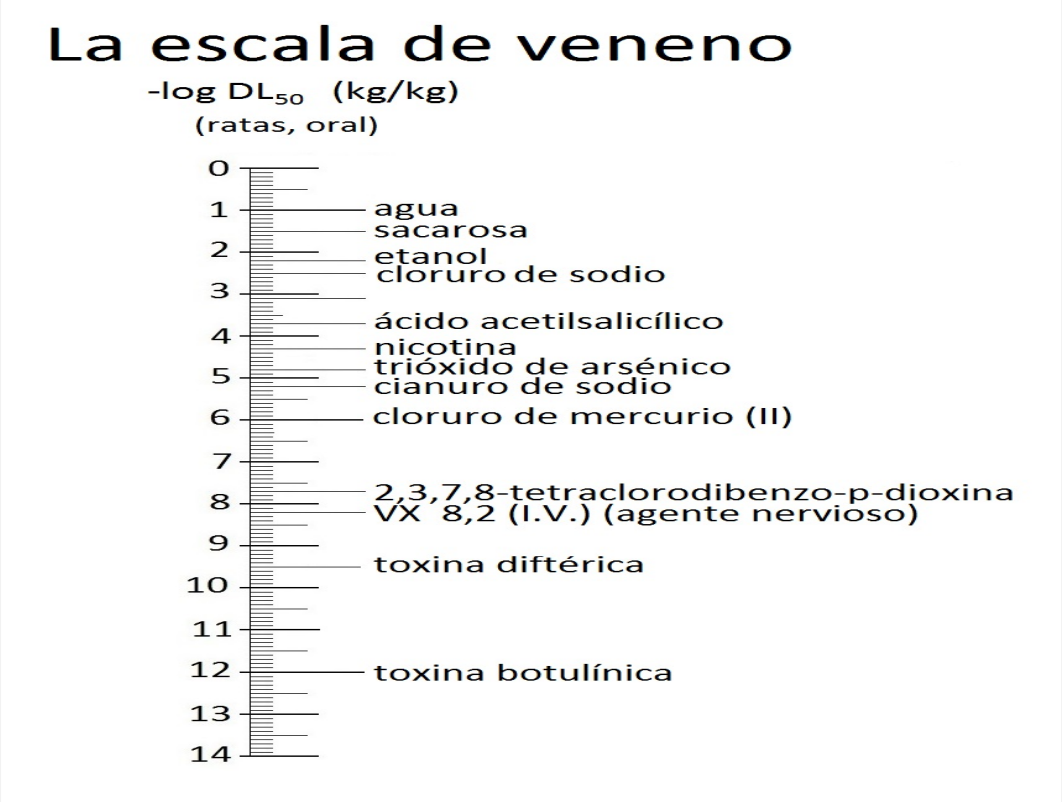


Figura 3. Escala de veneno.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Escala_de_veneno.jpg

Por otro lado, la eutrofización resulta un problema de alta gravedad en cuanto a la contaminación hídrica, ya que no solo afecta a la salud humana si no que sobre todo a los ecosistemas acuáticos. La mayor causa de que se produzca la eutrofización resulta una vez más del vertido de materiales. Procedente de la agricultura se descarga una gran cantidad de fertilizantes nitrogenados con el fin de mejorar el abono de cultivos, sin embargo estos pesticidas se filtran en la tierra consiguiente llegar tanto a las aguas superficiales de los ríos como a las aguas subterráneas. La ganadería sin un control adecuado también puede resultar en un peligro para este tipo de contaminación ya que los excrementos de los animales tienen un alto valor nutritivo, sobre todo de nitrógeno que facilita la eutrofización. Como para cualquier tipo de contaminación la actividad industrial y los residuos urbanos tienen una presencia y un impacto importante, principalmente con la aportación de fosfatos. La mala depuración de un agua residual es la principal causa de eutrofización. Todos estos

contaminantes producen un aumento significativo de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo en las diferentes aguas, consiguiendo que las algas, plantas acuáticas y demás organismos crezcan de manera desproporcionada. Durante su proceso de crecimiento se consume una cantidad de oxígeno de tales magnitudes que afecta a la calidad de las aguas, agotándolo y perjudicando los ecosistemas acuáticos. En cuanto a su efecto ecológico, las algas comienzan poco a poco a cubrir toda la superficie enturbiando el agua e impidiendo la penetración de luz solar que provoca la muerte de la vegetación presente. A su vez, tiene un efecto en el hombre, ya que puede afectar de manera indirecta si nos referimos a la pesca o a zonas de baño. La eutrofización dificulta mucho la filtración del agua y facilita la aparición de bacterias y hongos en tuberías. Los embalses con mayor eutrofización se encuentran en los tramos bajos de los ríos, posteriores al paso por áreas urbanas. Casi el 50% de estos recursos se encuentran en España en estado de eutrofización. A pesar de esta cifra, cabe destacar que solamente el 14% está destinado al abastecimiento.

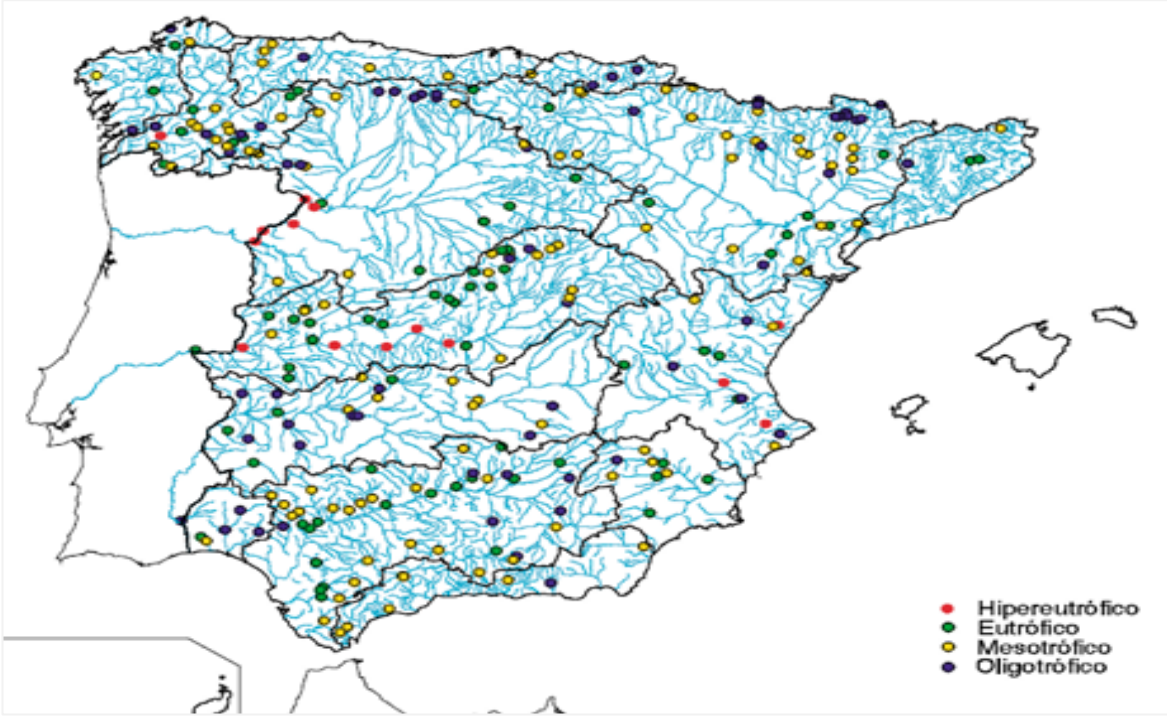


Figura 4. Contaminación mapa de España.

Fuente: Libro Blanco del agua.

La manera de poder detectar la contaminación del agua no es otra que comprobar los parámetros indicadores de carácter físico, químico y microbiológico.

Dentro de los parámetros de carácter físico muchas veces se pueden detectar a simple vista, simplemente teniendo en cuenta el color y el olor del agua. Por lo general se revisa la turbidez observando la materia en suspensión, la temperatura y la conductividad.

Los parámetros de carácter químico son los que más se estudian y están formados por la comprobación y regulación del nivel de pH, que indica la acidez y alcalinidad, la cantidad de oxígeno disuelto, medidores de materia orgánica (DBO5 y DQO) y medidores de materia inorgánica. También resulta de gran interés comprobar los niveles de salinidad y dureza del agua.

Por otro lado, los parámetros de carácter biológico abordan todo lo relacionado con bacterias, virus, hongos y algas.

Para conocer de manera correcta los parámetros y estándares de agua regidos por la normativa de calidad de agua, es necesario conocer el ciclo completo que realiza el agua.

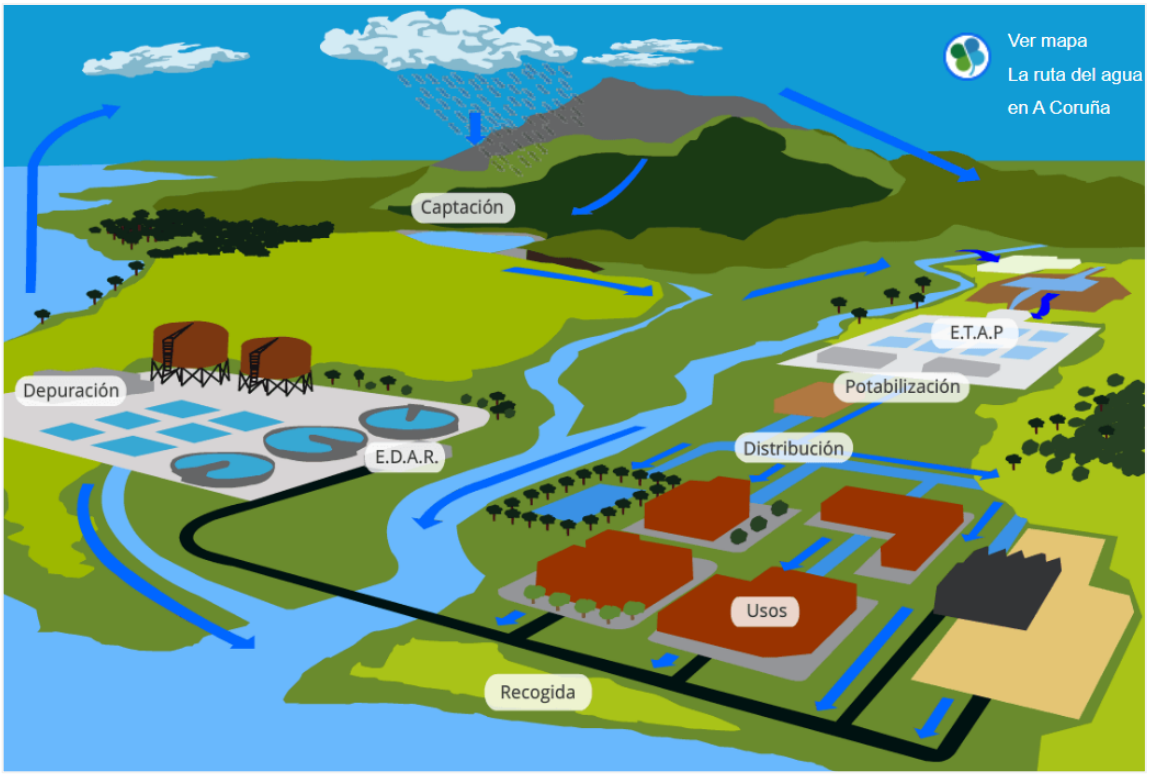


Figura 5. Ruta del agua.

Fuente: https://edarbens.es/el-ciclo-del-agua/

El ciclo completo que realiza el agua se ve representado de manera muy clara en la *Figura 5*. Primero de todo se capta agua del medio natural y se ponen en práctica los criterios de calidad del agua para saber si será posible su tratamiento. Todo esto se lleva a cabo en la Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) donde el objetivo es conocer si el agua captada cumple los requisitos necesarios para poder ser tratada y potabilizada. Existen tres categorías de agua bruta que son A1, A2 y A3. De las tres la A1 es la de mejor calidad y necesitará un número de procesos menor que la A3. Una vez llevado a cabo la potabilización, el agua tratada se distribuye por la población o zona urbana correspondiente para uso cotidiano de los habitantes. El ciclo continúa a través de las aguas residuales. Todo el agua residual vertida en la zona habitada se dirige directamente a la EDAR para llevar a cabo el proceso de depuración y posteriormente verter al cauce receptor. Ya que este es el proceso que se estudiará, es de conveniencia indagar un poco en los estándares de contaminación permitidos para poder desprender el agua de la planta sin riesgo de contaminación.

Como se ha mencionado anteriormente, existen dos tipos de aguas residuales: agua residual urbana y agua residual industrial. La urbana deriva de núcleos de población y está formada por aguas negras o fecales, aguas de lavado doméstico o incluso aguas pluviales mientras que el agua residual industrial procede de distintos procesos de producción y de fábricas, conteniendo contaminante específicos de cada industria y siendo un agua más compleja de tratar.

Durante un proceso de depuración se busca reducir los siguientes componentes del agua: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales en suspensión, nitrógeno y fósforo, organismos patógenos y otros contaminantes como metales pesados.

En la *Tabla 1* se recogen las características medias del agua residual urbana en España. Conviene conocer de manera precisa estos valores para utilizar los procesos necesarios y poder realizar la depuración de manera correcta y segura.

Parámetro	Unidad	Valor	Parámetro	Unidad	Bruta
Temperatura	ºC	24,5	Cianuros	mg/L	< 0,002
pH	u. de pH	6,8	Fenoles	mg/L	< 5
Condutividad	µs/cm	950	Hierro	mg/L	1,204
O_2 disuelto	mg/L	1,0	Manganeso	mg/L	0,302
Sól. sed.	mg/L	14	Arsénico	mg/L	0,007
Sól. susp.	mg/L	409	Plomo	mg/L	0,079
Sól. dis.	mg/L	450	Selenio	mg/L	< 0,010
Sól. dis. volát.	mg/L	196	Cobre	mg/L	0,200
DQO	mg/L	700	Zinc	mg/L	0,110
DBO_5	mg/L	400	Níquel	mg/L	0,006
Amoníaco	mg/L	46,5	Cadmio	mg/L	< 0,001
Nitratos	mg/L	< 5	Mercurio	mg/L	0,051
N-Kjeldahl	mg/L	61,6	Cromo total	mg/L	0,012
Fósforo total	mg/L	2,9	Coliformes totales	col/1 mL	$2,0 \times 10^8$
Detergentes	mg/L	15	Coliformes fecales	col/1 mL	$1,0 \times 10^6$
Aceites-grasas	mg/L	109	Dureza ($CaCO_3$)	mg/L	162
Cloruros	mg/L	114	Fluoruros	mg/L	0,139
Sulfatos	mg/L	93	-	.	-

Tabla 1. Características medias del agua.

A continuación, se muestra en la *Tabla 2* los estándares de calidad del efluente. Esta calidad es la exigida a los efluentes depurados: Dir. 91/271/CEE transpuesta por R.D. Ley 11/1995. Las normas aplicables al tratamiento de estas aguas residuales vienen desarrolladas por el Real Decreto 509/1996.

Zona de Vertido	Tratamiento Necesario	Parámetro (VLE)	[mg/l]	[% reducción]
Normal	Secundario	DBO_5	25	70-90
		DQO	125	75
		SS	35	90
SENSIBLE (eutróficos+agua superficiales prepotables)	Eliminación de nutrientes	P	1 – 2	80
		N	10 - 15	70-80

Tabla 2. Estándares de calidad.

2.3 PROCESOS DE TRATAMIENTO

En esta sección del segundo capítulo se proporcionará la explicación y descripción de cada uno de los distintos procesos de tratamiento presentes en una EDAR, indagando en concreto, en los procesos presentes en la planta a estudiar.

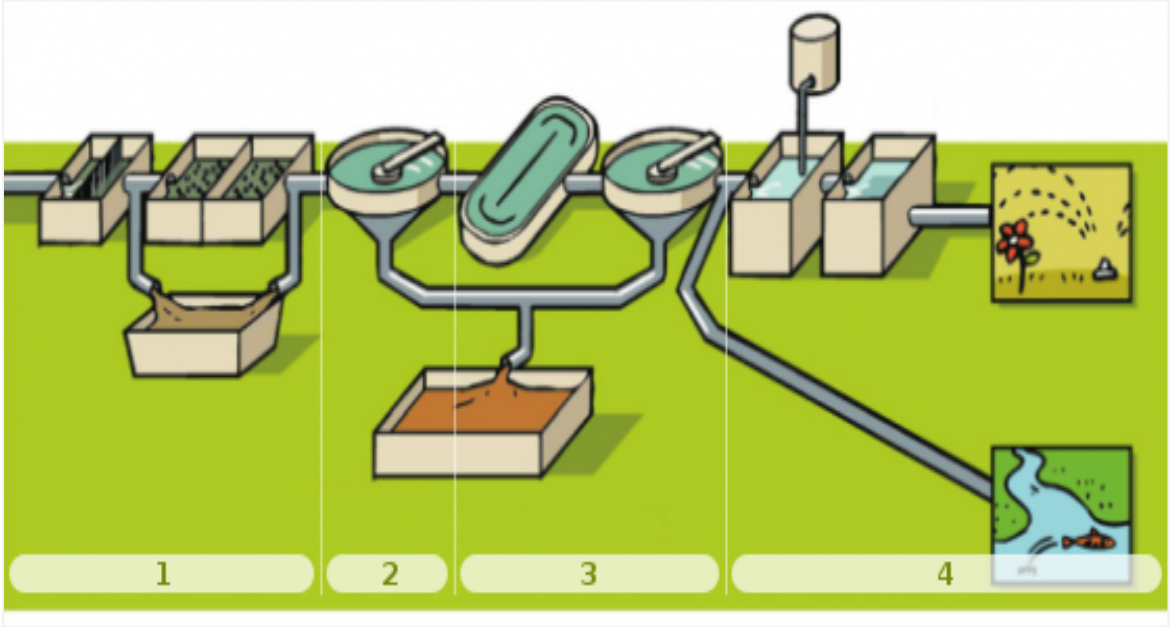


Figura 6. Esquema EDAR.

Fuente: http://www.depuradores.ad/es/contingut-3/-como-se-depura-el-agua.html

La *Figura 6* representa la simplificación de una planta depuradora de aguas residuales donde se pueden apreciar los cuatro tratamientos principales que son el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario:

1. Pretratamiento: tratamiento físico o químico cuya finalidad es eliminar materias gruesas, arenas y flotantes que puedan afectar a procesos posteriores.
2. Tratamiento primario: tratamiento físico o fisicoquímico en el cual el objetivo es la eliminación de los sólidos en suspensión.
3. Tratamiento secundario: tratamiento biológico o químico que tiene como fin reducir la materia orgánica presente en las aguas.
4. Tratamiento terciario o avanzado: tratamiento físico y/o químico y/o biológico que reduce la carga contaminante presente en el agua para poder ser reutilizada o devuelta al cauce natural.

Sin embargo, cada uno de estos procesos está formado por distintos procesos con distintas funciones cada uno:

Pretratamiento

Este tratamiento es común en todos los tratamientos de agua ya sea depuración, potabilización o incluso desalación. Esta parte de la estación no tiene ningún tipo de incidencia sobre el nivel de contaminación del agua que llega, sino que es independiente a ella. El principal objetivo del pretratamiento es acondicionar las aguas y proteger la instalación de fragmentos gruesos que puedan causar algún tipo de avería en la planta, preparándola para su posterior tratamiento. Los fragmentos gruesos aparecen en consecuencia de la presencia de residuos sólidos, arenas, grasas y sobrenadantes.

El pretratamiento a su vez está dividido en varias fases. Una vez el agua residual llega a la estación a través de la obra civil de entrada, comienzan las diferentes fases.

Inicialmente, el agua llega al pozo de gruesos, el cual está incorporado con una cuchara bivalva que se utiliza para la eliminación de sólidos muy grandes, normalmente que llegan hasta el fondo del mismo. A continuación, el agua bruta es elevada mediante un sistema de

bombeo a la fase de desbaste y tamizado, que se trata de una operación del tipo físico – mecánica. Lo que se busca en el desbaste y en el tamizado es eliminar de manera parcial sustancias orgánicas sedimentables. Separan materiales o sustancias que debido a su naturaleza o tamaño aumentan el riesgo de daño en los equipos y una disminución de la eficacia de las posteriores fases y tratamientos. Retienen parte tanto de los sólidos gruesos no sedimentables como trapos o plástico como sólidos gruesos sedimentables como la grava o la arena. Posteriormente el agua llega al proceso de desengrasado, donde como su nombre indica se encarga de la separación de grasas, aceites y espumas. Las grasas suponen muchos problemas en la técnica de depuración, en las rejas por ejemplo producen obstrucción aumentando los gastos de conservación. Lo mismo sucede con los decantadores ya que se forma una capa superficial que hace que la sedimentación sea complicada al atraer pequeñas partículas de materia orgánica. Además, las grasas incrementan en un 30% la DQO (Demanda Química de Oxígeno). Generalmente la fase de desengrasado viene acompañada de una fase de desarenado. Para finalizar el pretratamiento se pone en uso una homogeneización del caudal, normalmente en una arqueta de reparto con un medidor de caudal incorporado. Por lo general suele ser necesario cuando el cociente entre el caudal punta y el caudal medio se mayor de 2. En esta fase también se produce un equilibrado de pH entre 6,5 y 8,5 acompañado de un equilibrado de nutrientes. Lo que se busca es conseguir un flujo lo más uniforme posible tanto en caudal como en composición.

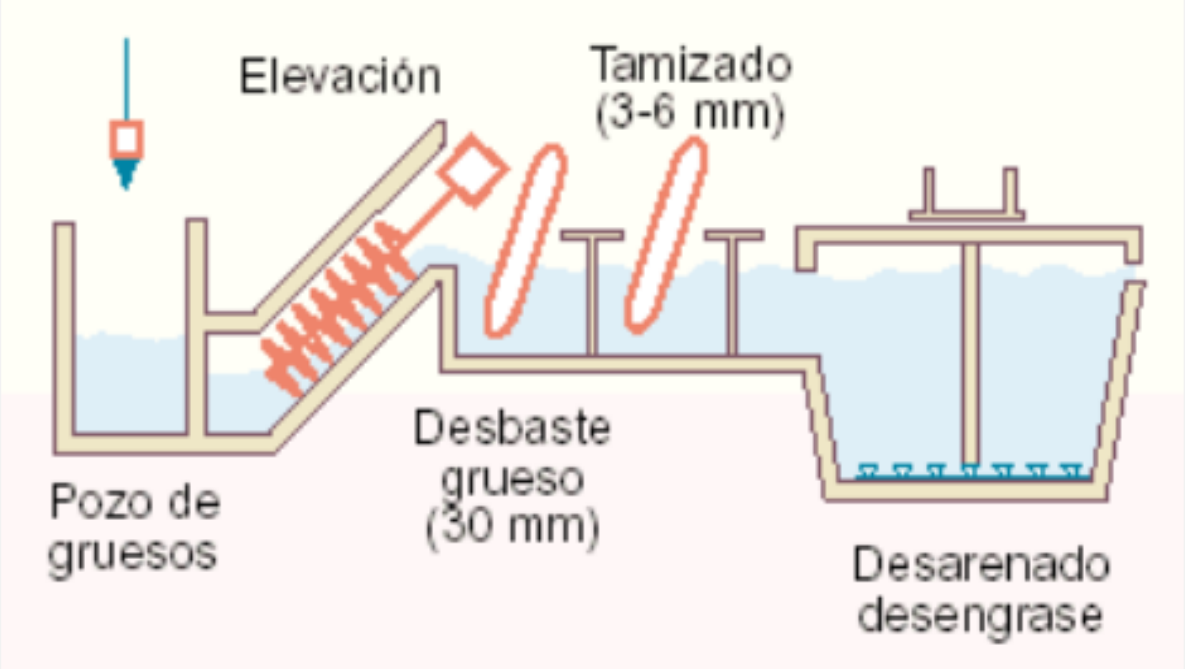


Figura 7. Proceso de pretratamiento.

Fuente: https://blog.uchceu.es/enfermeria/gestion-agua-residual-salud-publica/

Tratamiento primario

Para este primer tratamiento se debe de tener en cuenta que también realiza una gran labor en cuanto a los elementos presentes en el agua que pueden perjudicar algún tratamiento posterior. El objetivo fundamental es la eliminación de sólidos en suspensión e incluso algo de materia orgánica por impregnación. La fase fundamental de este tratamiento es la de la decantación primaria. Se trata de un proceso físico que funciona a través de la suspensión por gravedad, es decir, que la decantación provoca que las partículas que posean una densidad mayor a la del agua sedimentan en el fondo mientras que el agua aparece en la parte superior del mismo liberado ya de partículas sólidas. Debido a la presencia de materiales en suspensión es necesario reducir la velocidad del agua para conseguir que las partículas sedimenten en los decantadores. Se trata de un depósito con sección circular (también puede ser de sección rectangular) cuyo fondo está inclinado para facilitar la extracción de fangos y sedimentos. Los fangos son llevados por la línea de fangos y posteriormente tratados para reducir su contenido en agua y en patógenos, normalmente para

la producción de biogás. Los decantadores poseen unas rejas que giran alrededor de su eje provocando una fuerza horizontal debido al movimiento del agua mientras que la fuerza vertical que origina la sedimentación es producida por la gravedad. El tiempo medio de retención es de aproximadamente dos horas.

En algunas estaciones (no es el caso de la que se va a estudiar) se realiza un tratamiento primario mejorado químicamente llamado CFD, que hace referencia a coagulación, floculación y decantación. En repetidas ocasiones la materia que aparece en suspensión dentro del agua resulta ser de un tamaño muy pequeño y de una velocidad de sedimentación demasiado lenta por lo que generarían un gasto energético innecesario. Una solución a este problema es recurrir a la coagulación y floculación. Consiste en suministrar al agua reactivos químicos que desestabilicen la suspensión coloidal. Generalmente se introducen coagulantes que tengan una carga eléctrica contraria, como suele ser el caso del Fe^{3+} y el Al^{3+}.

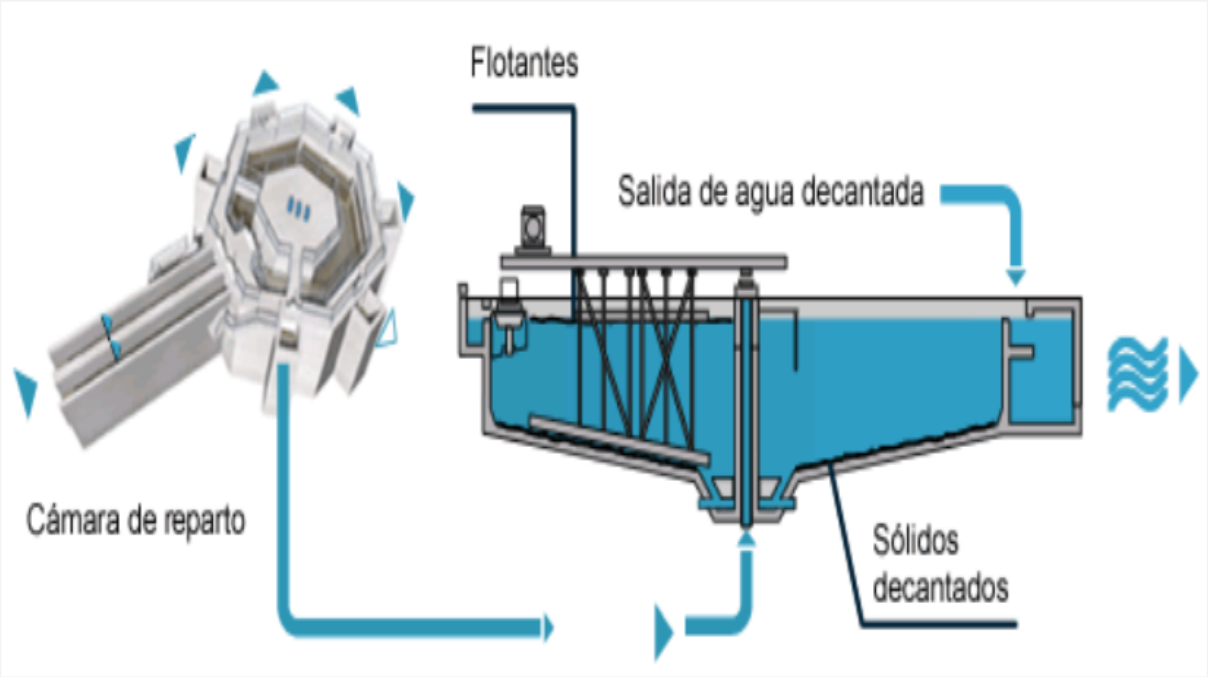


Figura 8. Tratamiento primario.

Fuente: Consorcio de Aguas.

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario consiste en un tratamiento biológico cuyo fin es reducir la materia orgánica presente en el agua, más concretamente la reducción de DBO_5 y DQO. Para poder alcanzar este objetivo se realizan tres pasos fundamentales que son transformar los componentes biodegradables en productos que cumplan con los estándares aceptables, atrapar e incluir partículas coloidales no sedimentables en una capa biológica (también llamada biopelícula) y eliminar o reducir la cantidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo para prevenir la eutrofización. Además de esto, el tratamiento secundario proporciona un agua depurada más clarificada, es decir, bien oxigenada y con una cantidad menor de patógenos. El lugar donde se realiza la degradación de la materia orgánica gracias a las bacterias es en un reactor biológico. Las condiciones se mantienen adecuadas y bajo control para asegurarse de la supervivencia de las bacterias.

Existen diferentes tipos de procesos biológicos que se pueden clasificar en función de la forma a estar de la biomasa o según el potencial de oxidación – reducción del medio. En esta última categoría se pueden diferenciar los tratamientos biológicos en aerobio, anóxico o anaerobio.

El tratamiento aerobio como su nombre indica, requiere de la presencia de oxígeno. Los microorganismos empleados para llevar a cabo la metabolización de la materia orgánica lo necesitan para conseguir una eficiencia mayor dentro del proceso de depuración. Dentro de los tratamientos aerobios destacan dos que son el tratamiento de fangos activos y el de lechos bacterianos. El método de fangos activos consiste en degradar la materia orgánica suspendida dentro del reactor. Resulta ser un proceso con costes de producción y explotación mayores. Para su correcto funcionamiento es necesario haber realizado un buen tratamiento primario de reducción de contaminantes. Las bacterias son capaces de generar un tejido celular nuevo, incorporando a su metabolismo la materia orgánica y conseguir de esta manera mantenerse con vida. Los productos más utilizados son el CO_2 , H_2O y microorganismos. Tras un tiempo de retención, el agua mezclada con microorganismos pasa a un decantador secundario para poder llevar a cabo la separación una vez más del líquido

con los sólidos. Por lo general el reactor biológico y el decantador secundario trabajan de manera independiente, sin embargo podría realizarse todo en un mismo equipo trabajando de manera alterna.

