

## **Resumen**

Aquator XV es una aplicación para construir y ejecutar modelos informáticos de recursos hídricos. Lo utilizan las empresas de servicios de agua en el Reino Unido para determinar si las redes de agua pueden suministrar suficiente agua para satisfacer la demanda de los clientes y las agencias ambientales para auditar los modelos de las empresas y desarrollar sus propias políticas sobre extracción de agua.

Este trabajo consiste en una evaluación de la validez de dicho software para realizar estudios básicos de rendimiento de centrales hidroeléctricas. A pesar de las claras capacidades de simulación del programa Aquator XV, en este trabajo también se consideran la facilidad para aprender los conocimientos básicos necesarios para su funcionamiento desde una perspectiva académica.

Por ello, uno de los pilares centrales de este trabajo es la realización de una simulación de una central hidroeléctrica real de funcionamiento en España, la central Saucelle I y II, y una comparativa de los resultados obtenidos mediante Aquator XV y los resultados de una resolución matemática de la misma central en el mismo periodo de tiempo.

Por último, recogiendo todo lo trabajado durante el desarrollo de este trabajo, se ha realizado como anexo una guía básica de usuario para Aquator XV, donde se detallan los conceptos básicos de instalación y ejecución del programa y se muestra el modo de operar con distintos componentes para formar modelos de simulación sencillos y funcionales.

## **Summary**

Aquator XV is an application for building and running computer models of water resources. It is used by water utilities in the UK to determine if water networks can supply enough water to meet customer demand and by environmental agencies to audit company models and develop their own policies on water abstraction.

This work consists of an evaluation of the validity of Aquator XV to carry out basic performance studies of hydroelectric plants. Despite the clear simulation capabilities of the Aquator XV program, this work also considers the ease of learning the basic knowledge necessary for its operation from an academic perspective.

For this reason, one of the central pillars of this work is the realization of a simulation of a real hydroelectric power plant operating in Spain, the Saucelle I and II power plant, and a comparison of the results obtained by Aquator XV and the results of a manual resolution of the same plant in the same period of time.

Finally, collecting everything worked during the development of this work, a basic user guide for Aquator XV has been made as an annex, where the basic concepts of installation and execution of the program are detailed and how to operate with different components to form simple and functional simulation models.

## **Palabras clave**

Aquator XV

Guía de usuario

Recursos hídricos

Central hidroeléctrica

Saucelle

<b>Índice de ilustraciones</b> .....	5
<b>Índice de tablas</b> .....	7
1.    Introducción .....	8
1.1 Motivación .....	8
1.2 Contexto .....	10
1.3 Memoria descriptiva .....	11
2.    Objetivos .....	12
2.1 Objetivo principal .....	12
2.2 Objetivos secundarios .....	12
3.    Alcance del trabajo .....	13
4.    Beneficios que aporta el trabajo .....	14
5.    Análisis del estado del arte .....	15
5.1 Red de suministro de Londres .....	16
5.2 La red del canal .....	17
5.3 El sistema de Zadorra .....	17
6.    Análisis de alternativas .....	19
6.1 Alternativas: Programas .....	19
6.2 Alternativas: Manual de usuario .....	20
7.    Descripción de la solución propuesta. Diseño .....	22
7.1 Estudio de potencia de una central hidroeléctrica .....	22
7.2 Características de Aquator XV.....	23
8.    Caso práctico: Saucelle I y II .....	25
8.1 Objetivo del estudio .....	25
8.2 Localización de la central .....	25
8.3 Datos técnicos de la central Saucelle I y II .....	26
8.4 Análisis energético. Resolución matemática. ....	29
8.4.1 Análisis de saltos .....	29
8.4.2 Análisis de caudal.....	29
8.4.3 Análisis de potencia .....	32
8.4.4 Análisis energético .....	33
8.5 Análisis energético: Aquator.....	34
8.5.1 Implementación y configuración del modelo.....	34
8.5.2 Creación del modelo. ....	35
8.5.3 Componentes del modelo .....	37
8.5.4 Simulación. Aquator.....	52
8.5.5 Resultados y gráficas. Aquator. ....	53
8.5.6 Análisis de resultados.....	59
8.6 Estudio de posibles mejoras. Aquator.....	60

9. Diagrama de Gantt .....	69
10. Presupuesto .....	71
11. Conclusiones .....	72
12. Bibliografía .....	73
Anexo I: Manual de usuario Aquator XV .....	74