El otro método de lechos bacterianos se conoce también como filtro percolador. De la misma manera consiste en un tanque generalmente de geometría circular que forma un filtro con huecos voluminosos para facilitar la degradación biológica. El funcionamiento se basa en rociar por aspersión la capa de biopelícula formada por el lecho. Se requieren aberturas en la parte inferior para la entrada necesaria de oxígeno. Este método se utiliza cuando existen residuos de baja carga orgánica. Al contario que los fangos activos, genera una cantidad elevada de olor, tiene un coste más económico y consta de una comunidad microbiológica en los flóculos heterogénea.

Para finalizar el tratamiento secundario, se utiliza un decantador secundario que una vez más resulta ser un tanque cilíndrico cuya función es decantar la materia orgánica biodegradada anteriormente en el reactor y el espesamiento del fango en el fondo. El tiempo de funcionamiento es de aproximadamente dos horas.

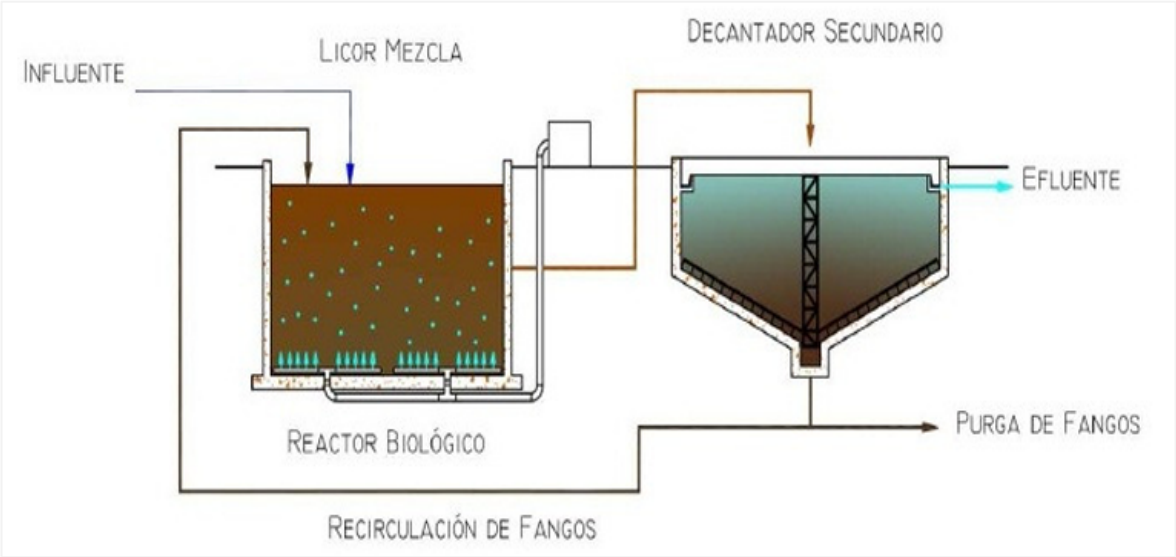


Figura 9. Tratamiento secundario.

Fuente: CEDEX 2014.

Tratamiento terciario

Este último tratamiento no es tan imprescindible. Se realiza cuando se necesitan menores concentraciones de DBO_5, de sólidos en suspensión, cuando existe presencia de compuestos tóxicos como metales pesados o cuando existen patógenos presentes. A su vez sirve para la reducción de nitrógeno y fósforo. En función de lo que se necesite eliminar se aplicará un tipo de tratamiento diferente.

Para la eliminación de nitrógeno se utiliza una técnica llamada nitrificación-desnitrificación. Primero se realiza la nitrificación en condiciones aerobias, transformando el oxígeno amoniacal en nitratos. A continuación se aplica la desnitrificación que es cuando el nitrógeno de nitratos se convierte a nitrógeno gas. Para esta parte se realiza en ausencia de oxígeno, es decir, en condiciones anóxicas. Generalmente se integra en el proceso de fangos activos del tratamiento secundario.

Para la eliminación de exceso de fósforo se utiliza la precipitación química. El fósforo se suele encontrar en detergentes, fertilizantes o residuos humanos, por lo que debe tratarse con cautela. En la precipitación química se añaden sales de $FeCl_3$ con el fin de precipitar los fosfatos. Este proceso se suele colocar después del tratamiento secundario y antes de una decantación final.

En cuanto a la presencia de patógenos, siempre se eliminan a través de un proceso de desinfección.

En la *Tabla 3* a continuación viene representado el porcentaje de reducción que requiere cada tratamiento para combatir los distintos contaminantes del agua bruta.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO	PORCENTAJES DE REDUCCIÓN SEGÚN DIFERENTES AUTORES [ARU]									
	DBO_5	DQO	SS	SOLIDOS DISOL.	DETER-GENTES	METAL	FOSFAT.	N TOTAL	BAC-TERIAS	VIRUS
Pretratamiento	5	-	5	0	-	0	0	0	0	0
Sedim. primaria	30	-	50	0	-	20	10	0	50	10
Trat. anaerobio	70-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lechos bacteroianos	70-75	-	70-75	-	-	-	-	-	75	-
Coagul. química	75	-	90	0	-	50	90	0	60	90
Biodiscos	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tratamiento Biológico FA	70-93	-	90	0	-	50	25	30	80	75
Lagunaje	80	50	90	0	-	10	10	0	95	70
Intercambio iónico	60	-	0	85	-	90	98	80	0	0
Filtración	--	--	90	--	--	--	--	--	95-99	95-99
Adsorción C.A.	96	-	96	40	-	10	10	10	60	35
Desinfección	0	-	0	0	-	0	0	0	99	99

Tabla 3. Porcentajes de reducción.

2.4 PARTES DE LA EDAR

Una vez explicadas las características y el funcionamiento de una EDAR, en esta sección se explicarán y detallarán de manera concreta las partes que forman la planta a estudiar, indicando las dimensiones y los valores que vayan a ser necesarios para el posterior cálculo hidráulico.

La depuradora a estudiar no es diferente de las estaciones habituales, cuenta con un pretratamiento y con tratamientos primario, secundario y terciario. Los cálculos hidráulicos se realizarán para el caso del caudal nominal Q = 25 m^3/h, de manera que se recogerán a continuación las dimensiones de cada uno de los procesos necesarios para llevarlos a cabo:

Conducción de derivación hasta obra de llegada

Actualmente el caudal de aguas residuales es conducido hasta la EDAR a través de un colector de diámetro nominal 600 mm. El agua entra desde el colector a la arqueta de entrada, donde aparece situado un aliviadero que permite evacuar las aguas que no entran en la planta. La tubería se modela con una sección de 0,28 m^2 y una longitud de 22,8 m. Para la representación en Allievi se deberá tener en cuenta tanto el caudal que pasa por el conducto como la diferencia de cotas entre la entrada y salida del mismo. Para el caudal se utilizará el comando Ley del programa que permite fijar el caudal que atraviesa un nudo. En este caso el caudal utilizado será el nominal de 25 m^3/h igual a 0,007 m^3/s. En cuanto a las cotas, el inicio del conducto marca una cota de solera de 495,573 m y un nivel de agua de 495,619 m para dicho caudal. La salida marca una cota de solera de 495,354 m y un nivel de agua de 495,4 m.

Pozo de gruesos

El agua que atraviesa el conducto de llegada recala en el pozo de gruesos. En la estación existe la presencia de dos pozos de gruesos, sin embargo solo uno de ellos está en funcionamiento para el caso nominal. En el caso de máximo caudal (187,5 m^3/h) sería necesaria la utilización del segundo pozo de gruesos adicional. Como se ha comentado anteriormente el pozo de gruesos se utiliza para la recogida de elementos muy grandes durante el pretratamiento. Para llevar a cabo esta función, el pozo está dotado de una cuchara bivalva de 100 litros de capacidad que recoge los residuos. Los datos requeridos para el modelado de la planta en el software de cálculos hidráulicos solamente son las cotas de agua y de solera junto con el volumen del pozo. La cota de solera desciende hasta los 493,45 m mientras que la cota de agua llega a 494,691 m. En cuanto al volumen del pozo, se conocen las dimensiones del ancho y largo del pozo, ambas 1,5 m. De estos datos se puede llegar a la conclusión de que con un área de superficie de 1,5x1,5 y una altura de agua de 1,24 m el volumen de agua en el pozo de gruesos es de 2,79 m^3.

Canal de rejas de gruesos

A la hora de unir el depósito del pozo de gruesos con el pozo de bombeo, se hace mediante el uso de un canal. En este canal están presentes ciertas rejas que ocupan todo el ancho del mismo de 0,9 m. Cada reja mide 8 mm con una distancia entre cada una de 25 mm, datos que no son necesarios para Allievi. Lo necesario acerca del canal es conocer el ancho y el largo, medidas que son 0,9 m de ancho y 1,5 metros de largo generando una sección de paso de 0,27 m^2. La diferencia de cotas entre el pozo de gruesos y el pozo de bombeo es de un valor pequeño, pasando de 494,691 m de agua del pozo de gruesos a 494,689 m del pozo de bombeo. Una diferencia de cota de aguas de 2 mm prácticamente despreciable.

Pozo de bombeo

El agua procedente del pozo de gruesos llega al pozo de bombeo gracias al efecto de la gravedad producido en el canal de rejas. La cota de agua de llegada al pozo de bombeo es el comentado anteriormente de 494,689 m. La distancia hasta la solera del pozo es mayor que en el pozo de gruesos, disminuyendo la cota hasta los 493,19 m. El volumen del pozo es de aproximadamente 12 m^3, sin embargo a la hora de diseñarlo en el software no será necesario tenerlo en cuenta ya que no existe la posibilidad de representar bombas dentro de un depósito.

Las bombas que posteriormente transportarán el agua al tratamiento primario de tamizado se encuentran en el fondo del pozo, de modo que en ningún momento se encuentren sin agua. La estación consta de cinco bombas. Dos primeras bombas de un caudal mayor de 62,5 m^3/h y otras tres de caudal menos de 25 m^3/h. A pesar de la presencia de cinco bombas, para el caso de estudio que es el de caudal nominal igual a 25 m^3/h, solamente una de ellas se encuentra en funcionamiento. El caudal máximo que puede llegar a la estación es 187,5 m^3/h, siendo 200 m^3/h el máximo caudal que la planta es capaz de bombear. Por lo tanto si la estación se encontrase en situación de caudal máximo será necesario la utilización de las cinco bombas de manera simultánea. Cada bomba posee una tubería propia de conducción

de salida que finalmente descargan al tamizado. Para poder llevar a cabo esta representación dentro de Allievi, se ha realizado un sistema de bombeo en el que las cinco tuberías convergen en dos válvulas que se pueden abrir o cerrar en función del caudal que sea necesario.

Conducción salida pretratamiento

Para conectar el pretratamiento con el tratamiento primario es necesario del uso de las bombas anteriormente explicadas. La necesidad del bombeo viene dada por la situación geográfica de la planta depuradora, ya que la cota del colector de entrada es inferior a la cota del punto de distribución al arroyo. La información proporcionada de la planta especifica la existencia de 5 colectores individuales, uno para cada bomba de diámetro nominal 80 mm. Cada tubería representa un caudal de 25 m^3/h que es vertido al canal de recepción del tamizado a una cota de 502,56 m. La longitud de estas tuberías representa la distancia que existe entre la solera del pozo de bombeo y la cota de agua del canal de tamizado. Esta longitud de tubería resulta en 9,37 m con una pérdida de carga de 0,796 m. Debido a la capacidad de representación del software, se diseñará un modelo equivalente dotado de dos válvulas que permiten conectar las cinco tuberías y dejar pasar más o menos caudal en función del que entre a la estación con el objetivo de poder ser representado en Allievi.

Canal de recepción de agua bruta

El agua del pretratamiento alcanza la zona del tratamiento primario gracias a las cinco bombas disponibles y llega a un canal de recepción que conecta este sistema de tuberías con el tamizado y posteriormente con el desarenado y desengrasado. Consiste en un canal de recogida de 2,5 m de largo y con un ancho de 0,5 m. La cota de llegada no es la de 502,26 m que representan el final de los colectores individuales si no el nivel de agua al que llega al salir de estos. Por lo tanto la cota de solera del canal es de 501,553 m con una cota de agua que pasa de 501,79 m a 501,74 m.

Canal de tamizado

A continuación del canal de recepción aparece el canal de tamizado donde vienen incorporadas unas barras que facilitan la funcionalidad de esta etapa, sin embargo este dato no resulta relevante a la hora de representar la planta ya que no altera el funcionamiento de canal. Resulta un canal más corto que el anterior, de 1,5 m que cuenta con un ancho mayor de 0,6 m. Este canal de tamizado aparece junto a otro canal en desuso, solo necesitado en el caso de que el caudal sea cercano al máximo para evitar posibles desbordamientos y pérdidas de agua. La cota de solera sufre una caída en comparación al canal de recepción disminuyendo hasta los 501,303 m. A pesar de este desprendimiento de la solera de los canales, el nivel de agua se mantiene constante con una cota de 501,74 m.

Desarenado – Desengrasado

El proceso de desarenado y desengrasado se modelará como un depósito de 60 m^2 de superficie. La diferencia entre la cota de entrada y salida es bastante considerable teniendo en cuenta que el agua abandona este tanque a través de una tubería de la que se hablará más delante de diámetro nominal 300 mm. La cota inicial de agua en el tanque es de 510 m aproximadamente.

La cota de la tubería de salida se encuentra en 501,286 m va dirigida a una arqueta de reparto destinada a regular el caudal.

Regulación de caudal a tratamiento biológico

Esta arqueta de reparto de caudal resulta fundamental para los casos en los que el caudal se excede del máximo. Una vez sobrepasado el límite de caudal que puede ser bombeado desde el pozo de bombeo, una tubería de sección 0,07 m^3/h conduce el agua sobrante hacia una

arqueta de reparto que se junta con el caudal proveniente del desarenado y desengrasado en los reactores biológicos.

Conducción alimentación reactores biológicos

Desde la arqueta de regulación de caudal, aparecen dos conductos de longitud 26 m en dirección a los reactores biológicos. Estas tuberías poseen un diámetro nominal de 150 mm y la diferencia de cotas pasa de 500,899 m a 500,822 m desde la arqueta hasta el reactor biológico. La arqueta tiene una superficie pequeña de solo 4 m^2. Su nivel de agua inicial es de 501,294 m.

Reactores biológicos

Cada tubería de conducción de diámetro nominal 150 mm llega a cada uno de los reactores biológicos a una cota de solera de 500,59 m. Los dos se encuentran en funcionamiento y su cota de agua es de 504 m. El volumen unitario de cada reactor es de 589,87 m^3 y puede modelarse como la suma de los dos de 1180 m^3 con dos salidas diferentes. Para el presente proyecto se diseñarán dos depósitos de 150 m^2 de superficie cada uno.

Una vez finalizado el tratamiento producido en el reactor biológico, salen dos tuberías y el caudal se divide a una cota de 500,59 m.

Conducción de alimentación a decantadores

A continuación de los reactores biológicos, es necesaria una posterior decantación producida en los decantadores. Se dispone de dos decantadores iguales a los cuales el agua llega por dos tuberías diferentes. Ambas tuberías tienen las mismas dimensiones y ambas están en

uso. La longitud de estos conductos es de 22 m y tienen un diámetro nominal de 200 mm y una sección de 0,03 m^2. La carga hidráulica aproximada en cada uno es de 0,015 m.

Decantador

Se cuenta con dos decantadores de volumen alrededor de 1000 m^3 cada uno. El agua llega desde el reactor biológico gracias a las dos conducciones de diámetro 200 mm y longitud 22 m. De cada uno de los depósitos sale un conducto cerrado de diámetro nominal 150 mm y de caudal 0,003 m^3/s. La longitud de cada una de estas tuberías es de 22,6 m y posteriormente se unificará este caudal regresando al anterior de 25 m^3/h. La superficie de los decantadores es de 38 m^2.

Arqueta de salida y medida de caudal

La unificación de caudales una vez más se producirá con la nueva tubería de diámetro nominal 300 mm y longitud 22,1 m. Es producida en una arqueta en la cual se medirá el caudal para comprobar el correcto funcionamiento de la planta. Las cotas son descendientes para conseguir que la planta funcione por acción de la gravedad y no sea necesario instalar ninguna otra zona de bombeo. Las cotas de entrada y salida de la arqueta de medida de caudal son de 499,476 m y 499,475 m respectivamente.

Cauce

Finalmente, el agua tratada es vertida al cauce natural a una cota de 497 m.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

España es un país con una alta dependencia energética del exterior. De hecho, esta dependencia es tal que apenas se produce un tercio de la energía final que se consume. Se está viviendo una crisis energética por la escasez de energía eléctrica, siendo a su vez el sexto país de la Unión Europea con mayor índice de consumo de energía eléctrica. Gran parte del problema es la ineficiencia del sistema eléctrico que existe.

Se recomienda que a la hora de realizar cualquier actividad ya sea industrial o cotidiana se procure minimizar el consumo energético para así además ahorrar en gastos. Es por eso que la correcta realización de unos cálculos hidráulicos junto con alguna otra medida puede ayudar considerablemente a este problema de energía.

3.1 CONSUMO ENERGÉTICO EN LAS EDAR

Como se ha comentado anteriormente, las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales consumen alrededor de 2000 Gwh al año. Este dato puede impactar ya que la EDAR a estudiar en este proyecto funciona prácticamente gracias a la gravedad. Sin embargo, el consumo energético ronda estas cifras debido a la presencia de estaciones de bombeo, reactores biológicos, etc.

Actualmente el coste del consumo energético de una depuradora se encuentra entre el 15% y 30% del total de la estación, siendo de esta manera el mayor gasto.

Con la finalidad de distinguir y estimar el consumo de energía de una EDAR, se realizará un estudio separando en los distintos procesos una vez más: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y decantación o tratamiento terciario.

A su vez, es necesario hablar del consumo dentro de la línea de fangos: espesamiento, deshidratación y digestión aerobia de fangos. En la siguiente tabla se puede observar una clasificación de los tratamientos a utilizar en función del número de habitantes existente.

Tamaño de municipio	Total	<101	101 - 500	501 - 1.000	1.001 - 2.000	2.001 - 3.000	3.001 - 5.000	5.001 - 10.000	10.001 - 20.000	20.001 - 30.000	30.001 - 50.000	50.001 - 100.000	100.001 - 500.000	>500.000
Línea de agua														
Desbaste		20%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Desarenado				100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Tratamiento primario														100%
Fosa séptica		40%												
Fosa séptica + filtro biológico		40%												
Compacto aeración extendida		20%	80%	85%										
Biodiscos			20%	15%										
Aireación extendida- Superficial					50%	50%	40%	30%	20%	20%	10%	10%		
Aireación extendida- Burbujas					50%	50%	60%	70%	80%	80%	90%	80%		
Fangos activos													90%	50%
Fangos activos + desnitrificación												10%	10%	50%
Agitación y retorno de fangos FA				85%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90%	90%	50%
Agitación y retorno de fangos desnitrificación												10%	10%	50%
Decantación					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Tratamiento terciario					1%	1%	2%	2%	2%	2%	5%	10%	10%	20%
Línea de fangos														
Espesador gravitacional			30%	100%	100%	100%	100%	100%	100%					
Espesador mecánico										100%	100%	100%	100%	100%
Eliminación directa (húmedo)		100%	100%	50%	50%	50%								
Deshidratación sacos filtrantes				50%	50%	50%								
Centrifugado							100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Digestión anaerobia y cogeneración													50%	50%

Tabla 4. Tratamiento frente a habitantes.

De esta forma, se puede llegar a la conclusión de que la EDAR objeto de estudio está formada por tres componentes energéticos importantes que son las bombas necesarias para el transporte de agua y fangos, los motores necesarios para accionar equipos mecánicos ya sea en la eliminación de gruesos o en el desengrasado. Por último, también resulta necesario remarcar la presencia de soplantes o aireadores dentro del tratamiento biológico.

Si se aumentase la exigencia de eliminación de nutrientes en instalaciones de mayor tamaño (de más de 100.000 habitantes estimados) el consumo energético se vería sometido a un salto provocado por la necesidad de incorporar nuevas unidades y líneas de flujo.
En cuanto a la línea de fangos, el consumo se debe principalmente a la presencia de equipos de deshidratación. Si hablamos de plantas de mayor tamaño apreciamos la inclusión de digestión de fangos.

En la siguiente gráfica se puede observar cuáles son de media los tratamientos que más potencia requieren para poder ser llevados a cabo.

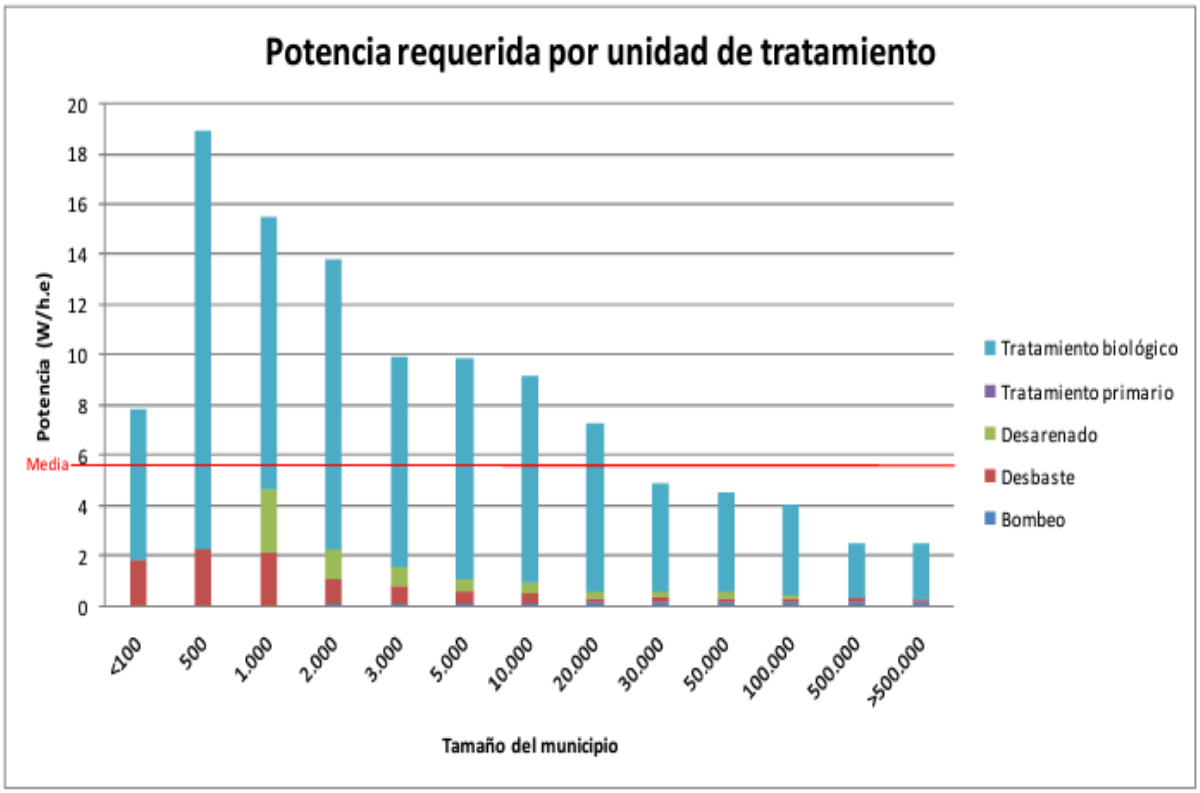


Figura 10. Potencia por tratamiento.
Fuente: Fundación canal 2017.

Como se ha comentado anteriormente, el consumo no solo depende del tamaño de la planta, si no sobre todo de la cantidad de agua que se vaya a tratar en función del número de habitantes, es decir, en función del tamaño del municipio.

Gracias a los datos informativos sobre la EDAR se conoce que el número de habitantes equivalentes del diseño es de aproximadamente 1.300 h.e., autorizando un caudal medio de aproximadamente 600 m^3/día.

Generalmente las depuradoras pequeñas cuentan con un consumo energético en la depuradora relativamente grande. Esto es debido a que se requiere un umbral de potencia

mínima (para motores y bombas) con el objetivo de que no se produzca ningún malfuncionamiento por culpa de algún posible atasco.

A pesar de todo esto, habitualmente, el diseño de una planta de este estilo busca principalmente llevar a cabo un buen proceso de ingeniería mecánica en cuanto a la robustez y a la durabilidad. La evaluación del coste beneficio pasa en este caso a un segundo plano.

A continuación, se mostrarán y analizarán algunos valores teóricos sobre la energía presente en la EDAR (información previa proporcionada).

DENOMINACIÓN	Uds. Instal.	Pot. Nom. Unit. (kW)	Pot. Instal. (kW)	Uds. En servicio	Pot. Máx. en servicio (kW)	Uds. techo futuro	Pot. techo futuro	SIMULTANEIDAD		
								Uds. en Simult.	Coef. De consumo simult.	Pot. Simult. en servicio (kW)
MOTOR PORTÓN ENTRADA PRINCIPAL PARCELA	1	0.75	0.75	1	0.75	1	0.75	1	0.85	0.64
COMPUERTA AISLAMIENTO EDAR	1	0.16	0.16	1	0.16	1	0.16	1	0.85	0.14
COMPUERTA AISLAMIENTO POZO GRUESOS	2	0.16	0.32	2	0.32	2	0.32	1	0.85	0.14
CUCHARA BIVALVA	1	3.00	3.00	1	3.00	1	3.00	1	0.85	2.55
PUENTE GRÚA VERTICAL	1	3.50	3.50	1	3.50	1	3.50	1	0.85	2.98
PUENTE GRÚA TRASLACIÓN	2	0.25	0.50	2	0.50	2	0.50	2	0.85	0.43
REJAS DE GRUESOS LÍNEA AGUA	2	1.50	3.00	2	3.00	2	3.00	2	0.85	2.55
CINTA TRANSPORTADORA DE GRUESOS	2	1.50	3.00	2	3.00	2	3.00	2	0.85	2.55
COMPUERTA AISLAMIENTO REJA DE GRUESOS	2	0.16	0.32	2	0.32	2	0.32	2	0.85	0.27
BOMBA ALIVIADOS	3	17.31	51.93	3	51.93	3	51.93	3	0.85	44.14
TAMICES DE ALIVIADOS	2	1.50	3.00	2	3.00	2	3.00	2	0.85	2.55
BOMBA AGUA BRUTA pequeñas	3	3.39	10.17	3	10.17	3	10.17	3	0.85	8.64
BOMBA AGUA BRUTA grandes	2	3.39	6.78	2	6.78	2	6.78	2	0.85	5.76
COMPUERTA AISLAMIENTO TAMIZADO	4	0.16	0.64	4	0.64	4	0.64	4	0.85	0.54
TAMICES PRETRATAMIENTO	2	1.50	3.00	2	3.00	2	3.00	1	0.85	1.28
TORNILLO TRANSPORTADOR COMPACTADOR	1	1.50	1.50	1	1.50	1	1.50	1	0.85	1.28
COMPUERTA AISLAMIENTO DESARENADO	2	0.16	0.32	2	0.32	2	0.32	2	0.85	0.27
SOPLANTE DESARENADO	3	2.20	6.60	2	4.40	3	6.60	2	0.85	3.74
PUENTE DESARENADOR DESENGRASADOR	1	0.18	0.18	1	0.18	1	0.18	1	0.85	0.15
BOMBA ARENAS	2	0.70	1.40	2	1.40	2	1.40	2	0.85	1.19
ELECTROVÁLVULA DE PURGA DE GRASAS	1	0.02	0.02	1	0.02	1	0.02	1	0.85	0.02
CLASIFICADOR ARENAS	1	0.37	0.37	1	0.37	1	0.37	1	0.85	0.31
CONCENTRADOR DE GRASAS	1	0.18	0.18	1	0.18	1	0.18	1	0.85	0.15
VERTEDERO REGULABLE SELECCIÓN CAUDAL	1	0.16	0.16	1	0.16	1	0.16	1	0.85	0.14

COMPUERTA VERTEDERO REGULABLE PLUVIALES	1	0.16	0.16	1	0.16	1	0.16	1	0.85	0.14
COMPUERTA AISLAMIENTO TANQUE DE TORMENTAS	1	0.16	0.16	1	0.16	1	0.16	1	0.85	0.14
COMPUERTA BYPASS TANQUE DE TORMENTAS	2	0.16	0.32	2	0.32	2	0.32	2	0.85	0.27
ELECTROVÁLVULA LLENADO LIMPIADOR BASCULANTE	2	0.02	0.04	1	0.02	2	0.04	1	0.85	0.02
COMPUERTA VERTEDERO REGULABLE REPARTO BIOLÓGICO	2	0.16	0.32	2	0.32	3	0.48	2	0.85	0.27
AGITADOR SUMERGIBLE ACELERADOR CORRIENTE	2	1.79	3.58	2	3.58	3	5.37	2	0.85	3.04
COMPUERTA SALIDA DE REACTOR BIOLÓGICO	3	0.16	0.48	3	0.48	4	0.64	2	0.85	0.27
SOPLANTE AIREACIÓN REACTOR BIOLÓGICO	4	3.00	12.00	4	12.00	6	18.00	4	0.85	10.20
VENTILADOR DISIPADOR CALOR SALA SOPLANTES	2	1.20	2.40	2	2.40	2	2.40	2	0.85	2.04
POLIPASTO MANUTENCIÓN SALA SOPLANTES	1	2.03	2.03	1	2.03	1	2.03	1	0.85	1.73
BOMBA DOSIFICADORA DESFOSFATACIÓN	2	0.18	0.36	1	0.18	2	0.36	1	0.85	0.15
PUENTE DECANTADOR SECUNDARIO	2	0.25	0.50	2	0.50	3	0.75	2	0.85	0.43
ELECTROVÁLVULA PURGA FANGOS SECUNDARIOS	2	0.02	0.04	2	0.04	3	0.06	2	0.85	0.03
ELECTROVÁLVULA PURGA FLOTANTES	2	0.02	0.04	2	0.04	3	0.06	2	0.85	0.03
BOMBA DE RECIRCULACIÓN DE FANGOS	3	1.77	5.31	2	3.54	4	7.08	2	0.85	3.01
BOMBA DE FANGOS BIOLÓGICOS EN EXCESO	2	1.90	3.80	1	1.90	3	5.70	1	0.85	1.62
BOMBA DE FLOTANTES DECANTADOR 2º	2	1.77	3.54	1	1.77	3	5.31	1	0.85	1.50
POLIPASTO POZO RECIRCULACIÓN	1	2.03	2.03	1	2.03	1	2.03	1	0.85	1.73
MECANISMO ESPESADOR FANGOS DIGERIDOS	1	0.09	0.09	1	0.09	1	0.09	1	0.85	0.08
BOMBEO A DESHIDRATACIÓN	2	0.75	1.50	2	1.50	2	1.50	1	0.85	0.64
CENTRÍFUGA DECANTADORA SECADO MOTOR PRINCIPAL	2	18.50	37.00	1	18.50	2	37.00	1	0.50	9.25
CENTRÍFUGA DECANTADORA SECADO MOTOR FRENO	2	1.50	3.00	1	1.50	2	3.00	1	0.85	1.28
ELECTROVÁLVULA LIMPIEZA CENTRIFUGADORA	2	0.02	0.04	1	0.02	2	0.04	1	0.85	0.02
PREPARACIÓN POLIELECTROLITO	1	0.54	0.54	1	0.54	1	0.54	1	0.85	0.46
BOMBAS POLIELECTROLITO SECADO	2	0.12	0.24	1	0.12	2	0.24	1	0.85	0.10

ELECTROVÁLVULA TOLVA DESCARGA DESHIDRATACIÓN	2	0.02	0.04	2	0.04	2	0.04	2	0.85	0.03
BOMBA ELEVACIÓN FANGOS SECOS A TOLVA	2	0.86	1.72	1	0.86	2	1.72	1	0.85	0.73
POLIPASTO MANUTENCIÓN SALA DESHIDRATACIÓN	1	2.03	2.03	1	2.03	1	2.03	1	0.85	1.73
VENTILADOR EDIFICIO DE CONTROL	2	4.00	8.00	2	8.00	2	8.00	2	0.85	6.80
VENTILADOR ANTICORROSIVO 15 HP	1	11.18	11.18	1	11.18	1	11.18	1	0.85	9.50
GRUPO DE PRESIÓN	2	3.00	6.00	1	3.00	2	6.00	1	0.85	2.55
COMPRESOR SERVICIO AIRE DE SERVICIOS	2	2.20	4.40	1	2.20	2	4.40	1	0.85	1.87
CUADRO DE ALUMBRADO INTERIOR Y EXTERIOR	1	2.50	2.50	1	2.50	1	2.50	1	0.85	0.85
SAI	1	10.00	10.00	1	10.00	1	10.00	1	0.85	0.85
L. BATERÍA CONDENSADORES	1	5.00	5.00	1.00	5.00	1.00	5.00	1	0.85	0.85
		TOTAL	**230.44**		**196.40**		**244.28**			**145.96**

Tabla 5. Energía teórica.

Para comentar con detalle la tabla anterior lo mejor será dividir cada instrumento en función del tratamiento del que provenga:

- Pretratamiento: motor portón entrada, compuerta aislamiento EDAR, compuerta aislamiento pozo de gruesos, cuchara bivalva, puente grúa vertical y de traslación, rejas de gruesos línea de agua, cinta transportadora de gruesos, compuerta aislamiento reja de gruesos, bomba aliviados, bomba de agua bruta pequeñas, bomba de agua bruta grandes y tamices pretratamiento.
- Tratamiento primario: tornillo transportador compactador, compuerta aislamiento desarenado, soplante desarenado, puente desarenador – desengrasador, bomba arenas, electroválvula de purga de gases, clasificador de arenas, concentrador de grasas, vertedero regulable de selección de caudal, compuerta vertedero regulable de pluviales, compuerta aislamiento tanque de tormentas, compuerta bypass tanque de tormentas, electroválvula llenado limpiador basculante, compuerta vertedero regulable reparto biológico.
- Tratamiento secundario: agitador sumergible acelerador de corriente, compuerta salida de reactor biológico, soplante aireación reactor biológico, ventilador disipador de calor sala de soplantes, polipasto manutención sala soplantes, bomba dosificadora desfosfatación.
- Tratamiento terciario: puente decantador secundario, electroválvula purga fangos secundarios, electroválvula purga flotantes, bomba de recirculación de fangos, bomba de fangos biológicos en exceso, bomba de flotantes decantador secundario, polipasto pozo recirculación, mecanismo espesador fangos digeridos, bombeo a deshidratación, centrífuga decantadora secado motor principal, centrífuga decantadora secado motor freno, electroválvula limpieza centrifugadora, preparación polielectrolito, bombas polielectrolito secado, electroválvula tolva descarga hidratación, bomba elevación fangos secos a tolva, polipasto manutención sala deshidratación, ventilador edificio de control, ventilador anticorrosivo 15 HP, grupo de presión, compresor servicio aire de servicios, cuadro de alumbrado interior y exterior, sai y l. batería condensadores.

Los tratamientos de purificación del agua se remontan a muchos siglos atrás. No obstante, a día de hoy todavía se considera al inglés James Simplon, en 1827, como el primer constructor de un filtro de arena para conseguir tratar el agua, gracias a los diseños del científico escocés Robert Thom. Esto sería de los primeros acercamientos a lo que hoy en día consideramos una EDAR. En España no sería hasta el año 1937 durante la Guerra Civil que se inauguró la primera depuradora de agua de todo el país en la ciudad de Reus.

Como es lógico, hace años, el número de trabajadores era considerablemente mayor debido a que no se disponían de todas estas ventajas tecnológicas de hoy en día. Por este motivo, el consumo ha aumentado excesivamente en este tipo de estaciones, y es por ello igualmente, que la tabla anterior es tan amplia.

Muchos de los elementos en la lista anterior no merecen ser comentados, la finalidad será repasar el consumo (potencia instalada) de las partes más importantes y pesadas de la planta. Salta a la vista que los elementos de mayor consumo son los relacionados con sistemas de aireación, bombeo, tratamiento de lodos y sistemas de filtración y desinfección.

Dentro del pretratamiento no merece demasiado la pena indagar en aparatos como motores para compuertas, cuchara bivalva o puentes ya que lo que sobresale es el consumo del bombeo. En esta parte existen dos estaciones de bombeo: la de agua bruta (la estudiada para el proyecto)y la de aliviados. La estación de bombeo de agua bruta ya explicada anteriormente está compuesta por cinco bombas. La potencia instalada en esta estación se divide en dos, las pequeñas y las grandes. Las pequeñas constan de tres bombas de caudal nominal 25 m^3/h de las cuales solamente una se encuentra en funcionamiento para el caso a estudiar de caudal nominal. Estas bombas tienen una potencia de accionamiento de 0,96 kW cada una, mientras que las dos bombas grandes de caudal 62,5 m^3/h una potencia absorbida en el eje de la bomba de 2,67 kW. Estas cinco bombas cuentan con un variador de frecuencia que sirve para ajustar el caudal de bombeo al de llegada. En el caso de que el caudal entrante excediese del máximo, el medidor de caudal en línea (cada colector individual tiene el suyo) lo detectaría y convertiría esta señal en la más dominante de la operación, llegando a desacelerar el proceso de bombeo si esto fuese necesario para que el caudal máximo se

mantenga constante. La cantidad de agua bombeada para los aliviados aumentaría en este caso. A su vez es necesario ajustar el caudal mínimo con el fin de no alcanzar velocidades extremadamente bajas en el bombeo. Sin embargo, al existir el proceso de desarenado previo en el pozo de gruesos, la probabilidad de que ocurra un fallo a bajas velocidades se reduce considerablemente. En la tabla se puede apreciar que la potencia instalada por cada estación de bombeo grande y pequeña resulta en 6,78kW y 10,17kW respectivamente. Estos datos concuerdan con la potencia necesaria para poner en marcha las diferentes bombas. A su vez, el bombeo de aliviados aporta el mayor consumo de este pretratamiento. La potencia instalada para esta estación asciende a 51,93kW y está formada por tres bombas en servicio al mismo tiempo, siendo esta la potencia máxima que puede alcanzar con las tres bombas funcionando simultáneamente.

En cuanto al tratamiento primario el consumo no es excesivo ya que las partes que más consumo generan son el soplante del desarenado junto con el tornillo transportador compactador y el bombeo de arenas. Una vez más nos encontramos con otro sistema de bombeo el cual se encarga de expulsar a un vertedero todas las arenas extraídas durante el proceso de desarenado y desengrasado.

Como se puede apreciar y se ha observado en la *Figura 11* el tratamiento secundario, el biológico, es junto con los procesos de bombeo el lugar donde más potencia se consume. Se requieren como mínimo dos depósitos, por lo que el consumo debe valorarse teniendo en cuenta la existencia de dos tanques para este estudio. Se estima que el consumo energético de uno de estos depósitos se encuentra entre 0,9 – 3,5 kWh/m^3. El sistema de aireación producido en estos depósitos supone un 44% del total de la instalación, convirtiéndose de esta manera en el tratamiento de mayor consumo debido a la cantidad de tiempo que requiere. Este sistema se utiliza en estaciones de entre 500 y 2.000 habitantes equivalentes, es decir que la EDAR a estudiar cumple este rango y viene incorporado un sistema de aireación dentro del tratamiento secundario. Estos procesos requieren de una cámara de oxidación que pueda aportar aire como son los reactores y una recirculación de fangos posterior a la decantación. Si se habla del consumo energético, generalmente el consumo de este tipo de instalaciones proporciona cifras de entre 2,5 y 10 kWh al día, de manera más concreta se

estaría hablando de entre 1,67 y 2,5 kWh por DBO_5 eliminada. Gracias a un estudio de la Comunidad de Madrid se conoce que en depuradoras con caudales superiores a 700 m^3/día el consumo promedio era de 0,72 kWh/m^3 y de 2,5 kWh por DBO_5 eliminada. Ya que en el estudio de este proyecto el caudal diario es de 600 m^3 esas cifras no estarían desencaminadas. También se observa que para caudales menores de 300 m^3/día el consumo aumentaba.

Una estimación del consumo energético podría ser la siguiente:

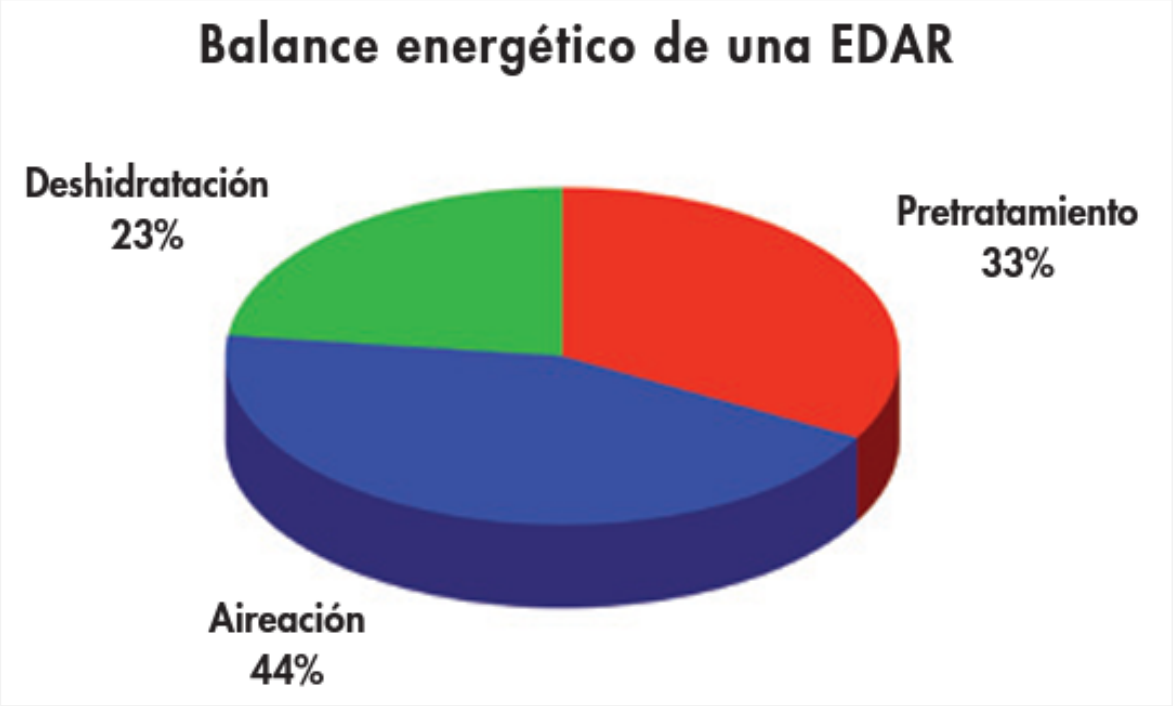


Figura 11. Gráfico de estimación de consumo.
Fuente: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sitra.es/wp-content/uploads/2021/11/Optimizacio%CC%81n_energe%CC%81tica_del_sistema_de_aireacio%CC%81n_de_una_EDAR_TECNOLOGI%CC%81A_DEL_AGUA_MAR_2011.pdf

Donde el 44% representaría la energía eléctrica por aireación y bombeo, el 33% todo lo relacionado con el pretratamiento y el 23% respecto a los procesos de deshidratación de fangos.

3.2 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

A la hora de realizar este proyecto, una de las grandes motivaciones era el efecto positivo que podría tener de cara al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Concretamente las EDAR están involucradas en cuatro de ellos: 3. Salud y bienestar, 6. Agua limpia y saneamiento, 7. Energía asequible y no contaminante, 14. Vida submarina.

La intencionalidad de este proyecto también pasa por abordar la problemática de un mal tratamiento de las aguas residuales. Dichos tratamientos erróneos pueden generar un impacto negativo tanto en la salud humana como en el medio ambiente. Estas aguas residuales pueden contener una gran variedad de contaminantes ya sea productos químicos, nutrientes, patógenos o incluso metales pesados. Es por ello por lo que resulta de gran relevancia conocer bien de donde proceden estas aguas. El consumo de agua mal tratada puede producir en los humanos enfermedades como cólera, diarrea, disentería o hepatitis. La Organización Mundial de la Salud estima que el número de personas que consumen agua potable contaminada asciende a 2.000 millones, produciendo al año casi medio millón de muertes y más de mil enfermedades diarias en todo el mundo. Sin embargo, este problema no solo afecta a la salud humana si no también en gran medida a la vida acuática. La contaminación hídrica empobrece los ecosistemas acuáticos y facilita la eutrofización. Este término viene de la palabra griega *eutros*, que significa "bien nutrido". Hace referencia a la excesiva presencia de nutrientes inorgánicos, generalmente nitrógeno y fósforo, produciendo una proliferación descontrolada de algas fitoplanctónicas. Expresado en otras palabras, el aumento en número de este tipo de algas provoca un enturbiamiento del agua, impidiendo de esta manera que la luz solar penetre adecuadamente, por lo que se terminan generando diferentes microorganismos como bacterias que se alimentan de la vegetación muerta a causa de no poder realizar la fotosíntesis correctamente. Las bacterias presentes en este caso consumen una gran parte del oxígeno que necesitan los diferentes animales acuáticos llevando a cabo su muerte y la generación de patógenos.

Para poder combatir estos problemas, es necesario un correcto y efectivo funcionamiento de la EDAR, por lo que el propósito final de este proyecto es el estudio y comprensión de la planta acompañado de la realización y justificación de los cálculos hidráulicos en la línea de agua a caudal nominal necesarios para el mejor funcionamiento posible.

Como ya se ha comentado, la eficiencia energética juega un papel fundamental a la hora de trabajar en una EDAR ya que la mayor parte de los costes se ven influenciados por esta sección. A lo largo de los años se han desarrollado una serie de estrategias de ahorro de manera que no comprometiesen la funcionalidad de la planta ni el no cumplimiento de los estándares de calidad.

Es por ello que en este apartado, se buscará comentar diversas medidas y estrategias que se puedan implementar en la planta a estudiar, con la finalidad de reducir el consumo y en consecuencia los gastos asociados a estos.

Lo óptimo para conseguir este objetivo sería centrarse en las zonas de mayor consumo como son los sistemas de aireación y los sistemas de bombeo. Uno de los usos más comunes para rebajar este consumo pasa por la utilización del aprovechamiento de energías renovables como la solar o incluso a través de la generación de biogás a partir de los lodos generados. Al alcanzar estos objetivos no solo se consigue un ahorro energético si no también se logrará una reducción significativa en el impacto ambiental. Son muchas las plantas que hoy en día instalan un alto número de placas solares para que todo el funcionamiento de la estación pueda ser llevado a cabo con esta energía solar. El Instituto Aragonés del Agua ha conseguido desde el año 2019 instalar placas fotovoltaicas en un total de 23 depuradoras de agua, lo cual supone una reducción en la cantidad de CO_2 emitida de hasta 500 toneladas. Consiste en una inversión costosa que sin embargo se termina viendo recompensada a la larga. La producción estimada de esta comunidad es de 1.104.225 kWh/año, suficiente para cubrir el gasto energético. El ahorro energético en porcentaje puede estar estimado entre el 5% y el 27%. La EDAR de Jerez también ha sido brindada con la instalación de 1.500 placas solares con el finde cubrir un ahorro en la factura eléctrica ya que viene a consumir unos 6,5 millones de kWh al año. La potencia total instalada es de 853,20 kW pico en los terrenos del

recinto. Concretamente estas 1.580 placas producirán 1.530,21 MWh al año que es lo equivalente a la energía consumida por unas 430 viviendas a lo largo de un año. Una vez más, el impacto medioambiental es realmente notable, evitando la emisión de 700 toneladas de CO_2 al año, unas emisiones similares a eliminar 153 vehículos de gasolina. La sostenibilidad es un aspecto clave y por ello el plan estratégico no es otro que conseguir para 2030 que el 50% de la energía consumida sea exclusivamente de fuentes renovables. Otro caso de instalación de energía fotovoltaica es el del Ayuntamiento de Vera en Almería. En este caso concreto se han instalado tres estructuras de gran tamaño, con un soporte de 115 m y un número de 276 paneles solares. El ahorro energético de consumo estimado mensual es del 25%, es decir un ahorro de 117.500 kWh/año y una reducción en emisiones a la atmósfera de 47 toneladas de CO_2. Por lo tanto una gran solución para conseguir un ahorro energético pasa por el uso de energía solar. Alcanzando cada vez más ese objetivo de la utilización de energía 100% sostenible.

La manera de ahorro energético más utilizada en las EDAR en España es la de autoabastecimiento mediante generación de biogás. Este método funciona gracias a la generación de lodos que contienen materia orgánica. Estos lodos pueden ser tratados en digestores anaeróbicos para conseguir producir biogás que es una mezcla de metano y dióxido de carbono. Quemando este biogás se puede llegar a producir electricidad. La EDAR de La Golondrina en Córdoba, ha conseguido gracias a la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba (Emacsa) producir alrededor del 42% de la energía eléctrica que necesita la planta gracias a las instalaciones de cogeneración que producen el biogás. Desde luego son cifras más significativas que las que se obtienen gracias a la energía solar. Este proceso se lleva a cabo en vertederos o reactores cerrados para conseguir que sea un tratamiento anaerobio (en ausencia de oxígeno). La energía producida se utiliza en diferentes aplicaciones, tanto energía eléctrica como térmica o incluso como carburante. Debido al metano, el apropiado aprovechamiento del biogás tiene un gran potencial a la hora de reducir emisiones de gases de efecto invernadero. Actualmente en España existen 146 instalaciones de biogás que generan una energía equivalente a 2,74 TWh, sin embargo de todas estas solamente 34 están destinadas a estaciones de depuración de aguas residuales.

CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

4.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

Previamente a la realización de los cálculos hidráulicos, es necesario conocer a fondo la EDAR con el fin de poder simplificarla lo máximo posible. Un requisito antes de llevar a cabo esta acción será tener cierta soltura con el programa Allievi para poder distinguir lo que puede ser útil y lo que no.

Los elementos clave serán: pozo de gruesos, pozo de bombeo, tamizado, desarenado-desengrasado, arqueta de reparto, reactores biológicos, decantadores secundarios y cauce. Por motivos de comodidad para esta parte del proyecto no resulta de gran interés diferenciar entre los diferentes tratamientos (pretratamiento, primario, secundario y terciario) por lo que se hablará de la planta entera como una sola instalación.

A continuación se comentarán una vez más los valores iniciales y característicos de cada depósito y elemento de la planta:

El sistema comienza gracias a un colector de llegada, una tubería de diámetro nominal 600 mm que descarga sobre sistema un caudal nominal de 25 m^3/h (7 l/s). El primer destino de este colector es el pozo de gruesos, donde el nivel de agua asciende a los 494,691 m desde su solera de cota 493,45 m. A continuación, el agua bruta accederá al pozo de bombeo a través de un canal de rejas, donde se realiza una primera filtración. La pendiente es casi despreciable ya que el nivel de agua desciende de 494,691 m a 494,689 m. Sin embargo, las bombas rotodinámicas se encuentran al fondo del pozo de bombeo para así evitar cualquier tipo de problema de cavitación. La cota de este nivel de solera del pozo de bombeo es de 493,19 m. Por lo tanto el bombeo se produce a través de unas tuberías de diámetro nominal 80 mm y una longitud de 9,37 m que ascienden desde la cota de 493,19 m hasta los 501,286 m donde entra en escena el canal de recepción de agua bruta. Finalmente el agua llega al tanque de desarenado-desengrasado que tiene una superficie de gran tamaño. Es a partir de

este punto cuando el sistema funciona únicamente a través de gravedad. Posterior al desarenado-desengrasado, es una tubería de diámetro nominal 300 mm y longitud 2m la encargada de transportar el agua del pretratamiento a la arqueta de reparto. Esta arqueta cuenta con un nivel de agua inicial de 501,294 m y una superficie de 4 m^2. La cota de solera de la misma es de 500,899 m, se considera un depósito de pequeñas dimensiones en comparación con el resto. Este regulador de caudal se divide en dos conductos iguales de diámetro 150 mm y de longitud 26 m cada uno. Cada conducto recala en un reactor biológico. Existen dos reactores de iguales magnitudes. Su nivel de agua inicial asciende hasta los 504 m mientras que su cota de solera es de 500,59 m. Cada depósito tiene una capacidad de 589,87 m^3 y una superficie de agua de 150 m^2. En total el máximo volumen posible que pueden almacenar estos depósitos es de 1180 m^3. A continuación el agua acude a su último destino de tratamiento, que son los decantadores secundarios. Esta agua es llevada a través de dos tuberías de diámetro 200 mm y longitud 22 m. En cuanto a los depósitos, resultan una vez más de las mismas dimensiones. Consisten en dos depósitos de superficie 38 m^2 que permite alcanzar un volumen cercano a los 1000 m^3. La cota de solera de estos decantadores es de 500 m y el nivel de agua inicial es de 503 m. Finalmente, ambos depósitos transportan su agua gracias a dos conductos de diámetro 150 mm y longitud 22,6 m que convergen en una tubería de diámetro 300 mm que devuelve el agua tratada a su cauce natural.

4.2 DESARROLLO DE LA PLANTA

Una vez conocidos todos los parámetros de la estación, lo primero de todo es necesario realizar un esquema tipo PFD de la planta al completo para tener una visión mejor a la hora de representarla en el software escogido. En este esquema se deben representar todos los depósitos, tuberías y bombas de manera sencilla e indicando sus respectivas cotas y dimensiones. A continuación, se verá en la *Tabla 6* los caudales correspondientes a cada tubería de la planta.

TUBERÍA	CAUDAL (l/s)
T1	7
T2	7
T3	7
T4	7
T5	3,5
T6	3,5
T7	3,5
T8	3,5
T9	3,5
T10	3,5
T11	7
T12	7

Tabla 6. Caudales de la planta.

Para conseguir un correcto funcionamiento del software, se recomienda comenzar poco a poco con cada parte añadiendo a medida que se avanza a través de la planta.

Como un primer acercamiento y tanteo del programa, se realizará un paso 0; sistema formado únicamente por un depósito de llegada, un conducto con una estación de bombeo y un depósito final.

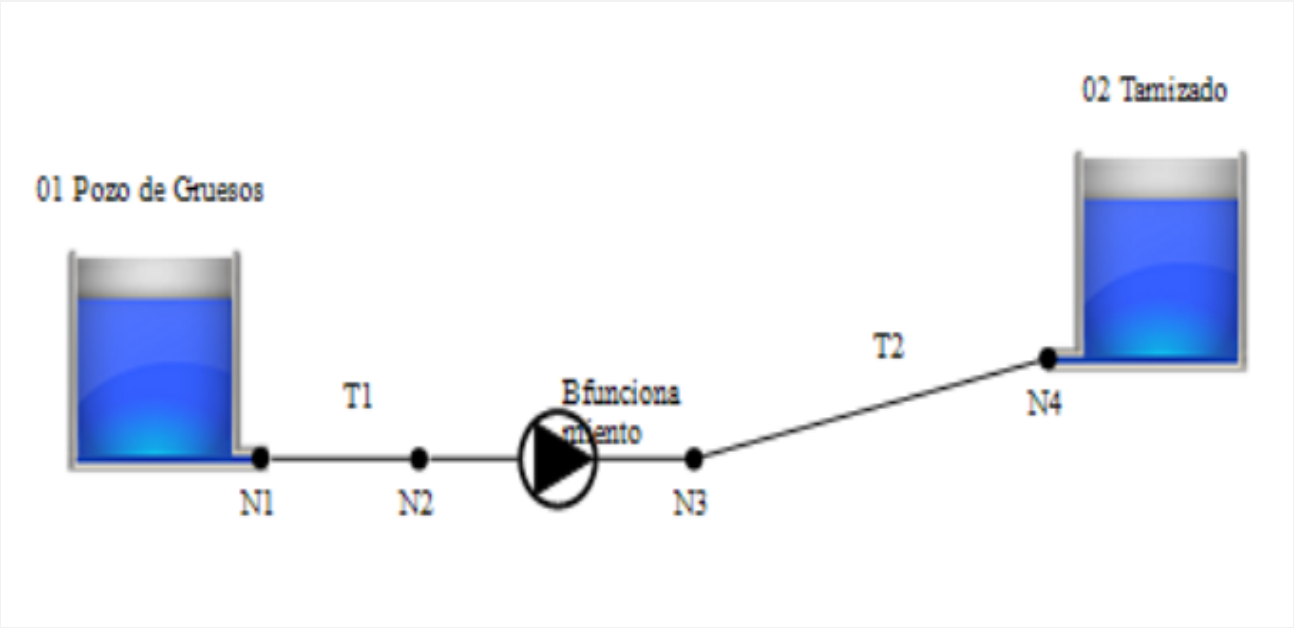


Figura 12. Paso 0.

Para este primer paso nos encontramos las siguientes complicaciones:

A pesar de que la estación de bombeo se encuentra sumergida en el pozo de bombeo, Allievi no permite realizar tal acción, por lo que la estación de bombeo funcionará como se muestra en la *Figura 12*, conectada entre tuberías.

El otro inconveniente está relacionado con los canales. El software solamente permite conectar los canales entre depósito y depósito, de manera que esto no permitiría la incorporación de la estación de bombeo, que es lo más importante para el funcionamiento de la EDAR. Sin embargo, esto no resultará un problema al diseñar el tramo de tubería de aspiración con una longitud corta.

En cuanto a los valores utilizados encontramos los siguientes:

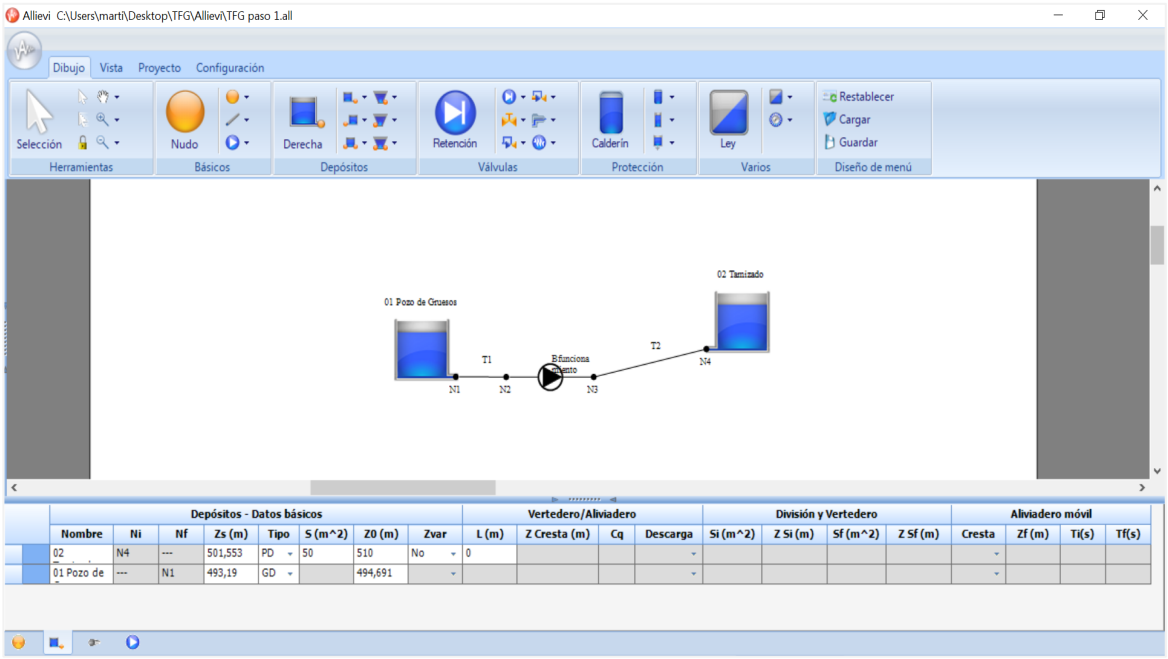


Figura 13. Depósitos paso 0.

En la *Figura 13* se puede apreciar los datos correspondientes a cada uno de los depósitos. En cuanto al primer depósito 01 Pozo de gruesos, una cota de solera Z_s = 493,19 m y un nivel de agua de Z_0 = 494,691 m. Nótese que en la sección *"Tipo"* aparece marcado como GD, esto significa depósito de grandes dimensiones. De esta manera, el nivel de agua del depósito no varía, simulando el conducto de llegada que se encuentra permanentemente llenando el pozo de gruesos. Sin embargo, para el depósito 02 Tamizado se opta por la opción de PD, es decir, depósito de pequeñas dimensiones. Por lo tanto el nivel de agua se verá afectado. Este depósito tiene un valor de Z_s = 501,553 m y un nivel de agua Z_0 = 510 m. El área de los depósitos solo es necesario introducirla cuando estos son de pequeñas dimensiones, por lo que el 02 Tamizado tiene un área de 50 m^2.