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Porcentaje mundial energía hidroeléctrica. Fuente: Banco Mundial .....	9
Ilustración 2 Producciones de energía en España .....	9
Ilustración 3 Ejemplo TURBNPRO KC34. Fuente: Propia .....	15
Ilustración 4 Ejemplo Red de Londres. Fuente: Thames Water .....	17
Ilustración 5 Ejemplo Red del Canal. Fuente: Canal & River Trust .....	17
Ilustración 6 Logo de Aquator. Fuente: Aquator .....	19
Ilustración 7 ArcGIS Water Delivery Model. Fuente: Solutions.arcgis.com.....	20
Ilustración 8 Saltos del Duero. Fuente: Wikipedia.org.....	25
Ilustración 9 Perfil longitudinal del Duero. Fuente: Wikipedia.org .....	26
Ilustración 10 Sección de la presa y detalle de una de las compuertas. Fuente: <a href="http://bioducto.blogspot.com">http://bioducto.blogspot.com</a> .....	27
Ilustración 11 Cuenca hidrográfica del Duero. Fuente: CHD.....	30
Ilustración 12 Distribución mensual de aportaciones (línea) y precipitaciones (barra). Fuente: <a href="http://hispagua.cedex.es/">http://hispagua.cedex.es/</a> .....	31
Ilustración 13 Gráfica potencia mensual.....	33
Ilustración 14 Creación de proyecto. Fuente: Propia .....	35
Ilustración 15 Modelo Saucelle. Fuente: Propia .....	36
Ilustración 16 Parámetros de Catchment. Fuente: Propia .....	37
Ilustración 17 Secuencia de Duero. Fuente: Propia .....	37
Ilustración 18 Time serie Duero. Excel. Fuente: Propia .....	38
Ilustración 19 Contador de filas. Excel. Fuente: Propia .....	38
Ilustración 20 Contador 0 -23 Excel. Fuente: Propia.....	39
Ilustración 21 Media diaria. Excel. Fuente: Propia .....	39
Ilustración 22 Conversión m <sup>3</sup> /s a Ml/día. Excel. Fuente: Propia .....	39
Ilustración 23 Tabla de caudal Duero. Excel. Fuente: Propia .....	39
Ilustración 24 Database Management. Aquator. Fuente: Propia .....	40
Ilustración 25 Time Serie Duero. Plot. Fuente: Propia .....	40
Ilustración 26 Mapa relieve Saucelle. Fuente: GoogleMaps .....	41
Ilustración 27 Superficie Cuenca Saucelle. Fuente: GoogleEarth .....	42
Ilustración 28 Gráfica Time Serie Precipitaciones. Aquator. Fuente: Propia .....	43
Ilustración 29 Caudal de Precipitaciones. Aquator. Fuente: Propia .....	43
Ilustración 30 Time Serie Huebra. Aquator. Fuente: Propia .....	44
Ilustración 31 Comparativa caudales. Fuente: Propia .....	44
Ilustración 32 Capacidad Salto Saucelle. Aquator. Fuente: Propia.....	45
Ilustración 33 Volumen del embalse Saucelle. Fuente: XX .....	46
Ilustración 34 Estados de la presa Saucelle. Aquator. Fuente: Propia.....	46
Ilustración 35 Parámetros Presa Saucelle. Aquator. Fuente: Propia .....	47
Ilustración 36 Días de suministro. Aquator. Fuente: Propia .....	48
Ilustración 37 Configuración de servicio Saucelle. Aquator. Fuente: Propia .....	49
Ilustración 38 Capacidad reservas Saucelle I y II. Aquator. Fuente: Propia .....	49
Ilustración 39 Parámetros de Saucelle I. Aquator. Fuente: Propia .....	50
Ilustración 40 Parámetros de Saucelle II. Aquator. Fuente: Propia .....	51
Ilustración 41 Galerías de presión .....	51
Ilustración 42 Tiempo de simulación. Aquator. Fuente: Propia .....	52
Ilustración 43 Listado de gráficas. Aquator. Fuente: Propia .....	53
Ilustración 44 Log de Aquator. Fuente: Propia .....	53
Ilustración 45 Gráfica de caudales. Aquator. Fuente: Propia.....	55
Ilustración 46 Gráfica de embalse y esclusa. Aquator. Fuente: Propia.....	56
Ilustración 47 Gráfica de generación energética. Aquator. Fuente: Propia .....	57
Ilustración 48 Results Aquator. Fuente: Propia .....	58