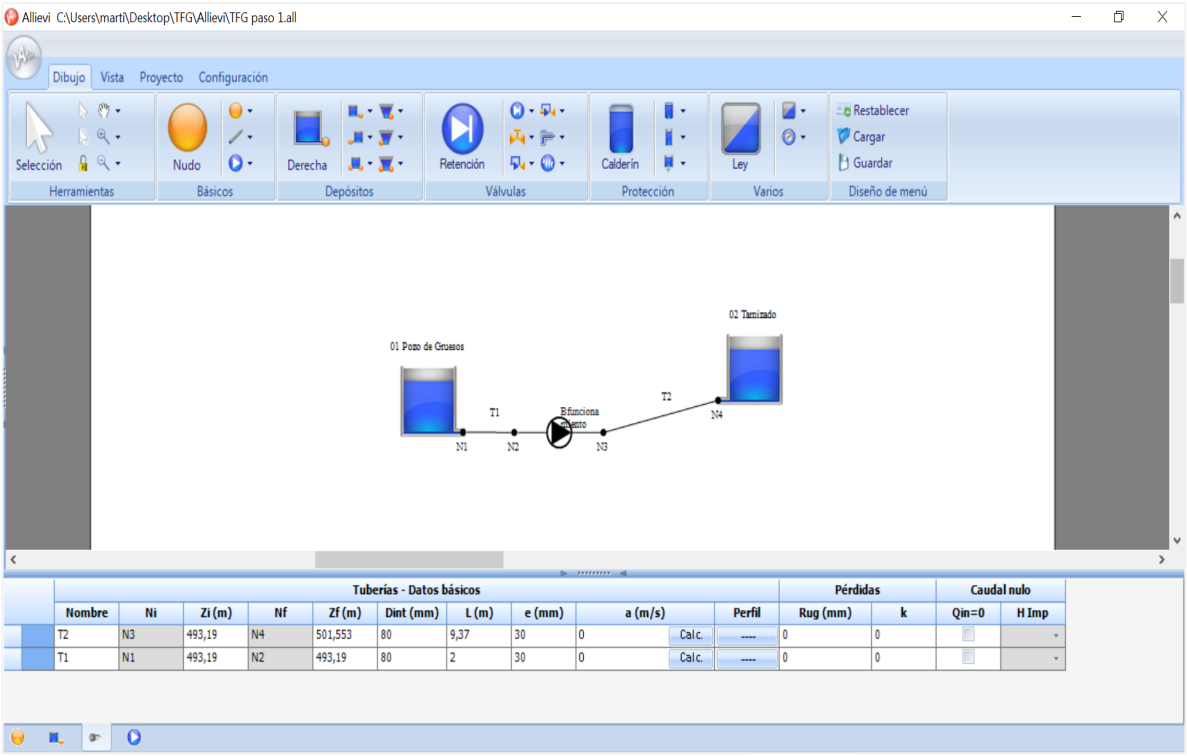


Figura 14. Tuberías paso 0.

En la *Figura 14* se recopilan los valores correspondientes a las tuberías. Para esta parte del proyecto se supondrá un espesor de tubería de 30 mm y pérdidas despreciables. Será necesario conocer la cota de inicio y la cota de fin acompañado de la longitud y el diámetro de los conductos. La tubería T1 que conecta el 01 Pozo de gruesos con la estación de bombeo tiene una longitud de 2 m mientras que la de la T2 que lleva el agua hasta el depósito 02 Tamizado es de 9,37 m. Ambas tuberías tienen un diámetro nominal de 80 mm. El comando a (m/s) significa celeridad y depende del diámetro, espesor y material de la tubería. Está relacionado con el golpe de ariete. Ya que para el presente proyecto no se realizará ningún cálculo con respecto a este fenómeno, se hace este valor nulo. En el caso de querer estudiarlo sería necesario calcular la celeridad.

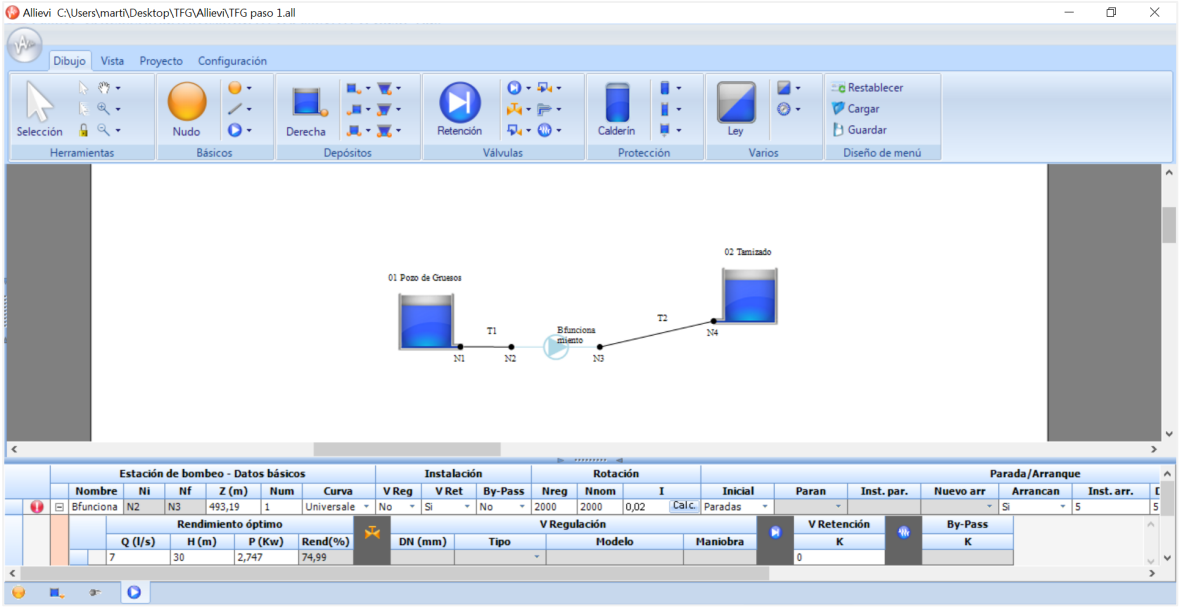


Figura 15. Bomba paso 0.

Por último, para este paso 0 se probará con una estación de bombeo formada por una bomba cuyas características nominales se ven en su punto de máximo rendimiento. La velocidad nominal de la bomba es de 2000 rpm y se encuentra funcionando a ese número de revoluciones. El caudal en ese punto es de 7 l/s y aporta una altura de 30 m. La potencia consumida en el eje de la bomba es de 2,747 kW. En la parte derecha de la tabla de valores de la estación de bombeo se puede observar que el instante de arranque de la bomba es a los 5 segundos. Esta maniobra no tiene otra finalidad que la de poder apreciar de mejor manera en las gráficas lo sucedido en el sistema.

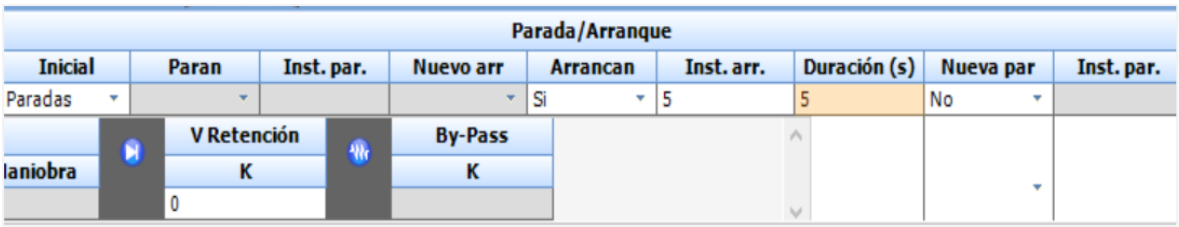


Figura 16. Arranque bomba paso 0.

Una vez realizado el primer esquema, se procederá al estudio de los resultados obtenidos en un transitorio de 100 segundos.

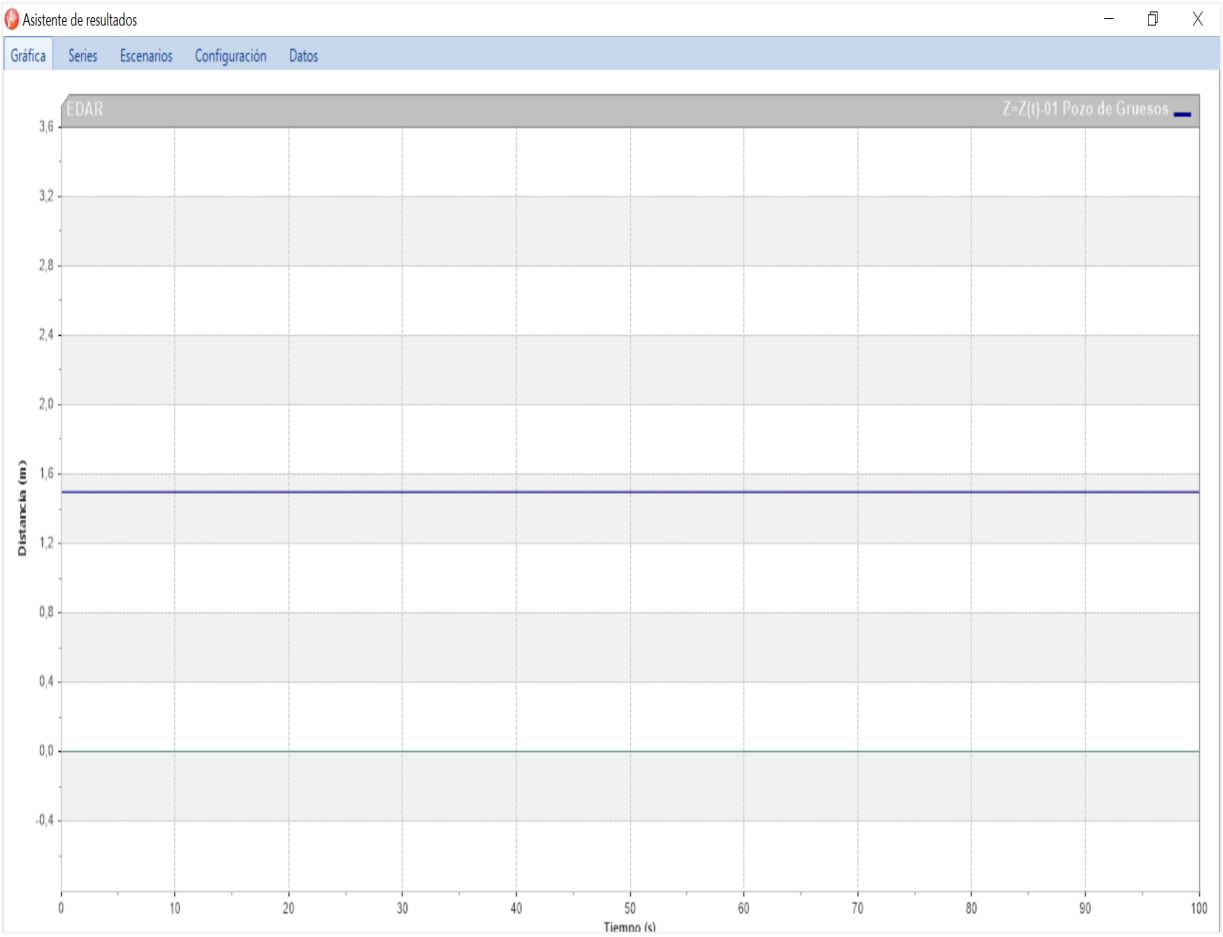


Figura 17. Nivel pozo de gruesos paso 0.

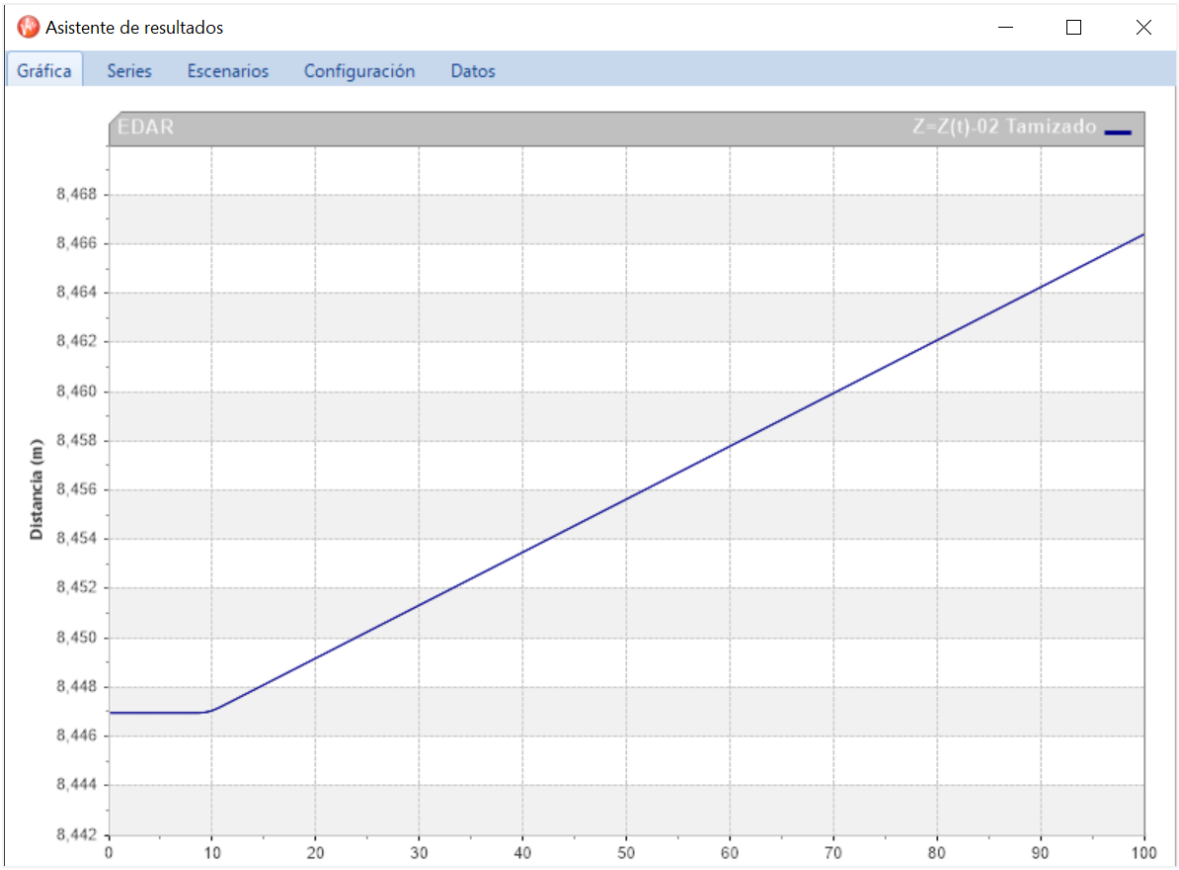


Figura 18. Nivel tamizado paso 0.

En la *Figura 18* se ve representado el nivel de agua del depósito 01 Pozo de Gruesos. Como se comentó anteriormente, la cota de agua del depósito no varía debido a su condición de depósito de grandes dimensiones, es por ello que la gráfica se basa en una recta horizontal.

Por otro lado, en la *Figura 19* sí que se aprecia un cambio. Instantes después de que arranque la estación de bombeo, el depósito 02 Tamizado se comienza a llenar y por lo tanto, su nivel de agua aumenta. En ese transitorio de 100 segundos aumenta su nivel de agua del orden de unos dos centímetros. Este nivel de agua aumenta de manera infinita ya que no se ha establecido un volumen máximo de depósito. Sería necesario añadir un rebosadero con salida del agua sobrante al depósito anterior para que el ciclo volviese a comenzar.

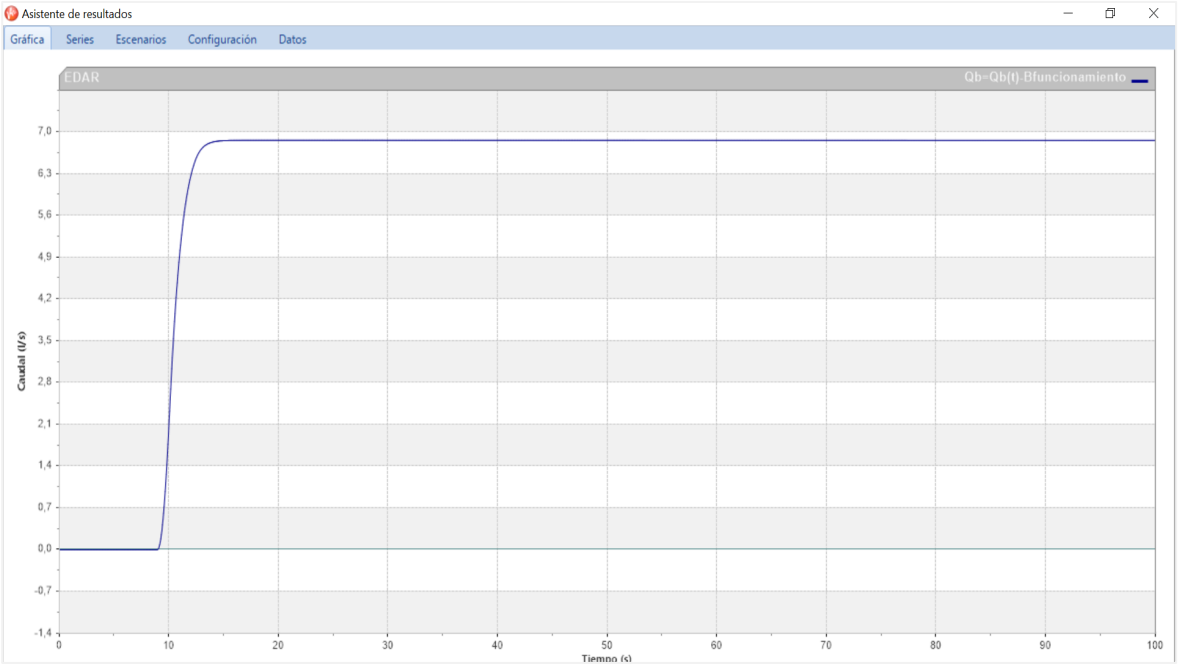


Figura 19. Caudal bombeo paso 0.

La *Figura 20* representa el caudal que es bombeado en la estación. El caudal está muy cerca del nominal (7 l/s) por lo que se puede considerar prácticamente igual.

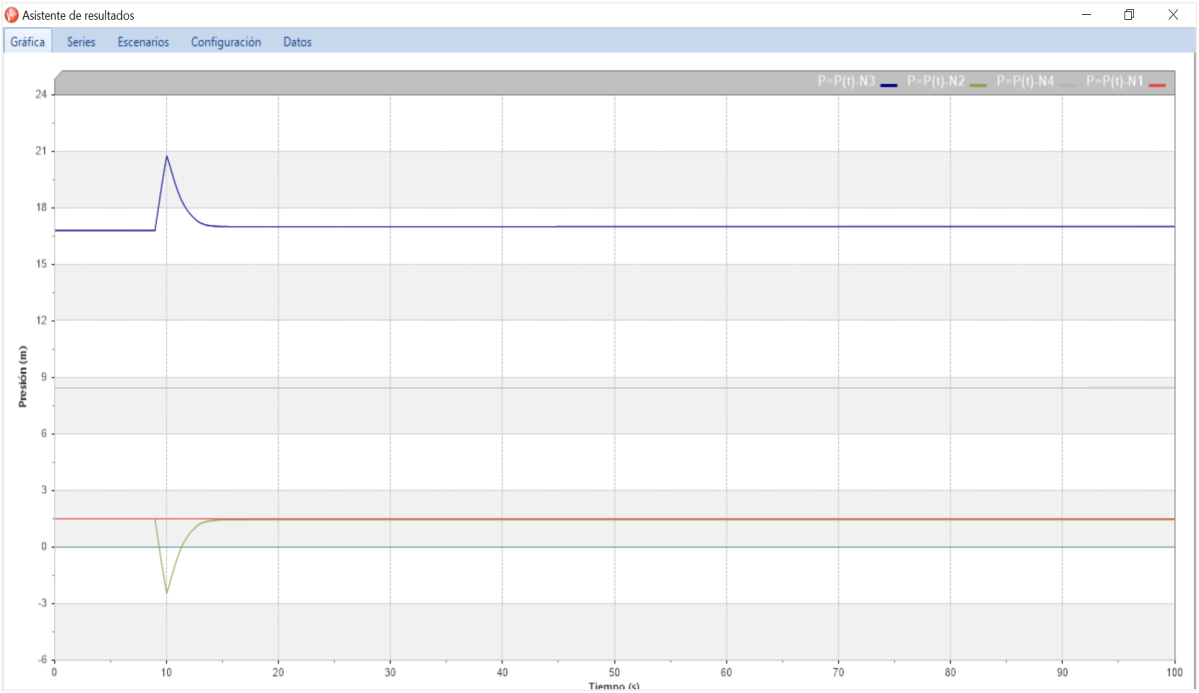


Figura 20. Presión nudos bomba paso 0.

Por último, en la *Figura 20* se recogen los valores de presión de los diferentes nudos del sistema. Resulta de gran interés fijarse en los nudos N2 y N3, que son los nudos de entrada y salida de la bomba. Ambos nudos sufren un cambio repentino de presión; el nudo N2 de entrada a la bomba se ve afectado por una disminución de presión mientras que en la salida el nudo N3 realiza un salto de presión en positivo de la misma magnitud que la del N2. Estos cambios de presiones se producen en el instante en el que la bomba comienza a girar hasta que alcanza su velocidad de régimen y consigue estabilizarse. Los saltos tienen el mismo valor absoluto debido a que se están despreciando las pérdidas internas en la bomba.

PASO 1

En este primer paso se procederá a ampliar un poco la planta, aportando un nuevo depósito en forma de aliviadero. Lo que se busca conseguir con esta aportación de vertedero/aliviadero es simular el canal que une el 02 Tamizado con el 03 Desarenado-desengrasado. El comando vertedero/aliviadero permite llenar un depósito a través del agua que rebosa de otro. A continuación se mostrará realizado en Allievi:

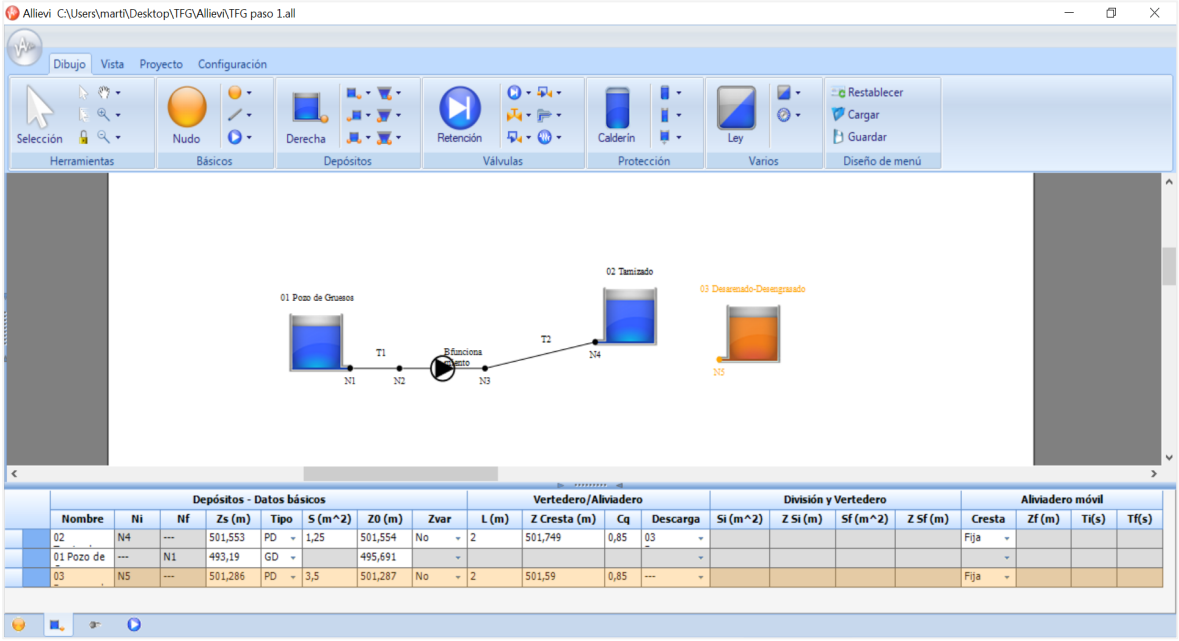


Figura 21. Paso 1.

Partiendo del PASO 0, en esta parte se añadirá un tercer depósito 03 Desarenado – Desengrasado a través del uso del vertedero/aliviadero.

Depósitos - Datos básicos								Vertedero/Aliviadero			
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m^2)	Z0 (m)	Zvar	L (m)	Z Cresta (m)	Cq	Descarga
02	N4	---	501,553	PD	1,25	501,554	No	2	501,749	0,85	03
01 Pozo de	---	N1	493,19	GD		495,691					
03	N5	---	501,286	PD	3,5	501,287	No	2	501,59	0,85	---

Figura 22. Depósitos paso 1.

Los valores de área y niveles de agua no se corresponden con el caso a estudiar. Son valores orientativos utilizados para la comprobación del funcionamiento del proceso. Lo más interesante de la aportación del depósito en esta forma será ver reflejado en los resultados la hipótesis anteriormente realizada, de simular un canal de unión entre los depósitos. Una vez más, para que se pueda apreciar mejor se programa la bomba para que arranque pasados unos segundos. Cabe destacar que a ambos depósitos (02 y 03) se les ha introducido un nivel de agua 1 mm superior a su cota de solera para que estén representados como vacíos.

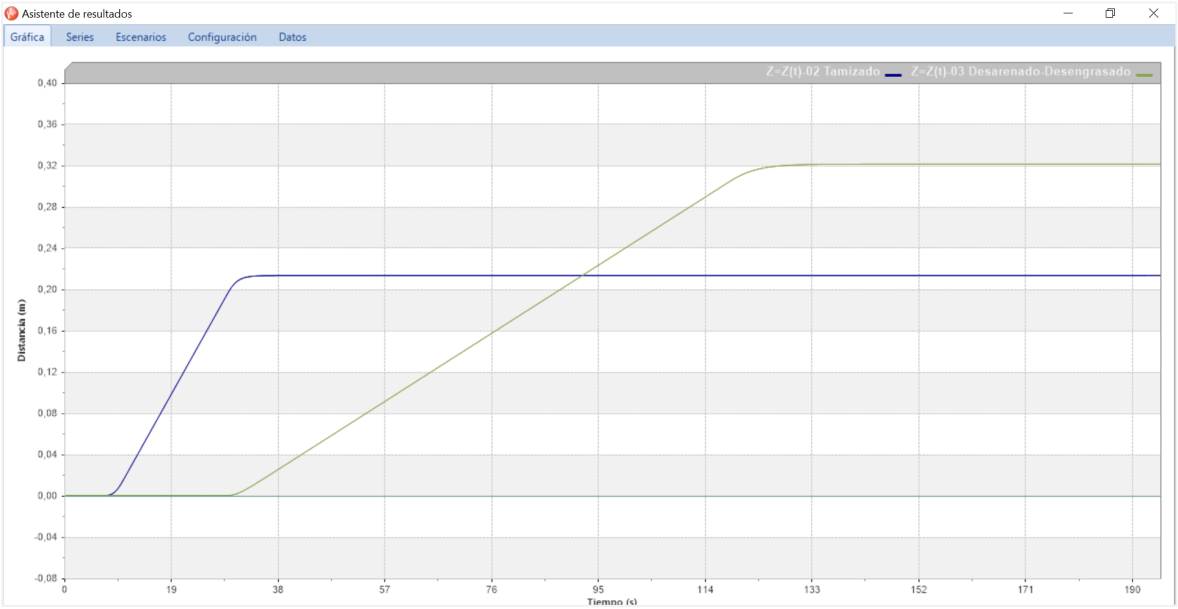


Figura 23. Resultado paso 1.

Los resultados obtenidos muestran el nivel de agua de cada depósito, perteneciendo el gráfico azul al depósito 02 Tamizado y el verde al 03 Desarenado – Desengrasado. Pasados aproximadamente unos cinco segundos, la bomba rotodinámica comienza a girar y a llenar el depósito vacío 02 Tamizado hasta alcanzar su máximo debido a la cota de la cresta del aliviadero a los 29 segundos. Es en este instante cuando el gráfico pasa a disminuir su pendiente hasta mantenerse en una línea horizontal constante con el tiempo. Mientras esto sucede, la pendiente no cambia ya que el agua que sigue entrando se ve descargada a través del aliviadero al depósito 03 Desarenado – Desengrasado. Este depósito comienza a llenarse poco a poco hasta que alcanza su máximo a los 124 segundos.

En cuanto a los nudos de la entrada y de la salida de la bomba, se mantiene el mismo comportamiento que en el caso anterior, con el cambio de presión repentino a la hora de poner en marcha la bomba rotodinámica como se puede ver en la *Figura 24*.

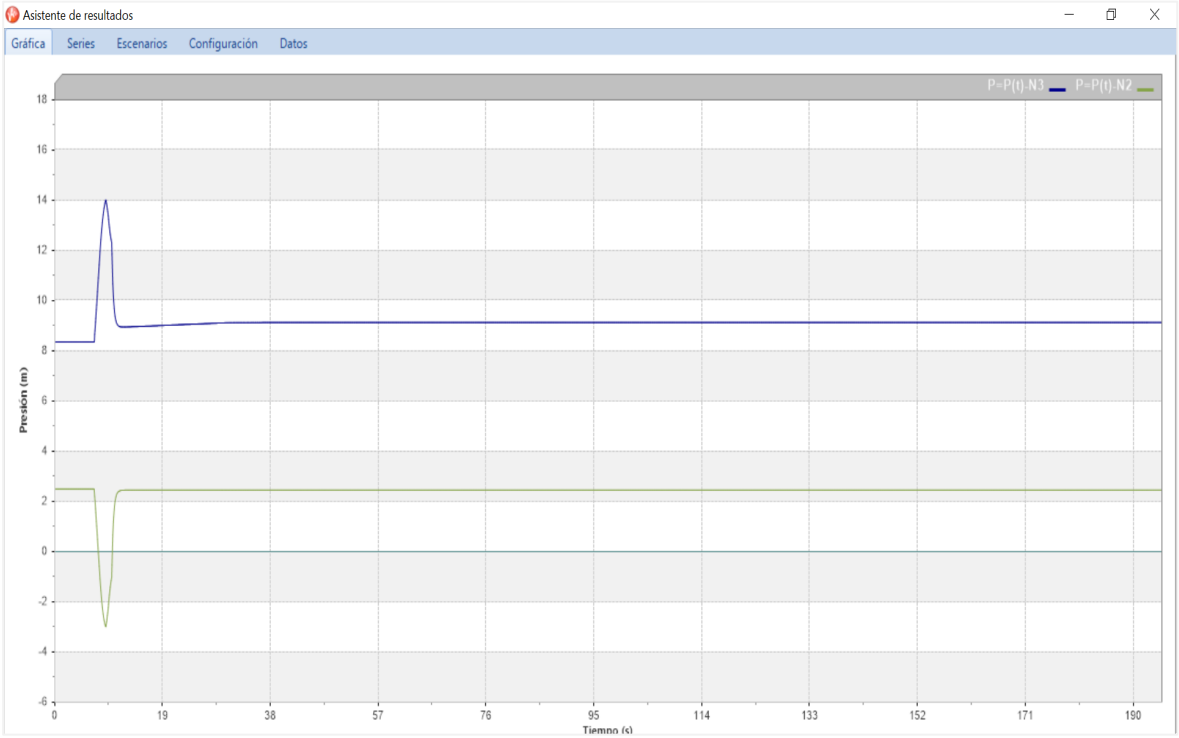


Figura 24. Presión nudos bomba paso 1.

Una vez finalizado este paso, no resulta de gran interés observar el resto de los parámetros de los cálculos hidráulicos ya que no difieren demasiado de los resultados del Paso 0.

Posteriormente, se continúa añadiendo depósitos, uno a uno con el fin de conseguir que el proyecto funcione de manera correcta evitando un desorden en los depósitos y en los nudos. En la *Figura 25* se muestra el mismo esquema que en el Paso 1 pero con la incorporación del depósito de pequeñas dimensiones 04 Arqueta de Reparto y el depósito de grandes dimensiones 05 Cauce. Este último depósito busca representar el río al que el agua tratada es finalmente vertida, de esa manera se le aplica la condición de GD ya que su cota de agua no se verá afectada en ningún momento.

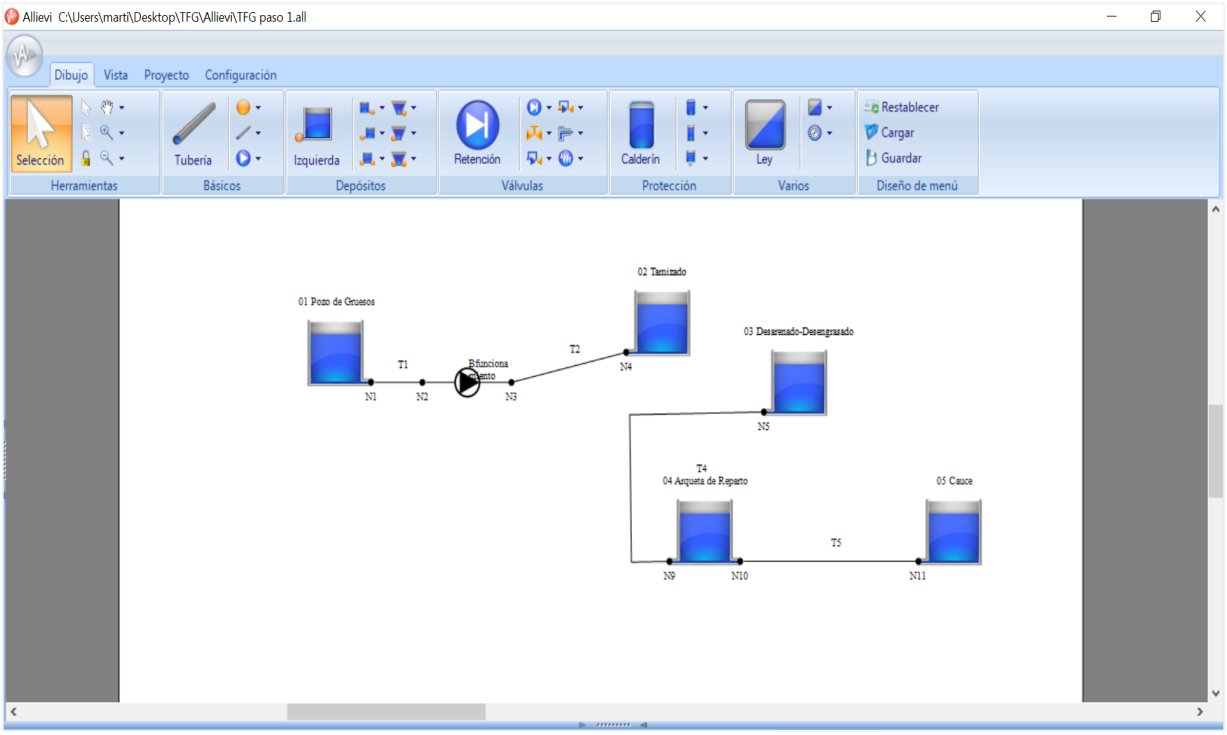


Figura 25. Paso 1.2.

A pesar de la configuración acoplada, una vez ejecutado el cálculo del régimen transitorio, en el segundo 3,05 s se produce una incidencia que no permite continuar con el programa.

Resultado simulación

- ATENCIÓN: Se encontraron ERRORES durante el proceso de cálculo

Resumen de incidencias

- En el instante 3.05 s, el nivel del agua en el depósito 03 Desarenado-Desengrasado supera la cresta del aliviadero del depósito 02 Tamizado. Se detiene el cálculo

Figura 26. Errores paso 1.2.

Es por ello que será necesario enfocar el diseño de otra manera. El principal fallo es producido por la cresta de aliviadero, ya que si se disminuye su valor, ocurre la incidencia anterior, de nivel de agua del depósito 03 supera la cresta de aliviadero. Por otro lado, si se intenta aumentar este valor o incluso disminuir el valor del nivel de agua del depósito 03 Desarenado – Desengrasado, lo que ocurre es que los depósitos siguientes se vacían en un tiempo inferior al tiempo de simulación establecido de 100 segundos.

Una vez alcanzado este punto, es recomendable realizar otro esquema de la planta, simplificándolo de una manera que permita conseguir unos cálculos equivalentes. Para conseguirlo, no queda otra opción que eliminar la parte del vertedero.

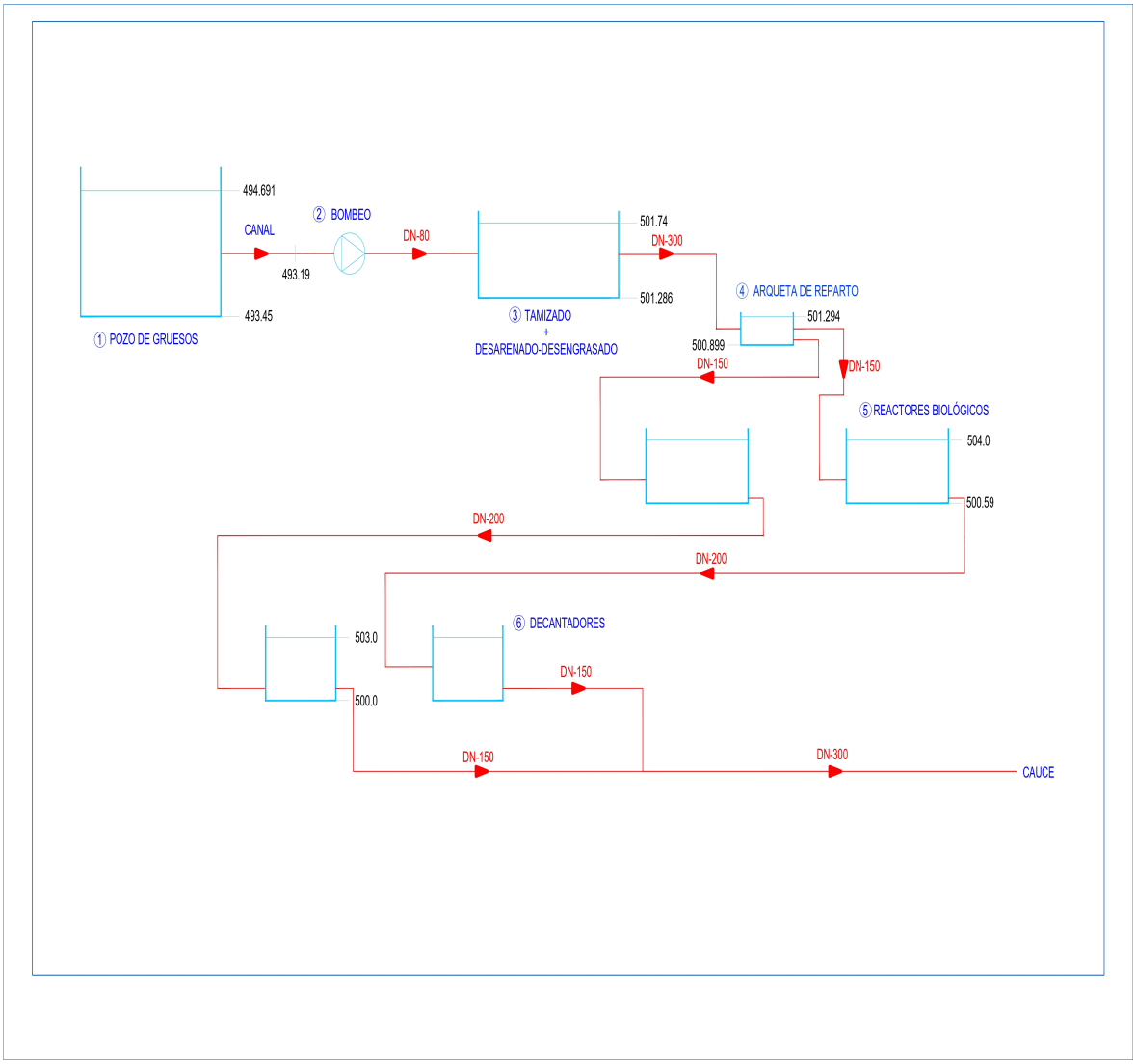


Figura 27. Esquema final de la planta.

Debido a que el depósito 02 Tamizado y el depósito 03 Desarenado – Desengrasado se encuentran conectados, la mejor solución resultará fusionarlos en un único depósito de 100 m^2 y un nivel de agua de casi 10 m. De esta manera se simulará la planta de una manera equivalente a la anterior. Es a partir de ahora cuando se puede comenzar a representar la planta al completo, añadiendo las bifurcaciones necesarias y los depósitos restantes.

4.3 DISEÑO DE LA PLANTA

En esta sección se desarrollará el diseño final de la planta, contextualizando los pasos a seguir y los valores utilizados en cada elemento de la instalación.

Utilizando como punto de apoyo lo desarrollado en el apartado anterior y como referencia el esquema final se obtiene lo siguiente:

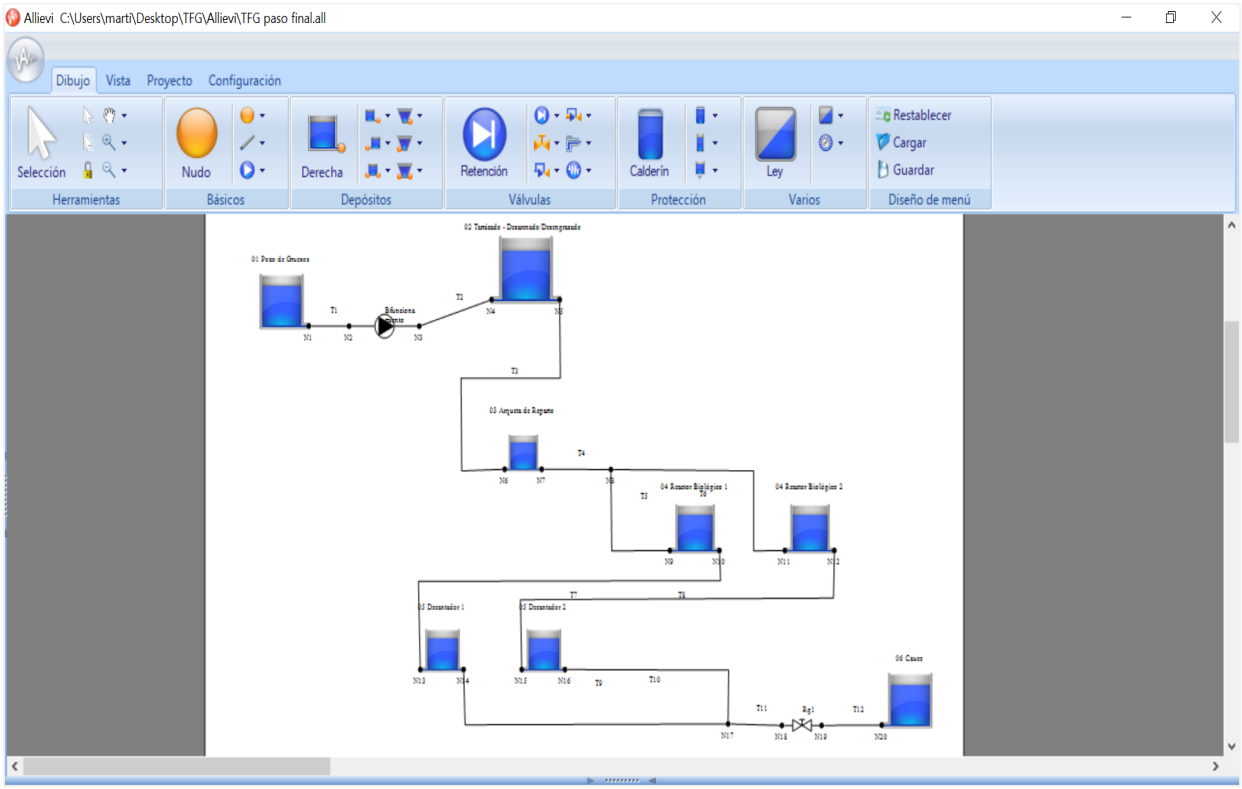


Figura 28. Esquema final de la planta.

La *Figura 28* muestra el esquema final diseñado en Allievi. La estructura resulta muy similar a los esquemas anteriormente realizados así como a la EDAR real. Como nuevas aportaciones se encuentra la fusión de los anteriores depósitos 02 Tamizado y 03 Desarenado – Desengrasado, la incorporación de los depósitos restantes y la válvula reguladora.

La denominación y orden final de los depósitos consiste en:

- 01 Pozo de Gruesos
- 02 Tamizado – Desarenado/Desengrasado
- 03 Arqueta de reparto
- 04 Reactor Biológico
- 05 Decantador
- 06 Cauce

A continuación se mostrarán los valores correspondientes a cada uno de los depósitos.

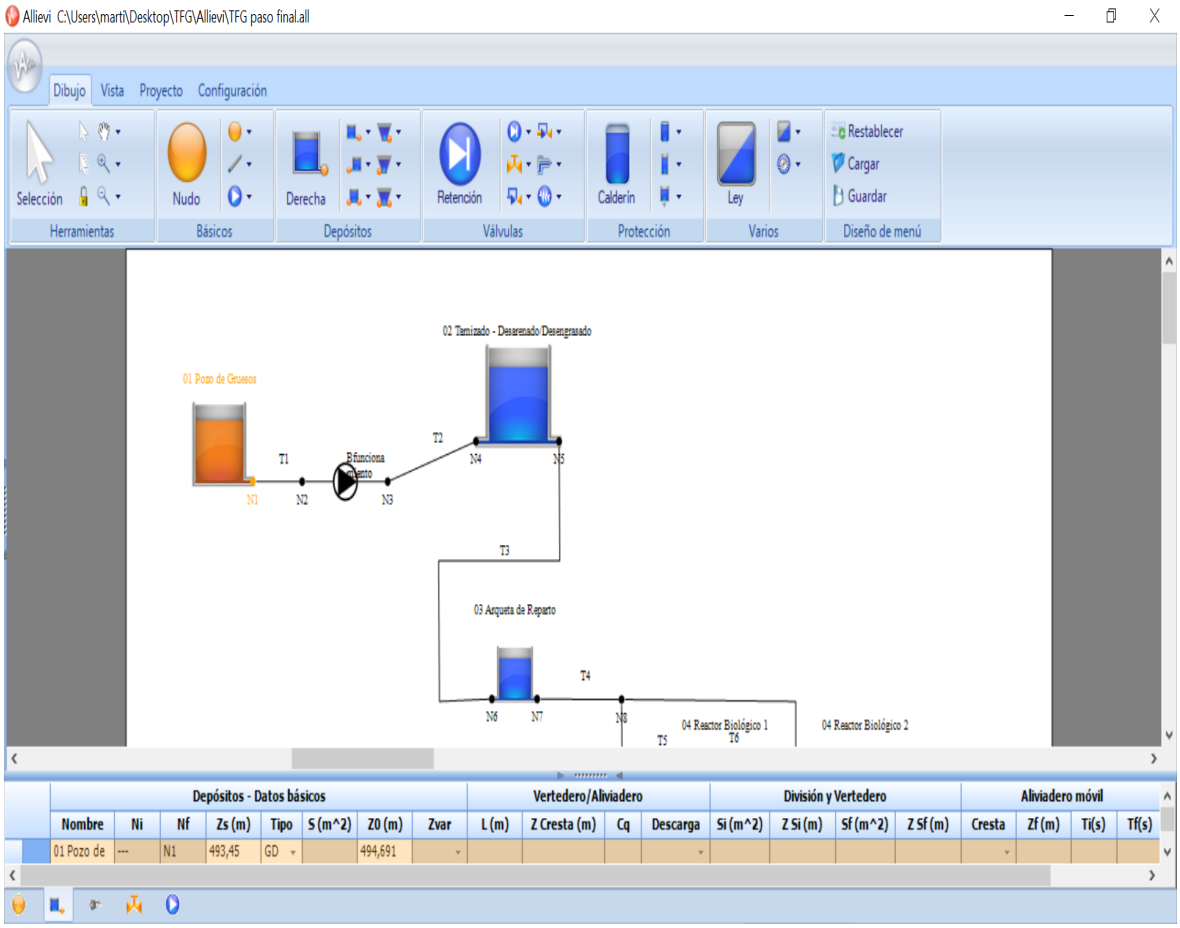


Figura 29. Pozo de gruesos final.

Los valores del pozo de gruesos se mantienen igual que anteriormente, con un nivel de agua de 494,691 m. Su cota de solera es de 493,45 m. Nótese nuevamente que el comando de Tipo: GD (grandes dimensiones) está activado, no debido a su tamaño real, ya que no se trata de uno de los depósitos de mayor tamaño de la EDAR, si no que esto se realiza para conseguir que el nivel de agua del depósito no varíe a lo largo del transitorio, simulando de esta manera un conducto de llegada que aporta un caudal de 25 m^3/h constante.

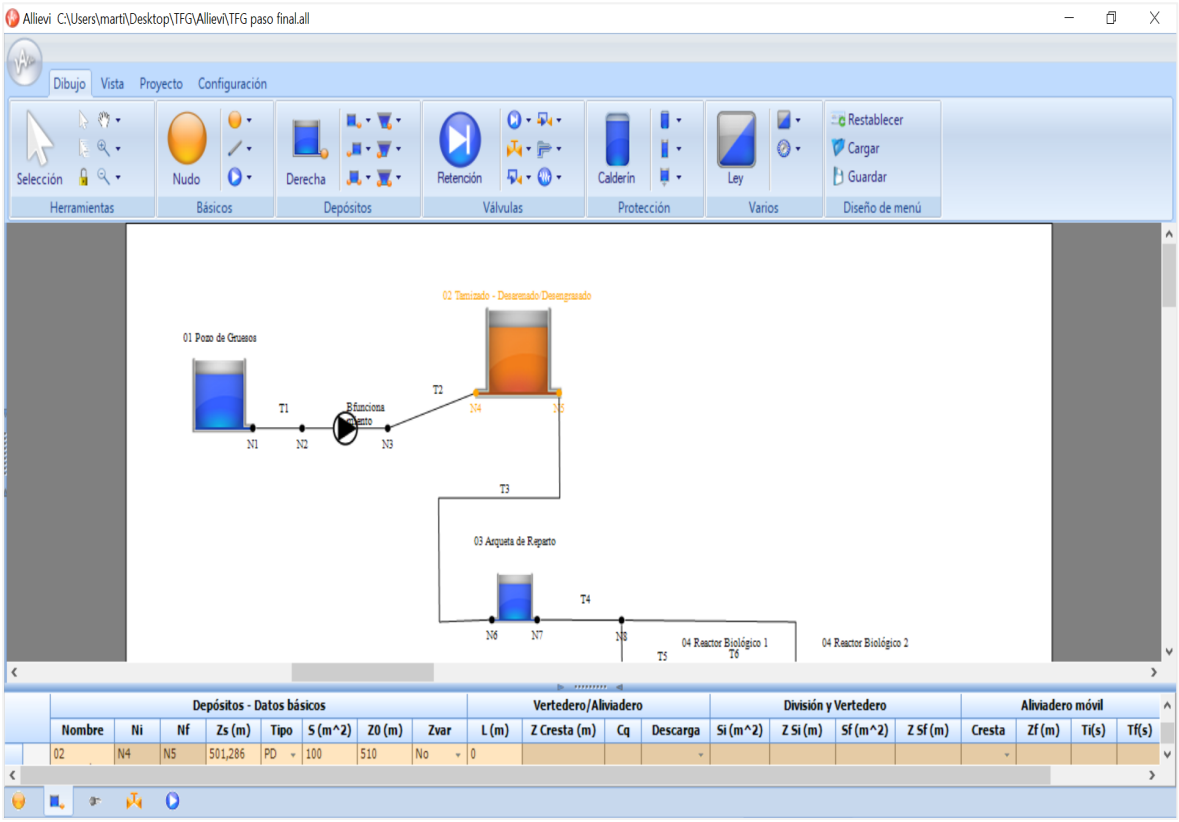


Figura 30. Tamizado/Desarenado/Desengrasado.

Como se ha comentado anteriormente, el siguiente depósito 02 Tamizado – Desarenado/Desengrasado está formado a partir de la combinación de los dos depósitos. Se puede apreciar que la casilla de longitud de Vertedero/Aliviadero se encuentra desactivada con longitud nula ya que el funcionamiento del proyecto se veía comprometido. La combinación de ambos forma uno de los depósitos más grandes de toda la planta, alcanzando

una superficie de 100 m^2. De la misma manera que en los apartados anteriores, se trata de un depósito de pequeñas dimensiones. Su cota de solera, lugar de recepción del agua previamente bombeada en la estación de bombeo es de 501,286 m. El nivel de agua teniendo en cuenta la fusión de los dos depósitos se ha establecido en 510 m para poder simular el transitorio sin posibilidad de que éste se vacíe.

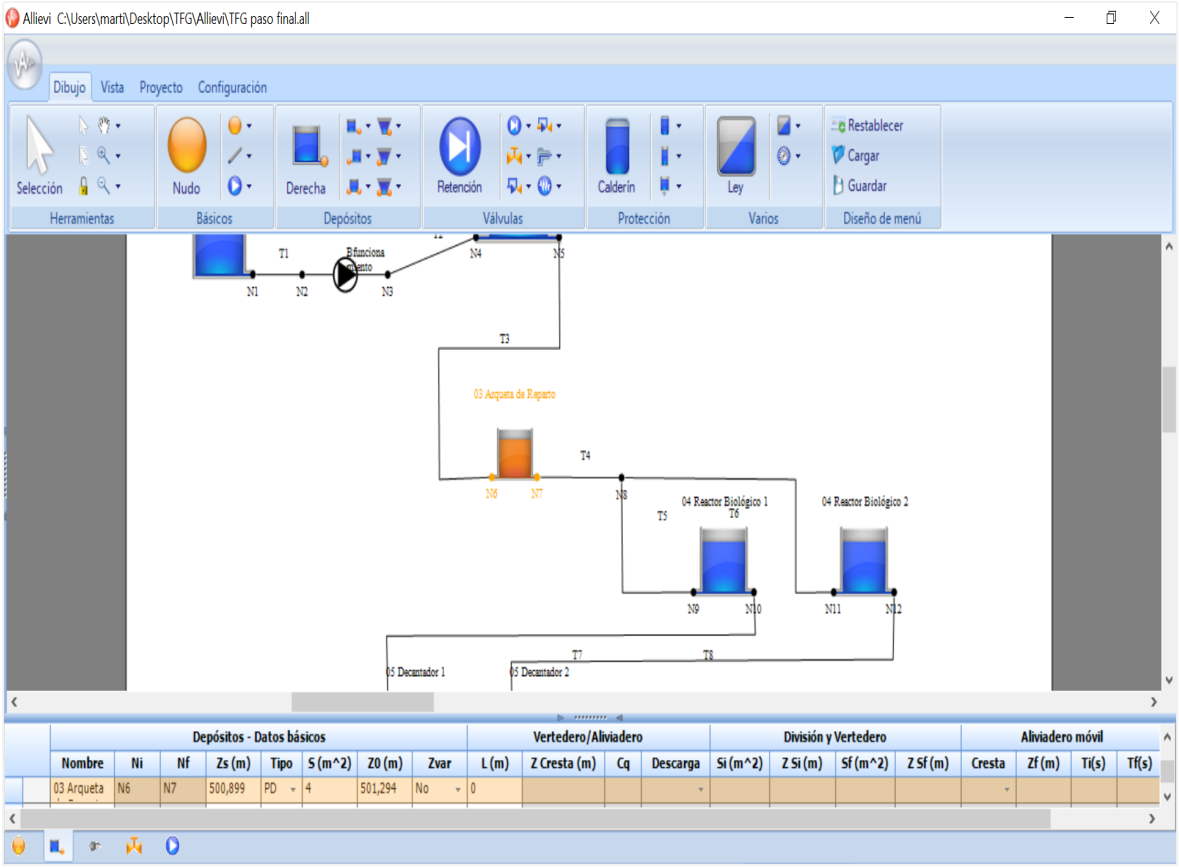


Figura 31. Arqueta de reparto.

La arqueta de salida de 4 m^2 resulta claramente un depósito de pequeñas dimensiones, que a pesar de que su nivel de agua de 501,294 m, no es considerablemente alto comparado con su cota de solera 500,899 m, no corre riesgo de vaciado durante el transitorio gracias al flujo de agua que le llega constantemente del depósito 02.

Figura 32. Reactores biológicos.

Los reactores biológicos son los depósitos de mayor tamaño de toda la planta. Su superficie abarca 150 m^2 y tienen una capacidad máxima de casi 600 m^3 cada uno. Ambos reactores son idénticos y contribuyen a una parte de gran relevancia dentro de los procesos de depuración. El agua llega por la cota solera de 500,59 m y su nivel de agua inicial es de 504 m.

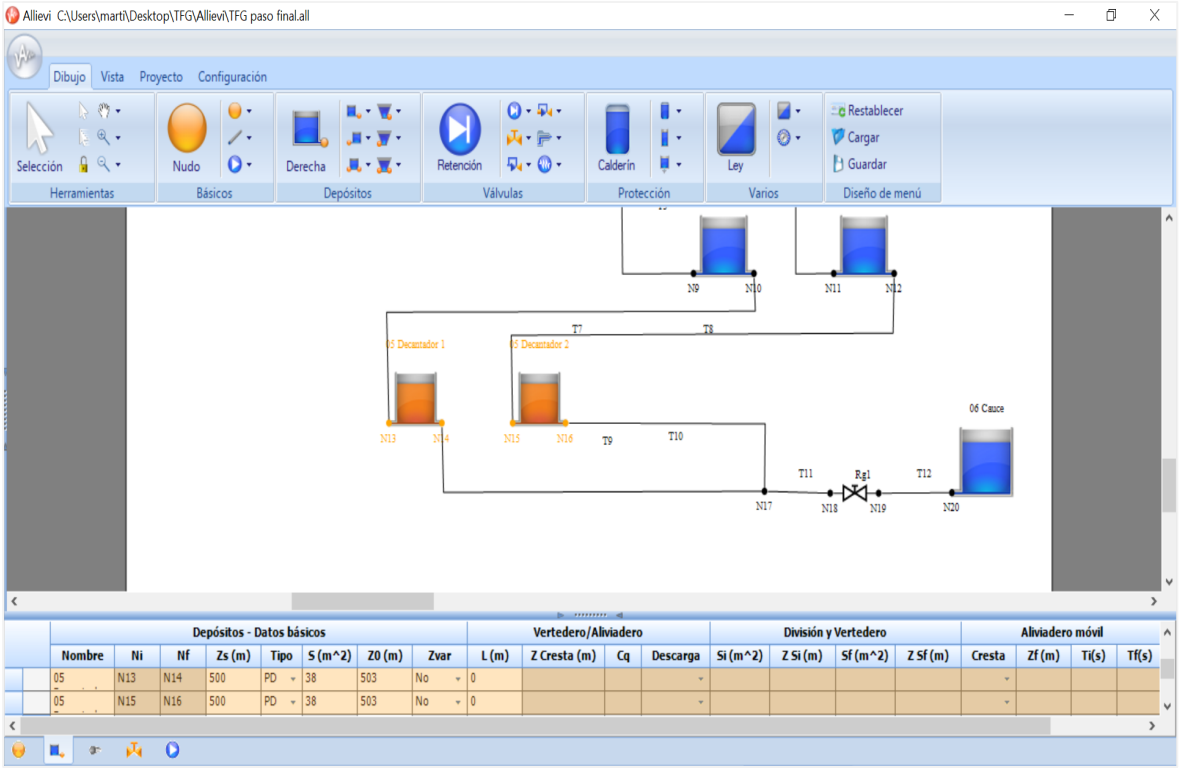


Figura 33. Decantadores.

Los decantadores de la misma manera que los reactores biológicos son idénticos el uno del otro. A pesar de su considerable tamaño, con una superficie de depósito de 38 m^2 no tendría sentido considerarlos como depósitos de grandes dimensiones ya que resulta de interés estudiar el cambio en el nivel de agua que sufren los mismos. La cota solera es de 500 m, cercana al nivel del cauce para que el sistema continúe funcionando gracias a la gravedad. El nivel de agua en condiciones iniciales para el caso nominal es de 503 m.