Ilustración 49 Excel de resultados. Fuente: Propia .....	59
Ilustración 50 Plano Saucelle -Huebra. Fuente: <a href="http://bioducto.blogspot.com">http://bioducto.blogspot.com</a> .....	61
Ilustración 51 Embalse de Huebra. Aquator. Fuente: Propia .....	61
Ilustración 52 Modelo Presa Huebra. Aquator. Fuente: Propia .....	62
Ilustración 53 Gráfica volumen Huebra. Aquator. Fuente: Propia .....	63
Ilustración 54 Caudales Huebra. Aquator. Fuente: Propia.....	64
Ilustración 55 Precio medio de mercado 2020.....	65
Ilustración 56 Mejora embalse Saucelle. Aquator. Fuente: Propia .....	66
Ilustración 57 Generación con mejora de embalse. Aquator. Fuente: Propia .....	67
Ilustración 58 Diagrama de Gantt.....	70

## Índice de tablas

Tabla 1 Precipitaciones por provincia .....	31
Tabla 2 Precipitaciones mensuales Duero 2019 .....	31
Tabla 3 Caudales mensuales.....	32
Tabla 4 Potencia promedio mensual .....	33
Tabla 5 Energía producida .....	34
Tabla 6 Caudales por precipitación en Saucelle. Fuente: Propia.....	42
Tabla 7 Resultado Aquator .....	59
Tabla 8 Resultados mejora 1 .....	65
Tabla 9 Resultados mejora 2 .....	68
Tabla 10 Etapas del trabajo .....	69

## 1. Introducción

En este apartado se va a realizar una ligera aproximación a la idea fundamental del trabajo, explicando la motivación, el planteamiento del problema o necesidad de partida y una breve descripción esquemática del mismo.

### 1.1 Motivación

A lo largo de la historia, el agua ha estado presente en todo momento en la vida cotidiana de los humanos y desde hace mucho tiempo se ha empleado su energía para mejorar la vida de las personas. La energía hidroeléctrica es aquella que se genera al transformar la fuerza del agua en energía eléctrica. Para aprovechar dicha fuerza, se construyen grandes infraestructuras hidráulicas capaces de extraer el máximo potencial de este recurso renovable, libre de emisiones y autóctono.

Las centrales hidroeléctricas convierten en energía eléctrica la diferencia de energía potencial que tiene una determinada masa de agua al trasladarla entre dos puntos situados a distinta altitud o cota.

Para ello se hace circular un caudal de agua por un circuito hidráulico que salva el desnivel entre dos puntos, lo que se conoce comúnmente como salto, y en el que el agua va adquiriendo velocidad a medida que la energía potencial se va transformado parcialmente en energía cinética. La turbina es la encargada de transformar esa energía cinética en energía mecánica, para que el generador la transforme a su vez en energía eléctrica.

El rendimiento global de todo el proceso es muy alto —entre el 90 y el 95%—, aprovechándose prácticamente toda la energía potencial del agua. Las pérdidas de rendimiento se deben a pérdidas de carga en el circuito hidráulico, a rozamientos en la rotación del grupo hidroeléctrico y a pérdidas en los equipos eléctricos.

Tal y como se muestra en la ilustración 1, la energía hidroeléctrica ha llegado a suministrar cerca del 20% de la electricidad mundial, proporción que se ha mantenido estable durante la década de 1990. Desde entonces comenzó un lento declive a medida que otras fuentes de energía aumentaban su producción, mientras la hidrográfica permanece estancada.