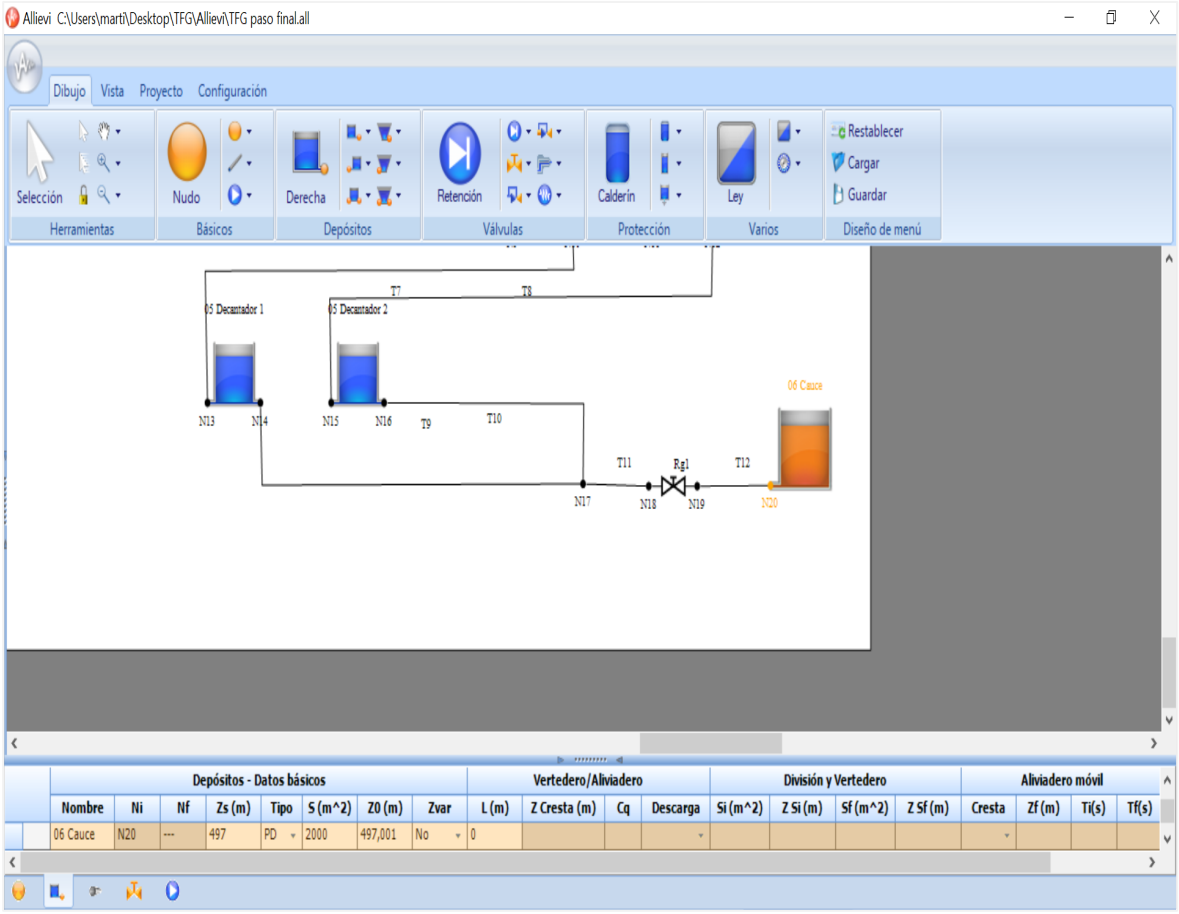
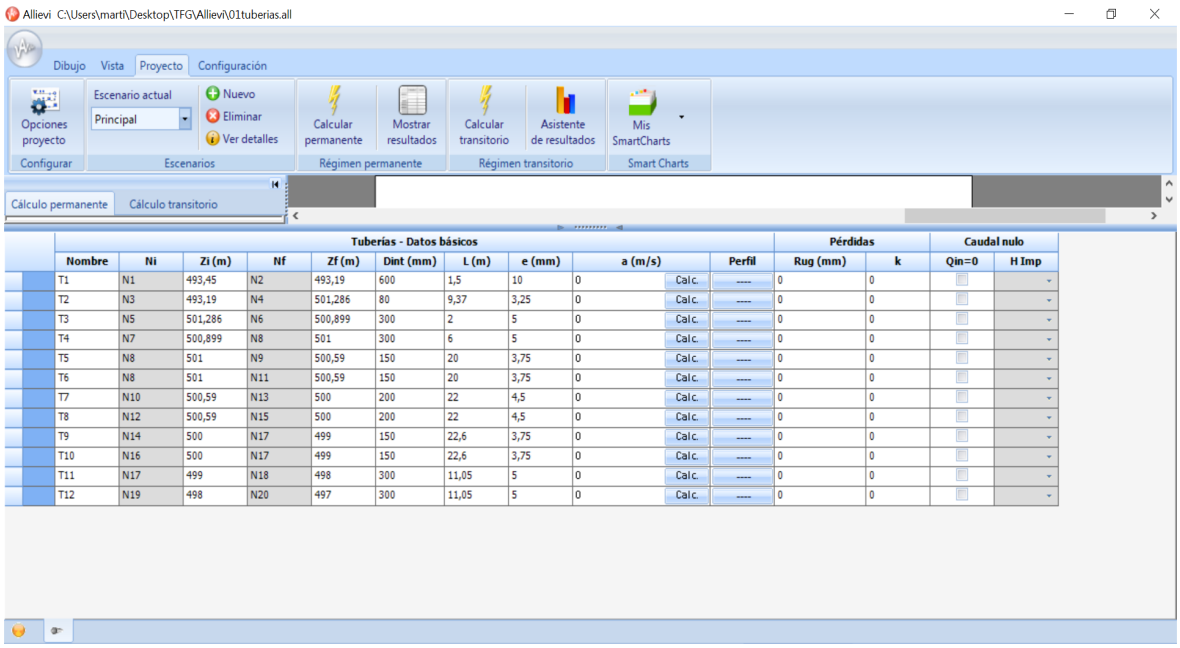


Figura 34. Cauce.

A la hora de introducir los valores del depósito que representa el cauce, inicialmente se optó por aplicarle condiciones de Tipo: GD (grandes dimensiones) ya que la cota del río nunca se va a ver realmente afectada a pesar de la cantidad de agua tratada vertida. Sin embargo, de cara a realizar el estudio del funcionamiento de la planta a caudal nominal, resulta de gran interés simular el depósito 06 Cauce como un depósito de pequeñas dimensiones pero con una superficie mucho mayor que las del resto de los depósitos. De esta manera podremos comprobar si la estación está funcionando adecuadamente y ver si de esta manera el nivel de agua del cauce varía de alguna manera aunque sea un valor despreciable debido a su gran superficie.

El diseño de las tuberías no se ha visto modificado si lo comparamos con los datos proporcionados sobre la EDAR para poder realizar el presente proyecto. Debido a que el software únicamente presentaba problemas con depósitos y canales, no ha sido necesario el cambio de ninguna medida.



	Tuberías - Datos básicos											Pérdidas		Caudal nulo	
	Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)		Perfil	Rug (mm)	k	Qin=0	H Imp
	T1	N1	493,45	N2	493,19	600	1,5	10	0	Calc.	----	0	0		
	T2	N3	493,19	N4	501,286	80	9,37	3,25	0	Calc.	----	0	0		
	T3	N5	501,286	N6	500,899	300	2	5	0	Calc.	----	0	0		
	T4	N7	500,899	N8	501	300	6	5	0	Calc.	----	0	0		
	T5	N8	501	N9	500,59	150	20	3,75	0	Calc.	----	0	0		
	T6	N8	501	N11	500,59	150	20	3,75	0	Calc.	----	0	0		
	T7	N10	500,59	N13	500	200	22	4,5	0	Calc.	----	0	0		
	T8	N12	500,59	N15	500	200	22	4,5	0	Calc.	----	0	0		
	T9	N14	500	N17	499	150	22,6	3,75	0	Calc.	----	0	0		
	T10	N16	500	N17	499	150	22,6	3,75	0	Calc.	----	0	0		
	T11	N17	499	N18	498	300	11,05	5	0	Calc.	----	0	0		
	T12	N19	498	N20	497	300	11,05	5	0	Calc.	----	0	0		

Figura 35. Tuberías paso final.

El valor del espesor de las tuberías está sacado de la norma ISO R-65 mm para tuberías de acero. En cuanto a las pérdidas no se tendrá en cuenta ni la Rugosidad ni la K ya que se tratan de cálculos hidráulicos a caudal nominal en un caso ideal. Una vez más, comentar que la celeridad "a" se considera nula ya que no se quieren realizar cálculos relacionados con el golpe de ariete.

Nótese que, en la parte final del diseño, en la última tubería anterior a la llegada del agua tratada al cauce natural la presencia de una válvula de mariposa. Esta válvula no aparece en los datos previamente proporcionados para estudio de la planta ya que es inexistente. Sin embargo, se ha añadido con el fin de comprender mejor el funcionamiento de la planta a la hora de analizar los resultados.

La válvula tiene las siguientes características:

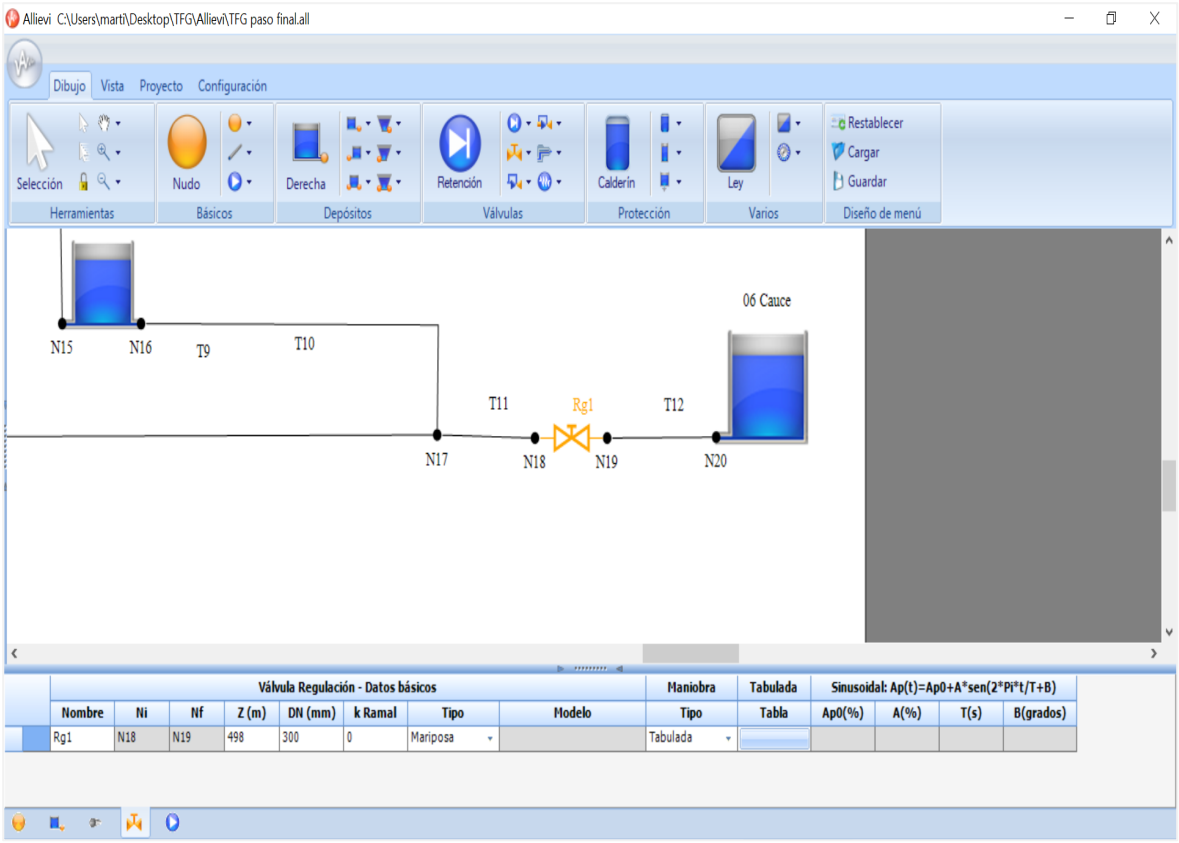


Figura 36. Válvula paso final.

A la hora de escoger el tipo de válvula de regulación en Allievi existen varios tipos, ya sea de mariposa, esférica, de compuerta, de globo, de diafragma o comercial. Se ha escogido una del tipo mariposa con un diámetro nominal igual al de la tubería T11 y T12 de 300 mm. El tipo de maniobra de esta válvula puede ser o bien tabulada o bien sinusoidal. Se ha escogido tabulada para que pueda ser controlada de la siguiente manera:

Figura 37. Funcionamiento válvula.

De esta manera se busca que a partir del segundo 20, la válvula se vaya abriendo poco a poco hasta alcanzar a los 50 segundos su máxima apertura. Gracias a esto se podrán interpretar de mejor manera los resultados obtenidos en el cauce.

Por último, es necesario hablar del diseño de la bomba rotodinámica. Como se ha comentado anteriormente, en los datos proporcionados se conoce de la presencia de cinco bombas diferentes. Dos de ellas son de caudal grande y las tres restantes de caudal pequeño. Las bombas de mayor tamaño impulsan un caudal nominal de 62,5 m^3/h (17 l/s) mientras que las de menor tamaño impulsan un caudal nominal de 25 m^3/h (7 l/s). Para el caso a estudiar, el caudal que atraviesa la EDAR es el nominal de 25 m^3/h (7 l/s), por lo que solo es necesario el funcionamiento de una de las bombas pequeñas. Para caudales superiores al nominal, sería necesario realizar una combinación óptima de funcionamiento, con el objetivo de conseguir una buena eficiencia energética. El caudal máximo que puede circular a lo largo de la planta es de 187,5 m^3/h (52 l/s). Para este caso máximo, sería necesario que las cinco bombas estuviesen funcionado simultáneamente ya que el caudal máximo que son capaces de bombear es de 200 m^3/h (56 l/s).

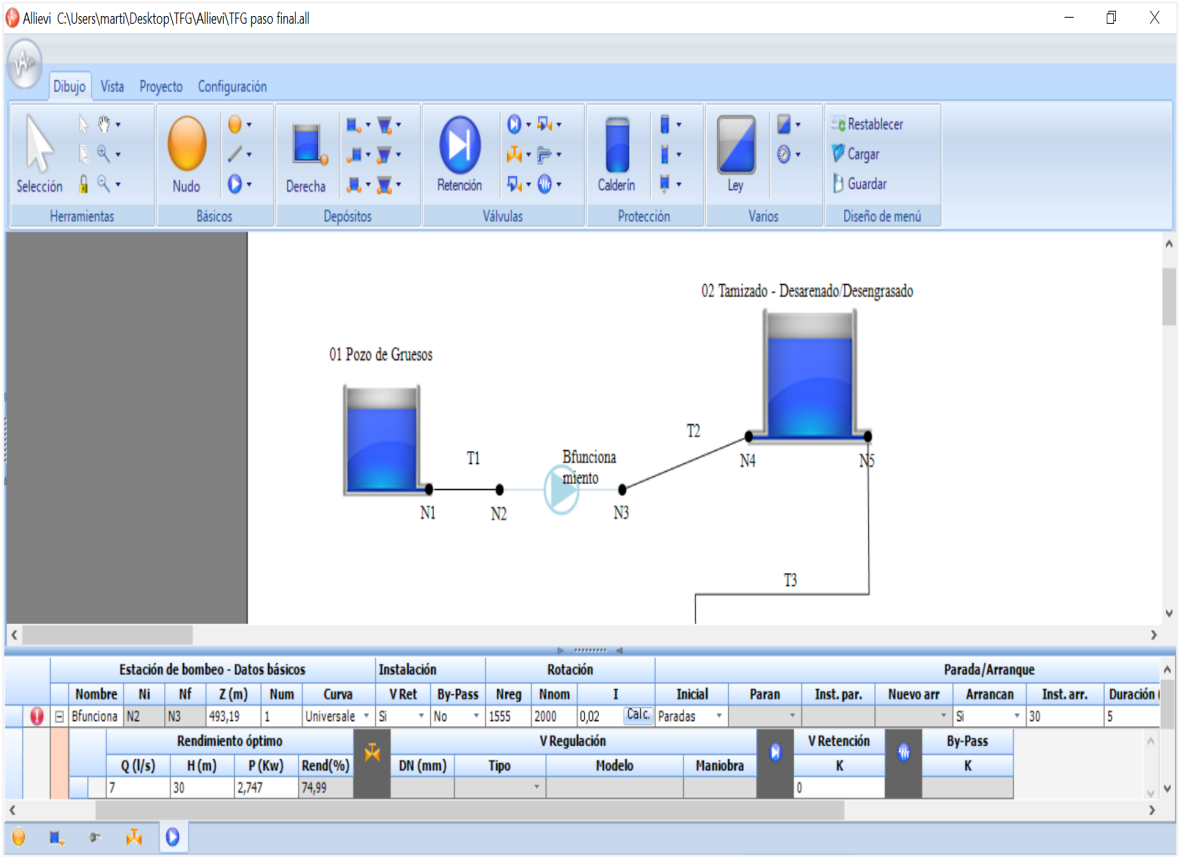


Figura 38. Condiciones bomba final.

De la *Figura 38* es necesario comentar varias cuestiones. Los valores nominales coinciden con los del punto de máximo rendimiento o rendimiento óptimo. La bomba trabajando en su punto de máximo rendimiento aporta un caudal de 7 l/s, una altura de 30 m y consume una potencia en su eje de 2,747 kW. El rendimiento óptimo es del 74,99% a 2000 rpm. Es necesario aportar a la bomba una válvula de retención para prevenir una posible inversión del flujo debido a la presencia de más de una bomba. Para la curva universal escogida y una velocidad nominal de 2000 rpm, la bomba deberá estar girando a 1555 rpm para alcanzar el caudal nominal.

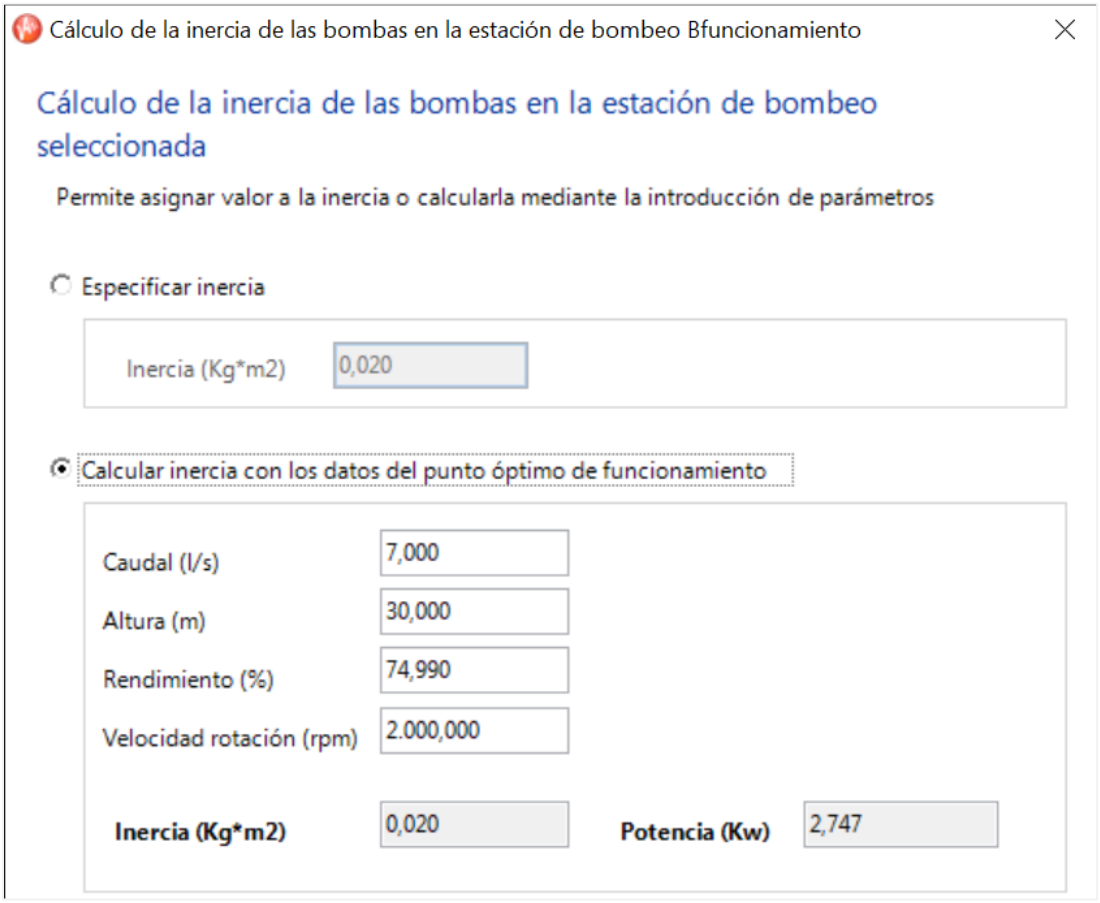


Figura 39. Inercia de la bomba.

En esta figura se observa cómo el programa Allievi nos calcula la inercia de la bomba introduciendo los datos de caudal, altura, rendimiento y velocidad de rotación.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo de análisis de resultados se comentarán todos los cálculos hidráulicos realizados gracias al programa Allievi.

Sobre el cálculo del régimen permanente cabe destacar que se ha realizado con éxito en 321 iteraciones. A continuación, aparecen algunos de los valores obtenidos:

Resultados del régimen permanente

Resultados del régimen permanente. Escenario: Principal

Permite visualizar los resultados del cálculo para el régimen permanente, seleccionando el tipo de elemento

	Nombre	H(m)	Pr(m)
1	N3	510.00	16.81
2	N2	494.69	1.50
3	N1_fin	494.69	1.24
4	N1	494.69	1.24
5	N9	504.00	3.41
6	N10	504.00	3.41
7	N11	504.00	3.41
8	N12	504.00	3.41
9	N13	503.00	3.00
10	N14	503.00	3.00
11	N15	503.00	3.00
12	N16	503.00	3.00
13	N20	497.00	0.00
14	N20_fin	497.00	0.00
15	N17	503.00	4.00
16	N18	503.00	5.00
17	N19	497.00	-1.00
18	N6	501.29	0.40
19	N7	501.29	0.40
20	N4	510.00	8.71
21	N5	510.00	8.71
22	N8	501.39	0.39

Figura 40. Régimen permanente.

Llama la atención la presión en los nodos N18 y N19, que son los nodos de entrada y salida de la válvula. Esta caída de presión de 5 hasta -1 se debe a la pérdida de carga. El coeficiente de pérdidas menores k expresa la relación entre la pérdida de carga y la energía cinética del flujo por unidad de peso, esto sucede ya que el agua llega con presión baja a la válvula. Sin embargo, una presión negativa puede provocar graves daños en la instalación, ya sea una deformación o una rotura de las tuberías. En este caso todo parece indicar que el sistema se encuentra demasiado justo de altura manométrica de la línea de agua. Por ese mismo motivo, sería recomendable modificar el diseño para que el cálculo de régimen permanente no se viese afectado por este fenómeno.

En cuanto a los resultados del cálculo hidráulico en régimen transitorio, todos los resultados serán analizados para un tiempo de simulación de 200 segundos. No obstante, se aumentará este tiempo si fuese necesario para el análisis de algún caso concreto.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con respecto a los niveles de agua de los depósitos:

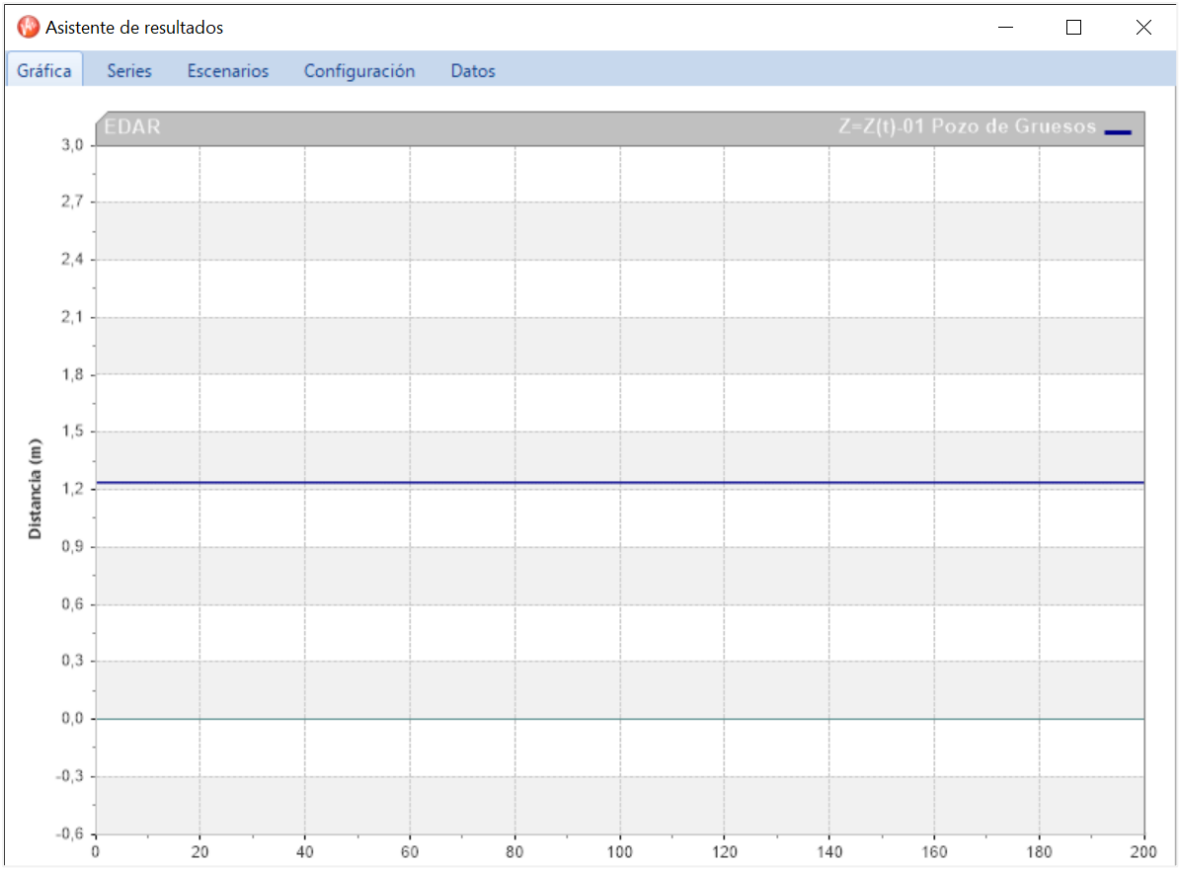


Figura 41. Nivel pozo de gruesos.

Como se ha comentado anteriormente, el pozo de gruesos ha sido dotado de la característica de depósito de grandes dimensiones. Es por eso mismo, que el nivel de agua no se ve afectado en ningún momento del tiempo ya que se considera un depósito de dimensiones infinitas. Si cambiásemos las condiciones de este depósito por uno de pequeñas dimensiones, con una superficie de 100 m^2, el nivel de agua comenzaría a disminuir hasta llegar a vaciarse:

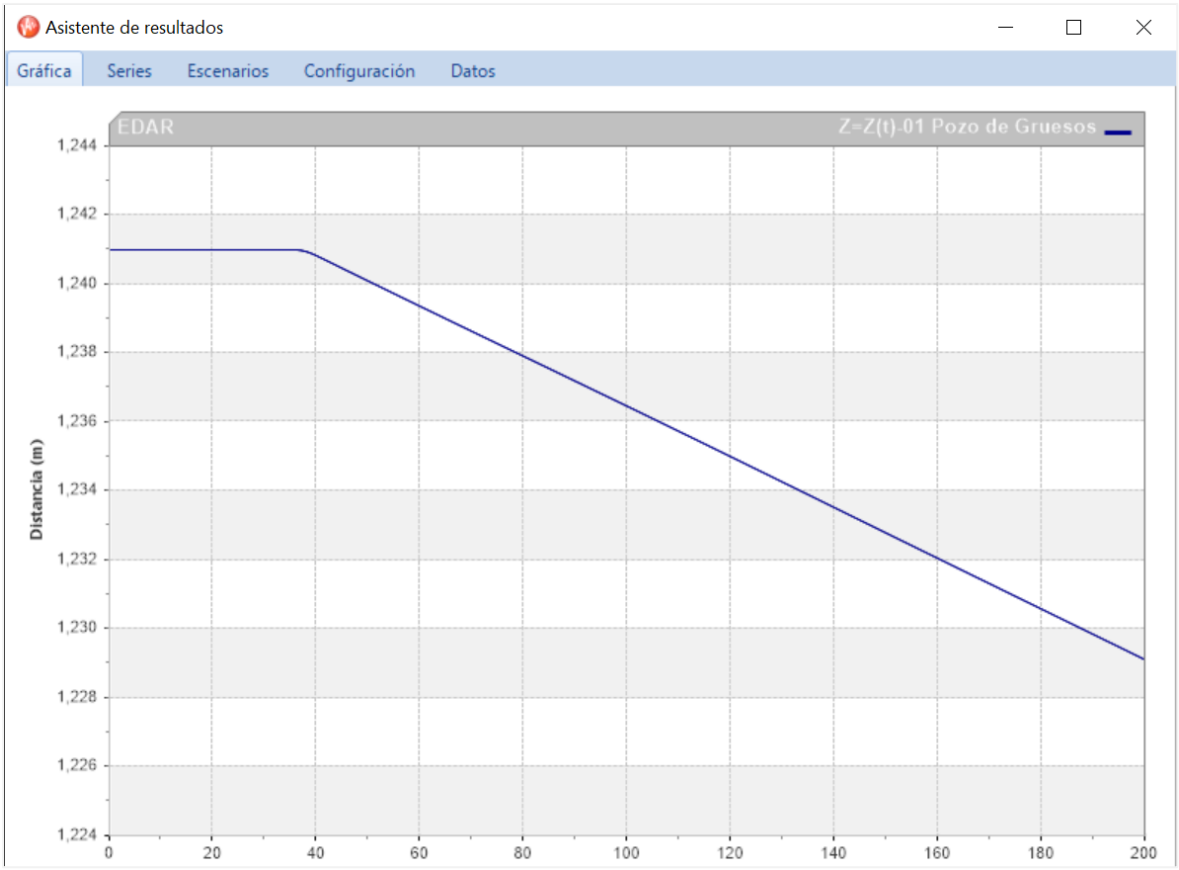


Figura 42. Pozo de gruesos PD.

El nivel de agua comenzaría a disminuir de manera lineal ya que únicamente consta de una salida por la tubería T1 de diámetro 600 mm.

En cuanto al caudal que sale por el depósito se pueden encontrar esos 7 l/s buscados:

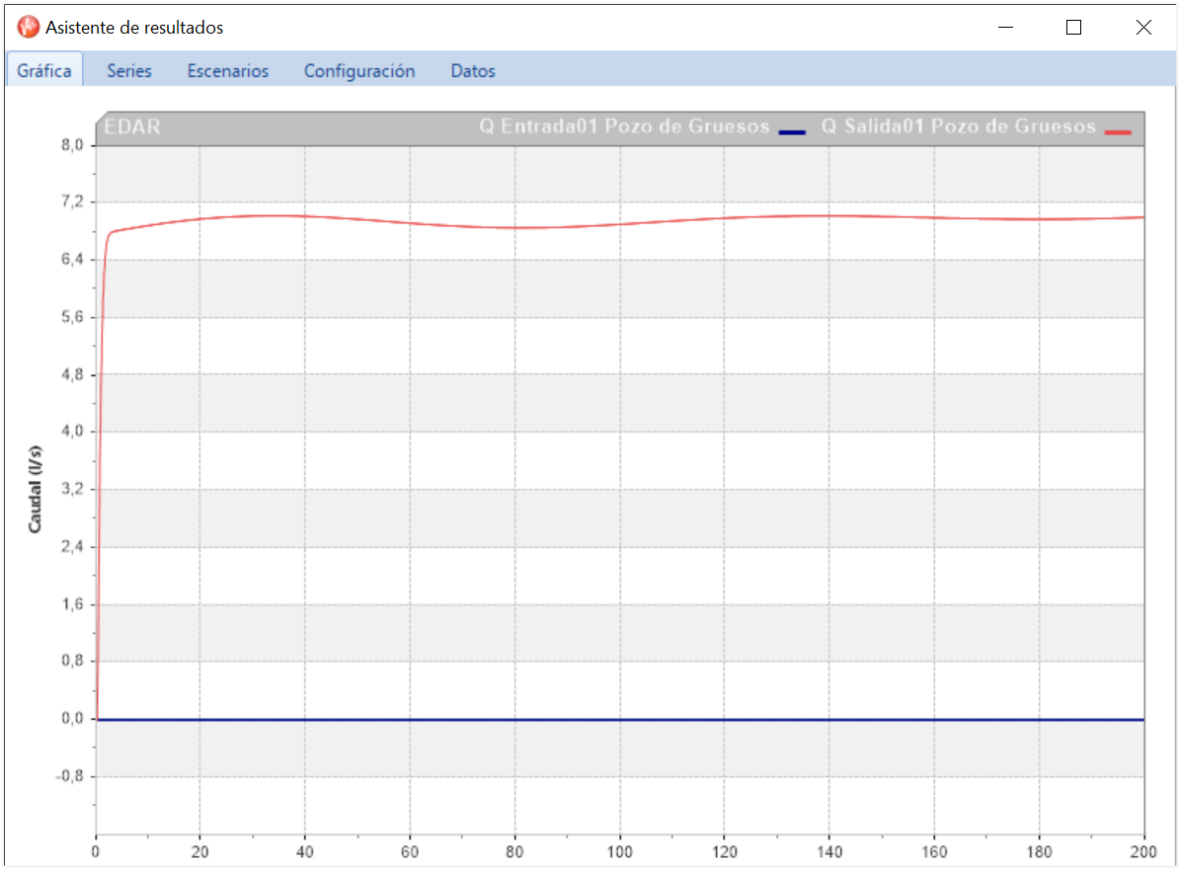


Figura 43. Caudal pozo de gruesos.

Como es lógico, el caudal de entrada en el depósito es nulo durante toda la simulación. Por otro lado, se aprecia como el caudal de salida del pozo de gruesos (el que finalmente atravesará toda la estación) alcanza un valor de prácticamente 7 l/s.

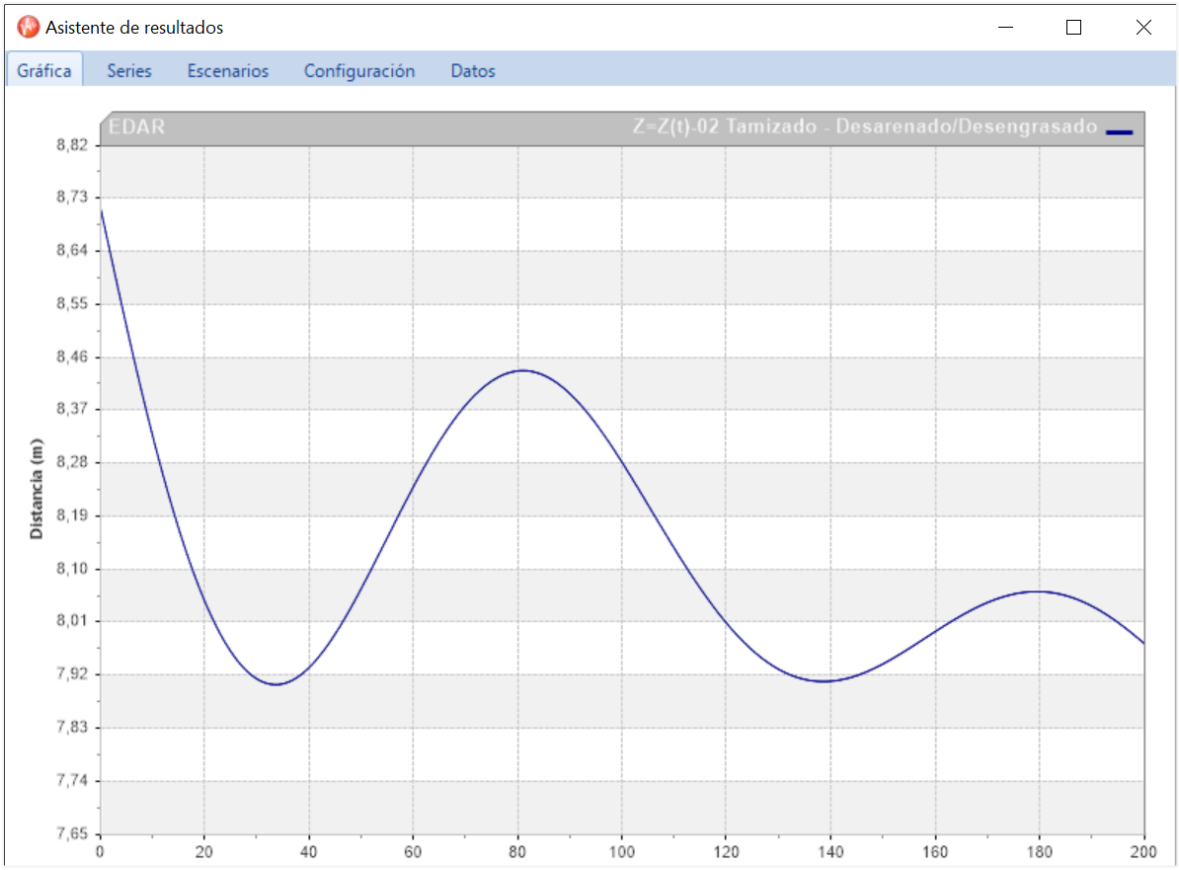


Figura 44. Nivel de agua Tamizado.

En la *Figura 44* aparece representado el nivel de agua en el depósito 02 Tamizado – Desarenado/Desengrasado. Inicialmente el valor de este nivel de agua se encuentra en unos 8,67 m y comienza a disminuir ya que se trata de un depósito con un conducto de entrada y otro de salida. Debido a que se ha programado la bomba rotodinámica para que arranque en el segundo 30, no es hasta ese momento que se puede notar un cambio en la pendiente. El flujo de agua es únicamente saliente hasta ese instante. A partir de ese momento, el nivel de agua del depósito comienza a estabilizarse poco a poco amortiguando la gráfica. De esta manera se consigue un nivel de agua relativamente constante con el tiempo.

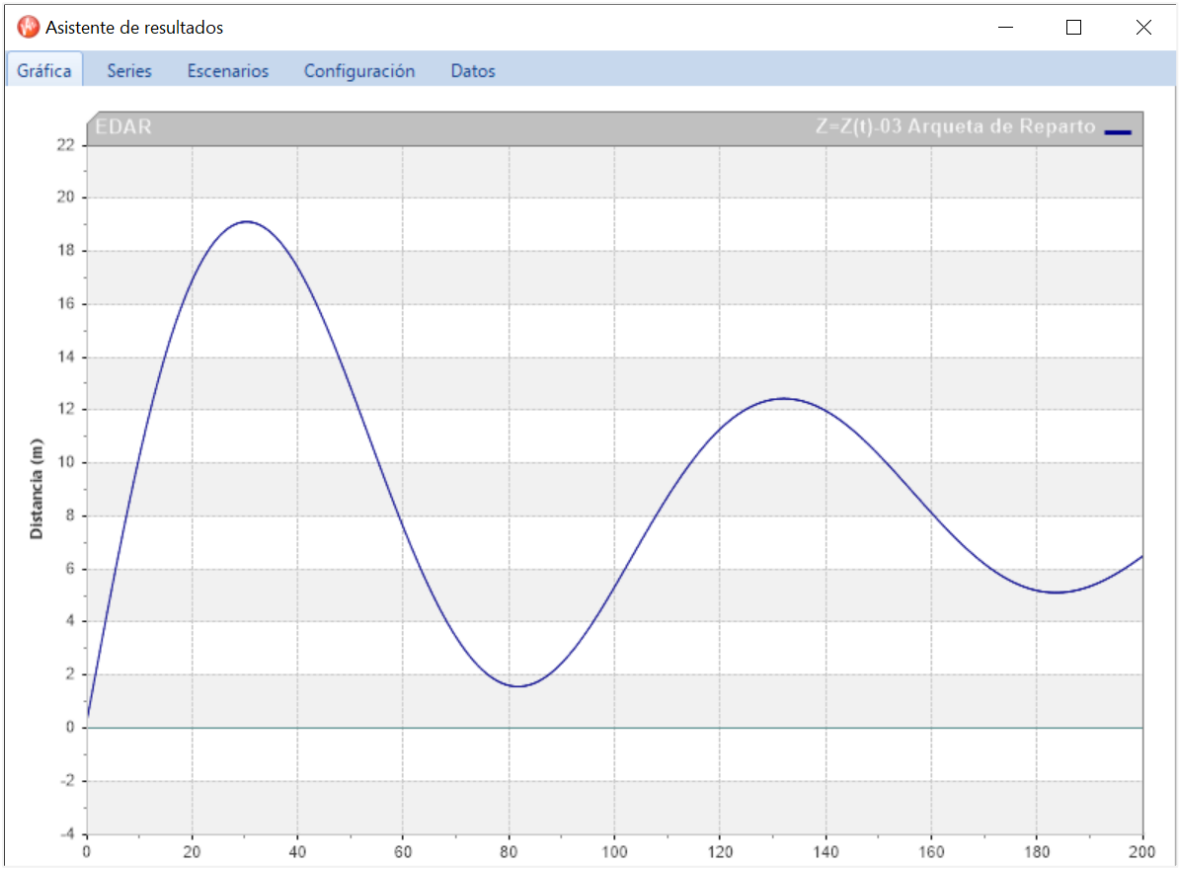


Figura 45. Nivel de agua Arqueta Reparto.

En el depósito 03 Arqueta de Reparto ocurre algo similar. En este caso, todo el agua que se encuentra inicialmente en el depósito 02 avanza directamente hacia la arqueta de reparto. Es por eso que en comparación con la gráfica del tamizado, ésta comienza con una pendiente ascendiente hasta que más adelante en el tiempo comienza a estabilizarse debido al equilibrio entre su flujo de entrada y su flujo de salida. Aumentando el tiempo de simulación se puede apreciar de mejor manera esta estabilización del nivel del agua a lo largo del tiempo.

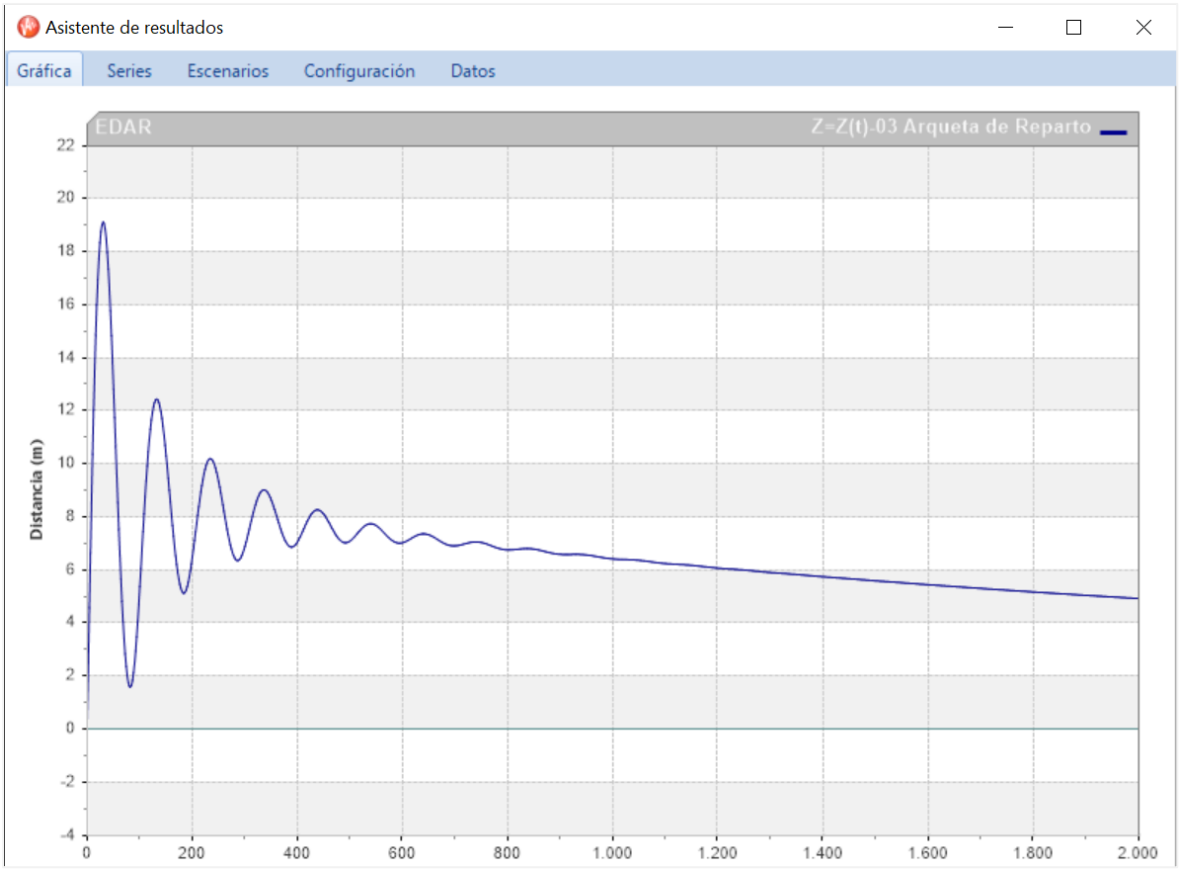


Figura 46. Arqueta 2000 segundos.

Aumentando el tiempo de simulación diez veces más del actual como en la *Figura 46*, alcanzando los 2000 segundos de simulación, se puede ver cómo efectivamente el nivel de agua en la arqueta termina estabilizándose en un valor cercano a los 4 m.

Las curvas tanto de los reactores biológicos como de los decantadores no varían demasiado con respecto a las de la arqueta. Resultan de la misma manera depósitos con entrada y salida de flujo donde el nivel de agua se estabiliza pasado un tiempo.

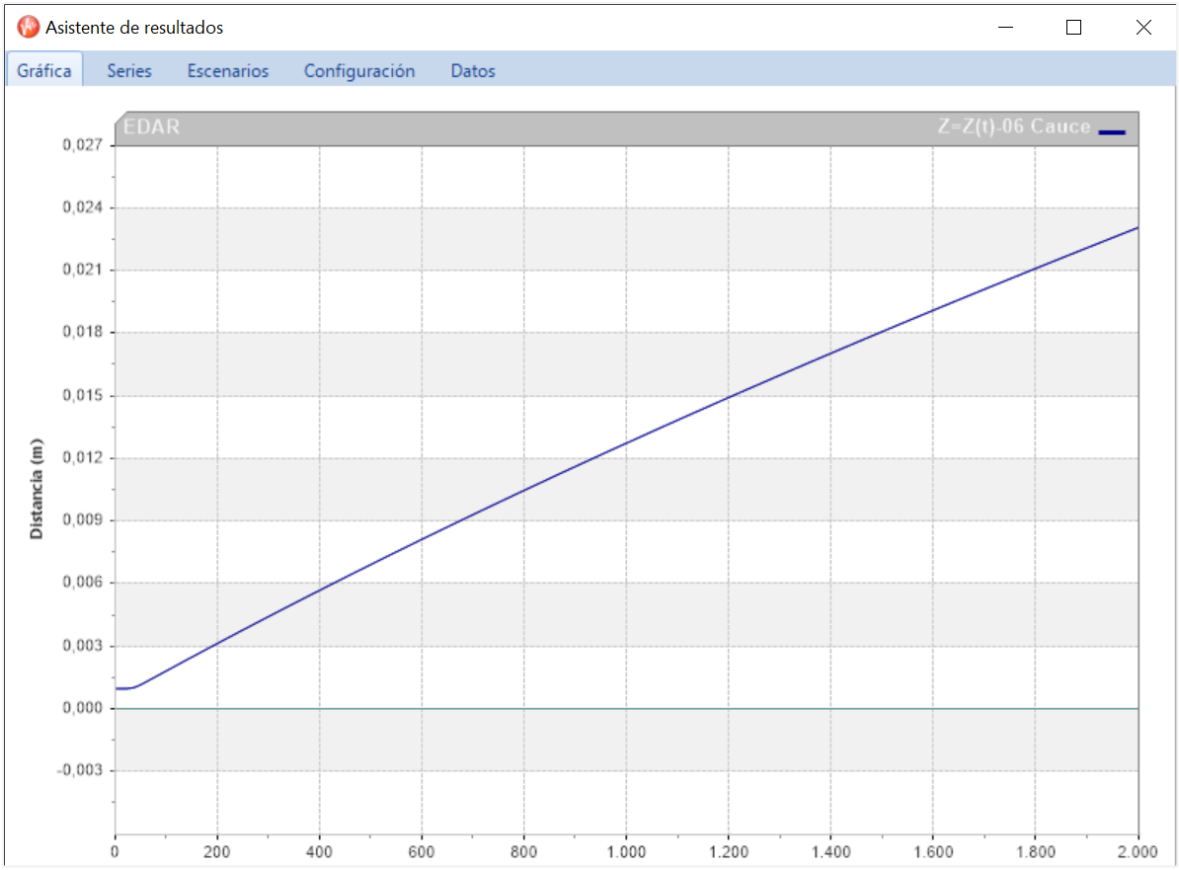


Figura 47. Nivel final cauce.

Con el fin de poder observar el efecto final que tenía la planta se decidió configurar el depósito 06 Cauce como un depósito de pequeñas dimensiones con nivel de agua variable. Sin embargo se escogió un área de depósito muy elevada para simular la magnitud que tiene, en este caso, un río. Dicha hipótesis se ve respaldada en la *Figura 47*, ya que en 2000 segundos de tiempo de simulación el nivel de agua del río ni siquiera alcanza los 24 mm de aumento. No obstante, fácilmente se puede apreciar la ascendencia de la gráfica debido a que todo el agua tratada es devuelta al cauce natural.

La estación de bombeo es quizás la parte más importante del sistema. Como se ha comentado anteriormente a lo largo del proyecto, se trata de la parte de la depuradora con mayor consumo energético, por eso su correcto funcionamiento es de vital importancia. Debido a que solo es necesario que arranque una de ellas para conseguir bombear el caudal nominal de 25 m^3/h se comentará únicamente dicha bomba.

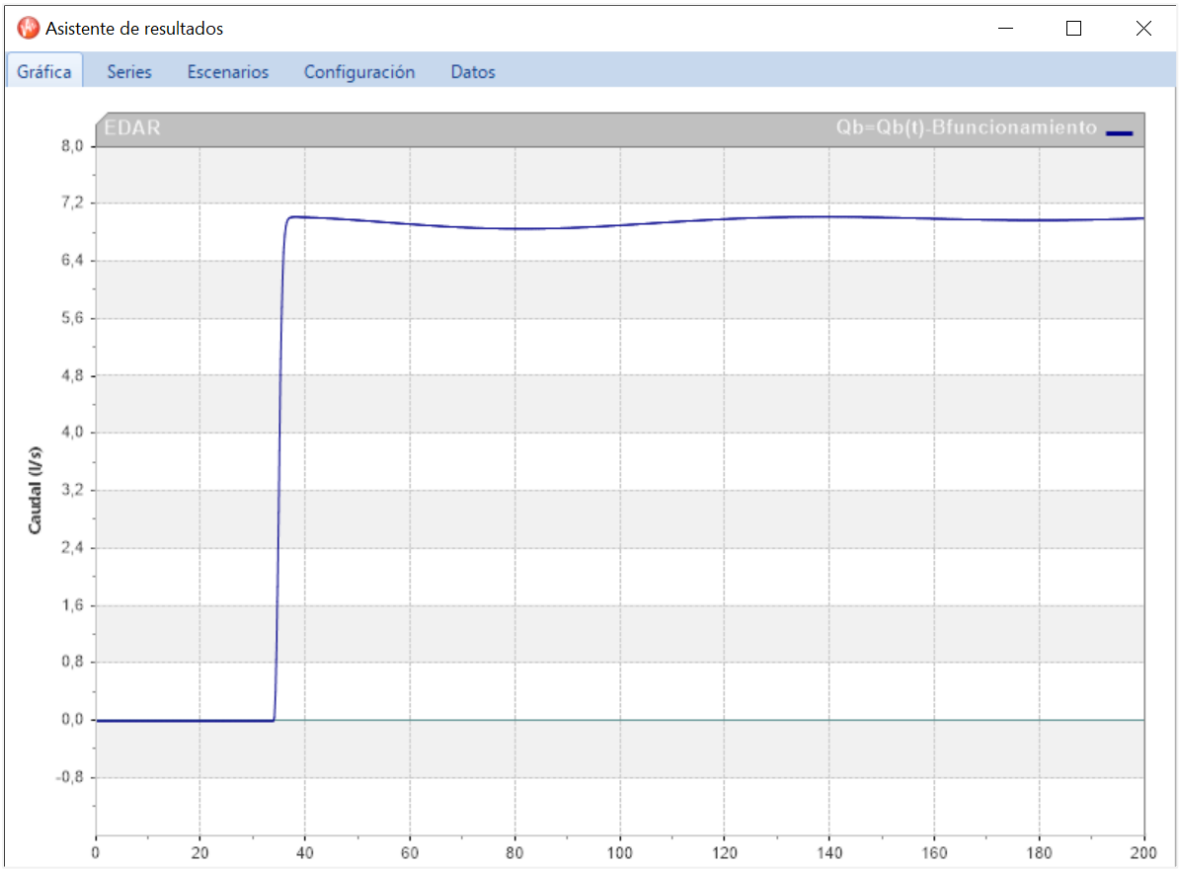


Figura 48. Caudal bombeo.

Lo primero de todo es comentar el caudal que impulsa la bomba. Cabe recordar una vez más que la bomba de impulsión se ha programado para comenzar a girar a los 30 segundos. El tiempo de arrancado es de aproximadamente 5 segundos. Es por ese motivo que el caudal bombeado es nulo hasta llegar a ese instante del tiempo. Este caudal se mantiene contante a lo largo de todo el régimen.

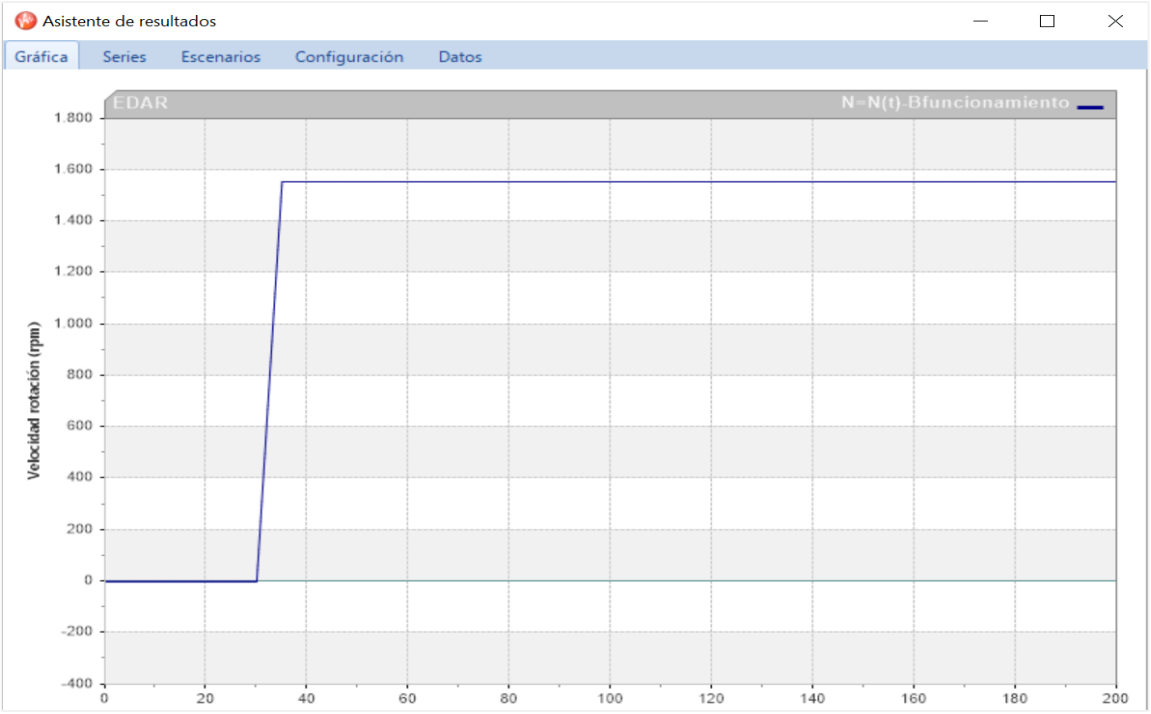


Figura 49. Velocidad de rotación bomba.

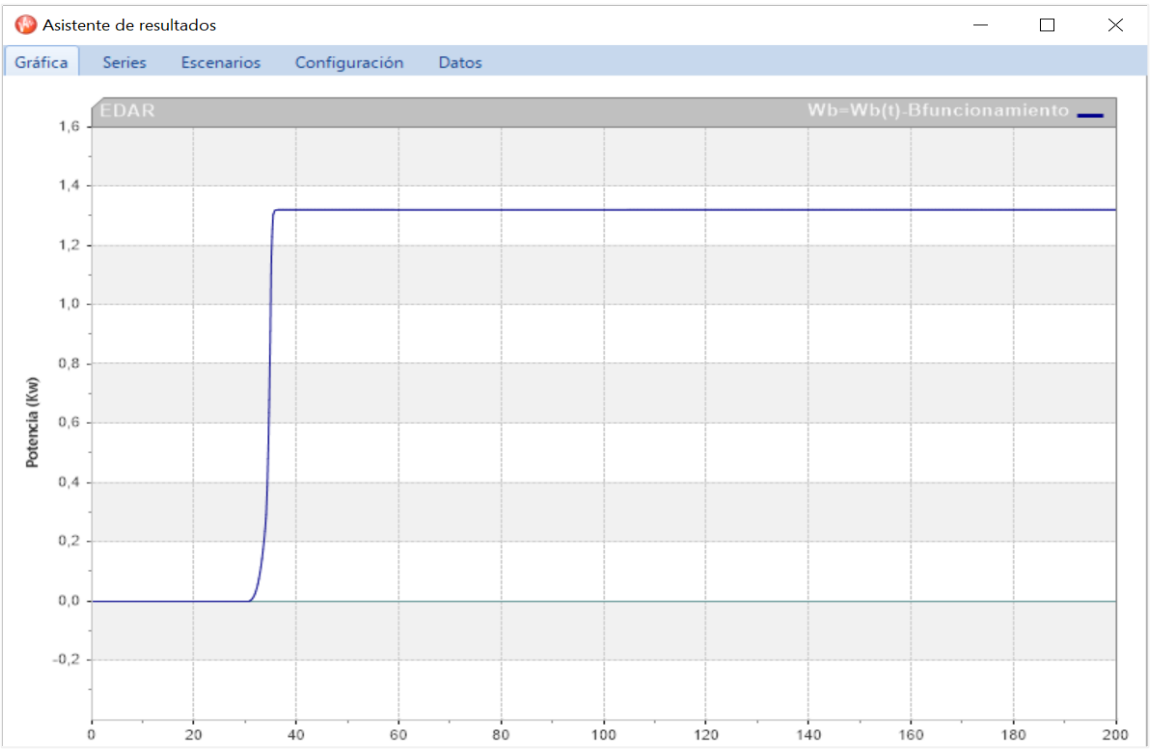


Figura 50. Potencia eje bomba.

De la misma manera que con el caudal ocurre tanto con las revoluciones de la bomba (1555 rpm), como con la potencia en el eje de la bomba, que aumentan en el instante del tiempo de 30 segundos y se mantienen constantes a lo largo de todo el régimen.

La *Figura 49* representa las revoluciones por minuto a las que gira la bomba de manera constante. La *Figura 50* representa la potencia en el eje de la bomba, con un valor ligeramente cercano a los 1,4 kW.

Uno de los aspectos más interesantes de estudio de la bomba es la altura de bombeo, acompañado de la presión en los nudos de entrada y de salida de la misma bomba.

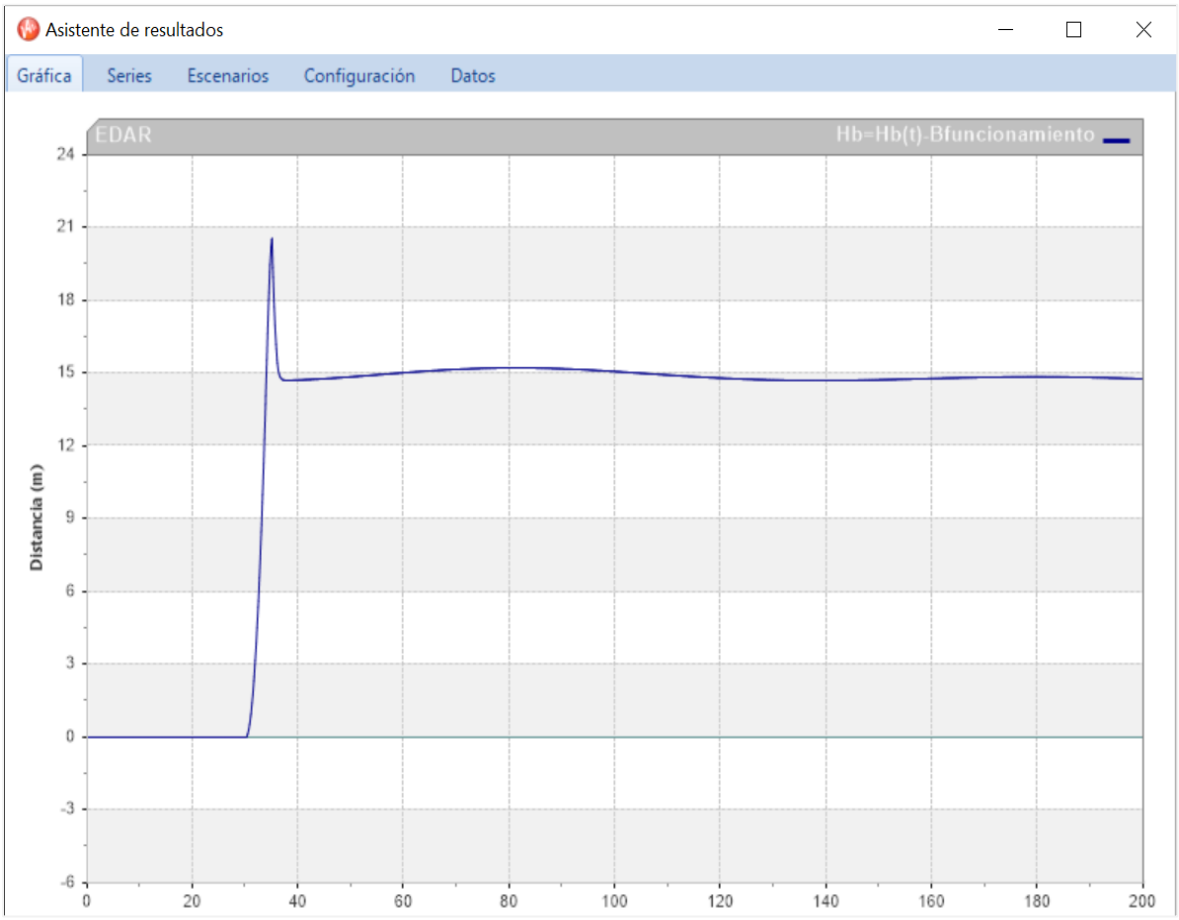


Figura 51. Altura de bombeo.

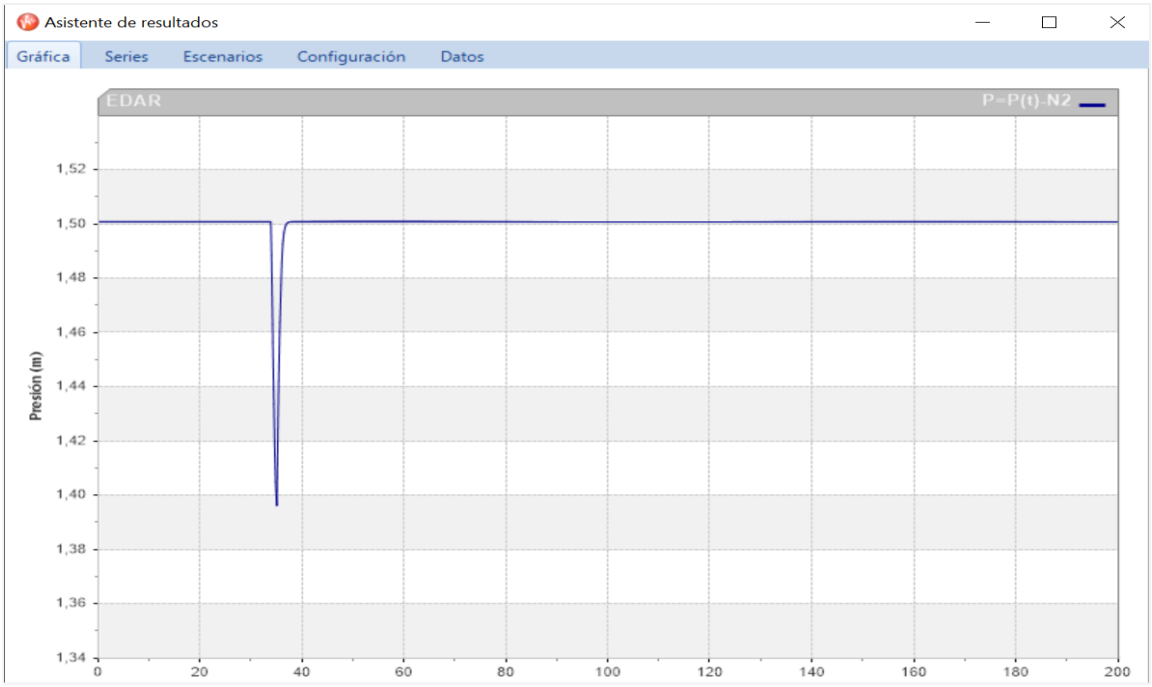


Figura 52. Presión en nudo N2.

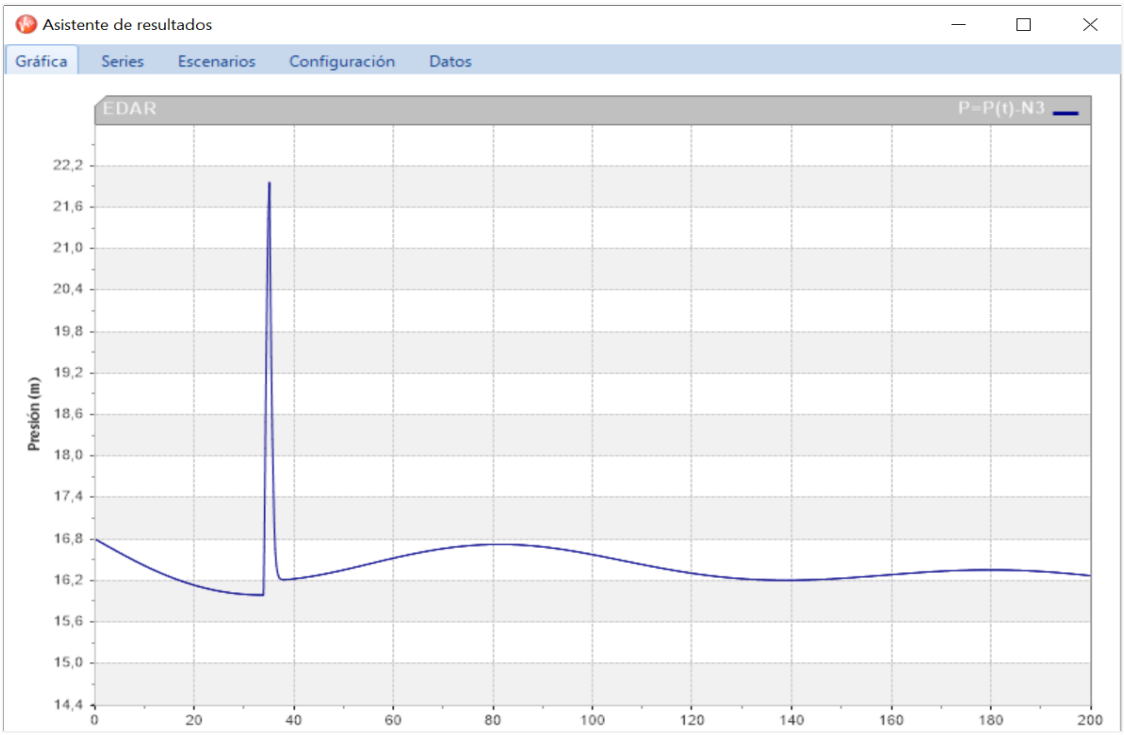


Figura 53. Presión en nudo N3.

Al igual que sucedía en el paso 1, ocurre en los nudos de entrada y de salida de la bomba, N2 y N3 respectivamente, un cambio de presión repentino. Esta caída de presión en la entrada se debe a que la bomba se encuentra en aspiración. Esto facilita la posibilidad de que se genere una cavitación, sin embargo, se comprueba lo siguiente:

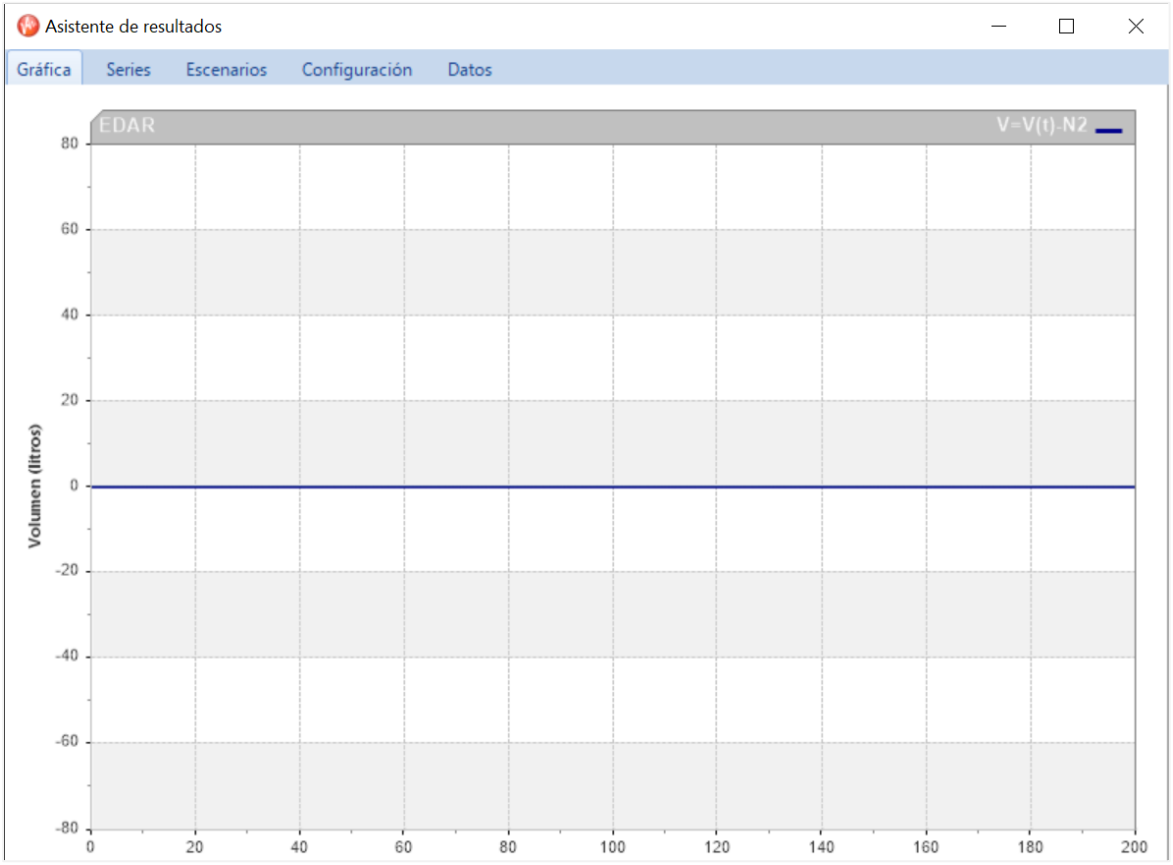


Figura 54. Volumen de cavitación N2.

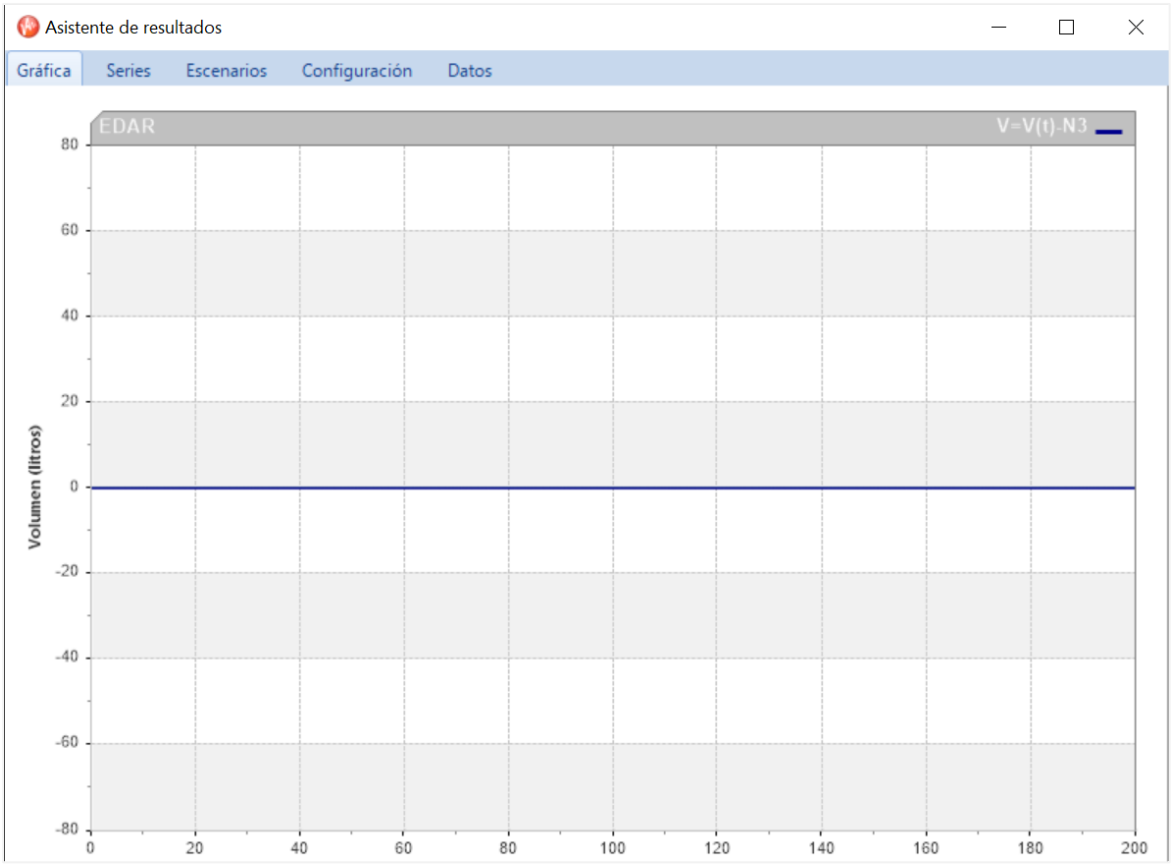


Figura 55. Volumen de cavitación N3.

A pesar de esa caída de presión en el nudo de entrada una vez se arranca la bomba, ésta no corre ningún riesgo de cavitación. En las *Figura 54* y *Figura 55* se puede observar cual es el volumen de cavitación en los nudos N2 y N3 respectivamente. Este valor resulta nulo. En el caso de querer reducir esas variaciones de presión al arrancar la bomba existen unos dispositivos llamados arrancadores de bombas, que consiguen que sea progresivo. Este dispositivo puede llegar a ser esencial para lograr un funcionamiento seguro y eficiente. Su función no es otra que reducir el estrés mecánico y eléctrico del motor. El arranque resulta más controlado y protegido, lo que en consecuencia genera una mayor durabilidad y un ahorro energético.

Durante el proyecto se ha comentado el funcionamiento de la válvula reguladora del final de la depuradora, no obstante, no está de más recordar su funcionamiento.

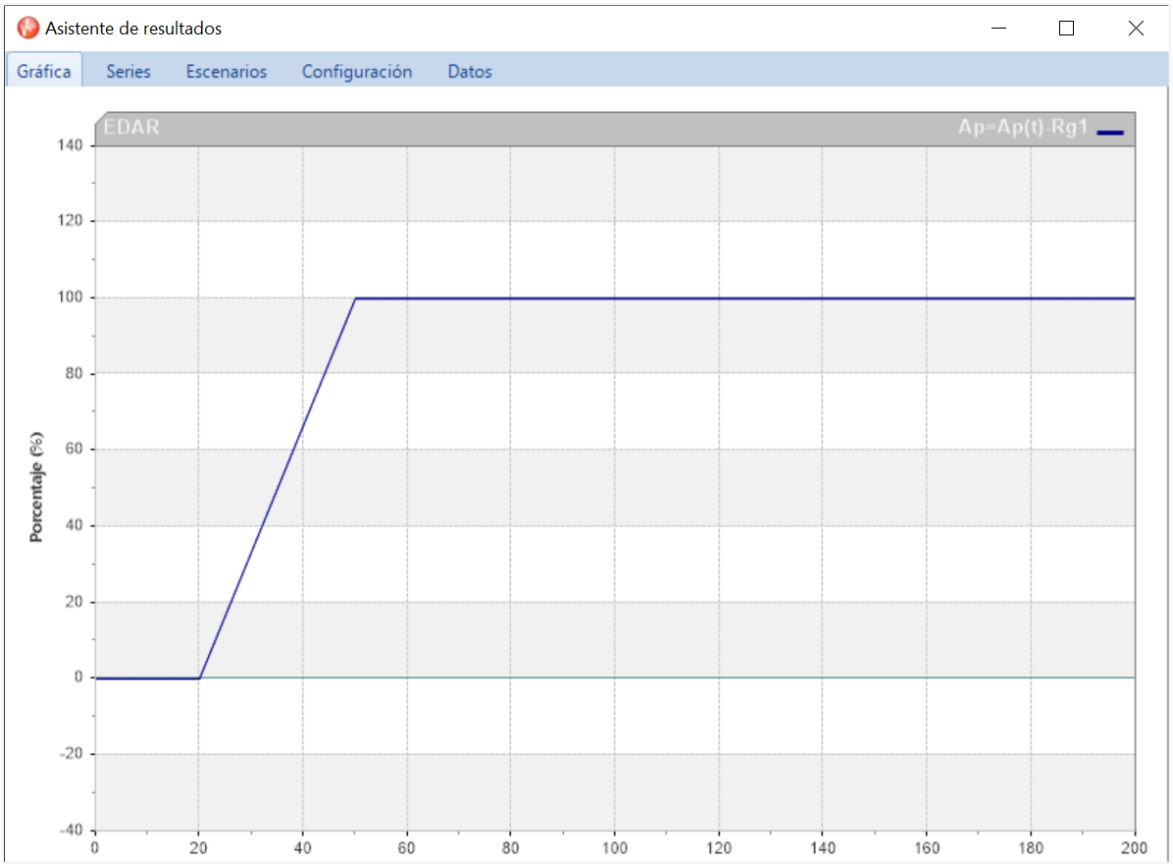


Figura 56. Funcionamiento válvula.

Una vez más en el eje de abscisas de la *Figura 56* nos encontramos el tiempo, con un valor máximo de 200 segundos. El eje de ordenadas indica en este caso el porcentaje de apertura de la válvula. Por lo tanto, fácilmente se puede percibir que la válvula se encuentra totalmente cerrada hasta el segundo 20, cuando se abre poco a poco hasta alcanzar el 100% de apertura a los 50 segundos.

Una gráfica interesante respecto a la válvula de mariposa puede ser la de la *Figura 57* donde se muestra la pérdida de carga en la misma.

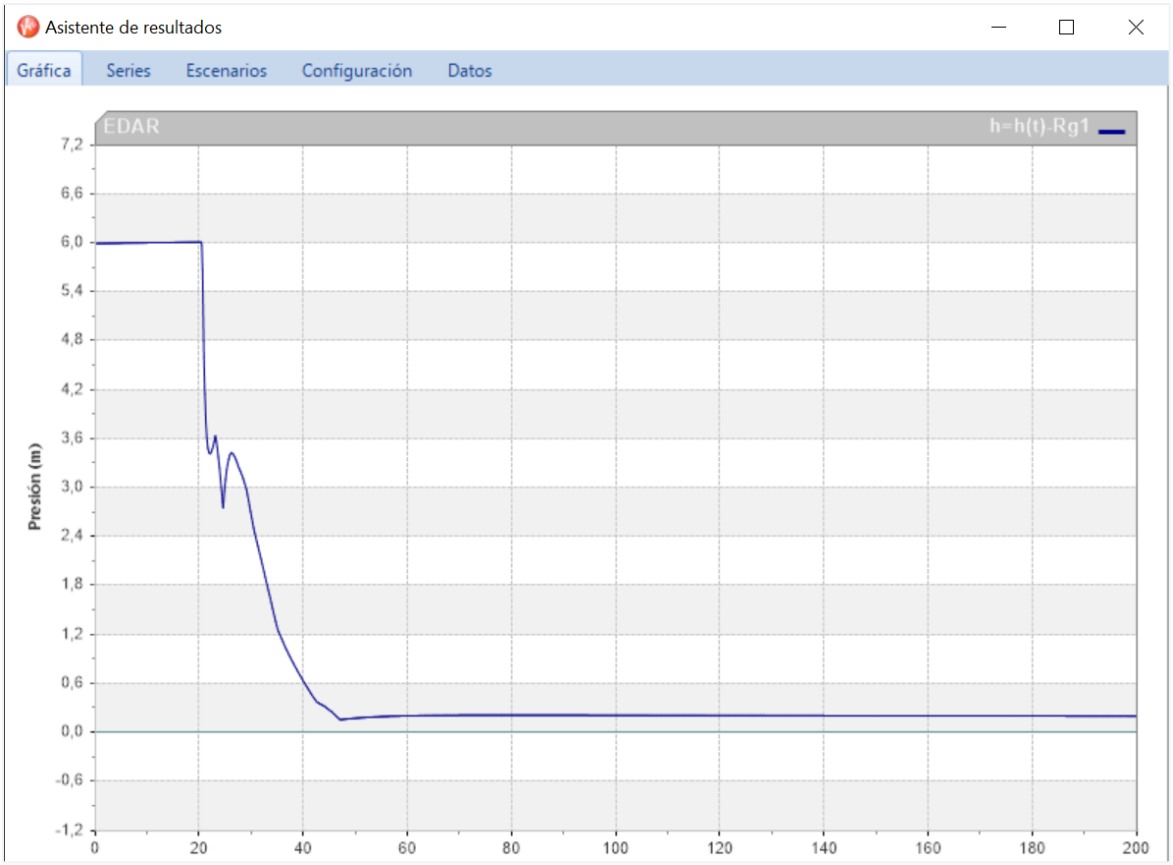


Figura 57. Pérdida de carga válvula.

Las pérdidas de carga en las válvulas de este tipo son de presión. Como inicialmente se encuentra cerrada, la pérdida de carga alcanza los 6 m. Sin embargo, es a los 20 segundos, cuando comienza a abrirse la válvula que sufre un tramo extraño hasta estabilizarse totalmente abierta con una pérdida de carga cercana a los 0 m.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Las EDAR desempeñan un papel crucial a la hora de preservar la calidad medio ambiental y a la hora de preservar la salud pública. Su correcto tratamiento es completamente necesario para hoy en día. A lo largo de este proyecto, se ha profundizado en la comprensión de los complejos procesos y tratamientos que se llevan a cabo en una depuradora, así como en la importancia de optimizar su eficiencia operativa y energética.

La relevancia que tienen este tipo de plantas va más allá de los humanos, poseen la capacidad para mitigar el impacto negativo que tienen los desechos líquidos como pesticidas o fertilizantes. El cuidado de ecosistemas acuáticos, la salud de la vida marina y la protección de la salud humana son factores importantes que dependen de un correcto funcionamiento.

En cuanto al ahorro energético, se destaca como una estrategia prioritaria para la sostenibilidad de las plantas de este estilo. Es debido a su alta demanda energética, ya sea por las bombas, por los reactores biológicos, por sistemas de aireación o por otros procesos que se buscan medidas y tecnologías que sean capaces de reducir estas cifras de consumo. A lo largo del proyecto se han comentado diferentes maneras de poder mejorar esta eficiencia energética en las depuradoras, siendo el ahorro energético predominante el de abastecimiento mediante la generación de biogás a partir de lodos orgánicos. La implementación de medidas de este tipo no solo reduce los costes, sino que a su vez contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Por lo tanto, en el presente proyecto se busca mejorar en distintas facetas el funcionamiento de esta Estación Depuradora de Aguas Residuales. Mejorar una instalación de este calibre implica optimizar su eficiencia operativa, aumentar la capacidad de tratamiento y reducir su impacto ambiental.

Gracias a los cálculos hidráulicos realizados a través del programa Allievi, se puede llegar a comprender de mejor manera la depuradora a estudiar, de manera que la búsqueda de mejoras resulta más sencilla. El principal problema de la estación no viene asociado a los conductos de transportación de agua, sino a la magnitud de los depósitos. Si se consigue aumentar el volumen de algunos de los depósitos disponibles, las mejoras serían considerables. Principalmente ayuda en temas de almacenamiento, ya que esto permite acumular volúmenes mayores de aguas residuales especialmente en momentos de lluvias intensas o si se experimenta un caudal variable durante un periodo alargado del tiempo. De esta manera se evitarían posibles desbordamientos o sobrecargas.

Una mayor capacidad de almacenamiento también puede mejorar la estabilidad operativa, brindando una mayor flexibilidad en el funcionamiento de la depuradora. Esto quiere decir que se dispone de mayor margen de maniobra para poder ajustar los procesos y tratar el agua de manera más uniforme, con el fin de mejorar la eficiencia de cada tratamiento. A su vez, al disponer de mayor tiempo para realizar los tratamientos, es posible optimizar los mismos de manera efectiva, consiguiendo una mayor eliminación de contaminantes. En cuanto al tema económico, al evitar desbordamientos y sobrecargas, los costes asociados con el tratamiento de emergencia y la limpieza de áreas contaminadas se vería notablemente reducido.

Es importante tener en consideración que un aumento en la capacidad de los depósitos debe ser planificado cautelosamente para asegurarse de un buen dimensionamiento, buscando encontrar un uso eficiente de los recursos para poder amortiguar las inversiones necesarias para llevarlo a cabo.

En este apartado de conclusiones, así como de la importancia de las EDAR y de su eficiencia energética, resulta de interés realizar algún comentario sobre el diseño realizado en Allievi. Lo más importante de los cálculos realizados, es poder apreciar el efecto que tiene el ciclo en los depósitos. A pesar de que estos varíen, sobre todo al comienzo de la simulación en régimen transitorio, una gran noticia resulta que todos terminen finalmente estabilizando su nivel, consiguiendo que el proceso de tratado de agua fluya de manera eficiente cuando se

aporta un flujo constante de caudal nominal a la estación depuradora. De esta manera se encuentra lo que se buscaba, un tratamiento efectivo, una estabilidad operativa, una prevención de desbordamientos y un mejor rendimiento de los equipos.

Para finalizar este apartado de conclusiones, sería beneficioso realizar una recopilación de lo aprendido y lo aplicado durante la realización de este proyecto: La principal dificultad que presentaba este trabajo se basaba en la comprensión de la EDAR. Ha sido necesario el meticuloso estudio de cada uno de los tratamientos y procesos disponibles. Gracias a la información previa proporcionada, ha sido posible la comprensión de esta y el análisis más numérico de las dimensiones de la estación.

Como gran reto a la hora de afrontar este proyecto también aparece la dificultad de aprender a utilizar un programa nuevo, en concreto Allievi. Lo más enriquecedor del proyecto ha sido el diseño y el modelado de la planta a partir de la realización de un esquema previo. Así como la comprensión y el análisis de los resultados mostrados, consiguiendo evaluar lo obtenido teniendo sentido crítico.

CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

[1] «Allievi. Software de transitorios en sistemas hidráulicos a presión. Golpe de ariete. ITA. Presentación». Accedido 30 de junio de 2023. https://www.allievi.net/allievi-es.php.

[2] «Crisis energética en España: causas, consecuencias y posibles soluciones - Nova Esfera», 29 de marzo de 2023. https://www.novaesfera.es/crisis-energetica-en-espana-causas-consecuencias-y-posibles-soluciones/.

[3] Editor. «Consumo energético de la depuración en España». ASERSAgua, 25 de junio de 2021. https://www.asersagua.es/consumo-energetico-de-la-depuracion-en-espana/.

[4] «Potencia eléctrica media equivalente para depurar el agua». ASERSAgua, 4 de octubre de 2021. https://www.asersagua.es/potencia-electrica-media-equivalente-para-depurar-el-agua/.

[5] «El consumo energético en las depuradoras de España | Formación de ingenieros». Accedido 29 de agosto de 2023. https://www.tecpa.es/consumo-energetico-depuradoras-espana/.

[6] «Energía Eficiente: la cogeneración energética». Accedido 2 de julio de 2023. https://www.txinzer.eus/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=124&lang=es.

[7] «Esamur». Accedido 29 de agosto de 2023. https://www.esamur.com/.

[8] «Estación depuradora de aguas residuales (EDAR)». Accedido 2 de julio de 2023. https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/saneamiento-depuracion/sistemas/edar/default.aspx.

[9] «Funcionamiento EDAR». Accedido 29 de agosto de 2023. https://iesmunoztorrero.educarex.es/web/aguaserena/activid/edar/edar.htm.

[10] Fundación Aquae. «¿Cómo se depuran las aguas residuales?» Accedido 29 de agosto de 2023. https://www.fundacionaquae.org/estacion-agua-depuradora/.

[11] iAgua, redaccion. «¿Qué es la eutrofización?» Text. iAgua. iAgua, 14 de octubre de 2019. https://www.iagua.es/respuestas/que-es-eutrofizacion.

[12] «Los procesos de depuración de aguas residuales | Formación de ingenieros». Accedido 29 de agosto de 2023. https://www.tecpa.es/tratamientos-procesos-depuracion-aguas-residuales/.

[13] Salas, Juan José. «Criterios básicos para la correcta ubicación de una estación depuradora de aguas residuales». Text. iAgua. iAgua, 28 de diciembre de 2021. https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/criterios-basicos-correcta-ubicacion-estacion-depuradora-aguas-residuales.

[14] «SL». Accedido 29 de agosto de 2023. https://product-selection.grundfos.com/es/products/sl.

[15] «SL1.80.100 .15.4.50D.C». Accedido 29 de agosto de 2023. https://product-selection.grundfos.com/ar/products/sl/sl1/sl180100-98625977.

[16] «Tratamiento secundario de aguas residuales | Formación de ingenieros». Accedido 29 de agosto de 2023. https://www.tecpa.es/edar-tratamiento-secundario-depuracion-aguas/.

[17] https://sifo.comillas.edu/mod/resource/view.php?id=2474758

[18] https://sifo.comillas.edu/mod/resource/view.php?id=2474761