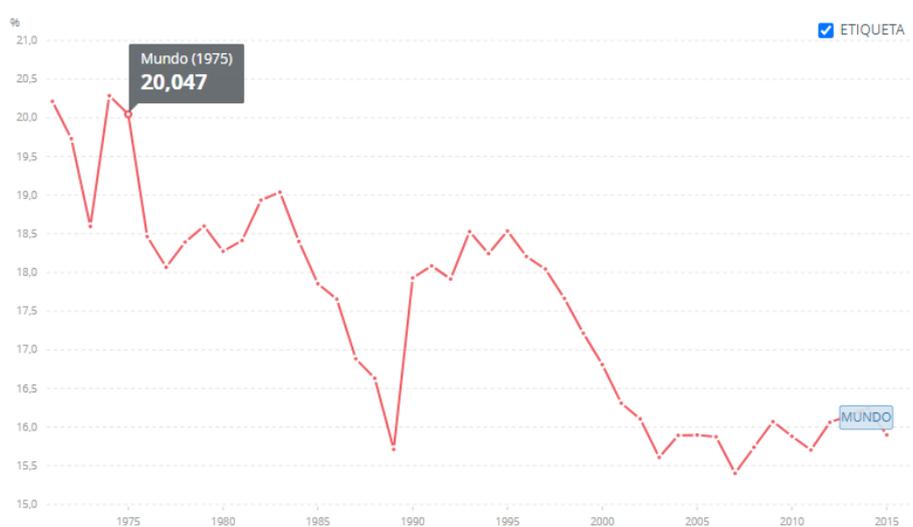


Ilustración 1 Porcentaje mundial energía hidroeléctrica. Fuente: Banco Mundial

En concreto, a nivel nacional, durante la primera mitad del siglo XX, debido a la construcción de bastantes centrales hidroeléctricas y el bajo consumo eléctrico que había entonces, la energía hidráulica abastecía gran parte de las necesidades nacionales. Poco a poco, con el aumento de la demanda energética y la aparición de otras fuentes de energía, ya fueran renovables o no, su importancia en el mix energético fue descendiendo, como se ve en la ilustración 2.

Cualquier estudiante de ingeniería que tiene interés por las fuentes de energía, tanto las que son renovables como las que no, no tarda en fijar la atención sobre este tipo de energía. Una muy presente en la península, que ha tenido gran peso en el panorama nacional, y que se trata de una fuente prácticamente renovable, ya que tiene poca incidencia en el ciclo del agua.

### Producción de electricidad

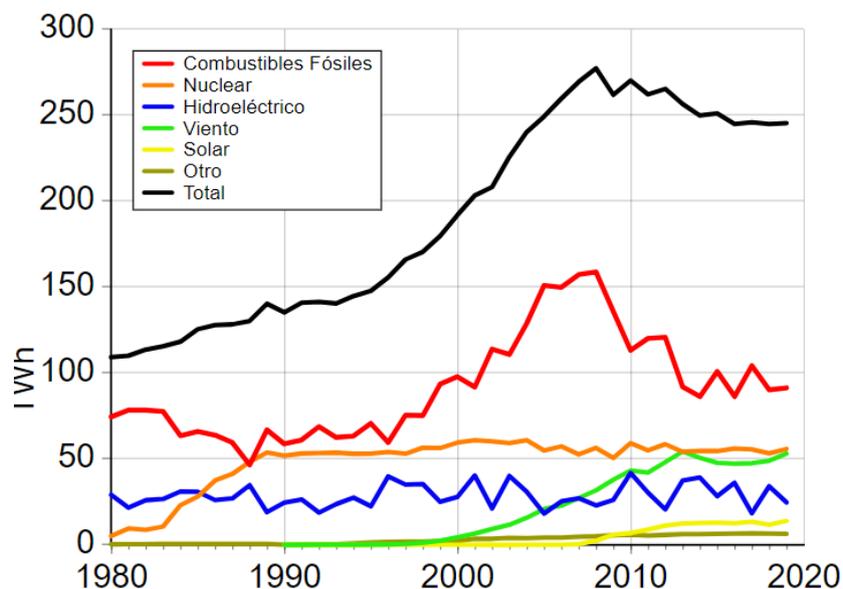


Ilustración 2 Producciones de energía en España

La principal motivación de este trabajo es tratar de mejorar la capacidad de análisis de dichas centrales hidroeléctricas, desarrollando una forma de calcular su rendimiento y las necesidades

de su suministro de agua que sea sencilla y académicamente asequible para todos aquellos interesados en este tema.

Además, se presenta una motivación adicional en poder profundizar en un software de uso profesional y de cierto prestigio en el Reino Unido, utilizado por sus empresas de suministro de agua, pero que es más desconocido fuera de sus fronteras.

En una época en la que lo digital se ha impuesto sobre otras formas de análisis, emplear un programa de simulación de modelos hidrográficos abre la posibilidad de aumentar enormemente las capacidades de estudio, empleando modelos más complejos y precisas. Este trabajo ha presentado la oportunidad de emplear un programa desconocido, aprendiendo desde cero hasta ser capaz de plasmarlo de manera clara y concisa en una guía de uso.

Cómo elemento motivador adicional, en la idea de este trabajo se presenta el reto de emplear un programa de gestión de redes de suministro de agua para analizar centrales de energía, algo posible pero que no es exactamente aquello para lo que ha sido programado.

## 1.2 Contexto

El programa de gestión de recursos hídricos Aquator, creado por Hidro-logic Services, es un software que lleva siendo usado por distintas empresas tanto dentro de Reino Unido, donde es empleado por la mayoría de las compañías del sector, como en distintas empresas a lo largo de todo Europa.

Desarrollado en respuesta a las necesidades del régimen regulatorio de los servicios de agua del Reino Unido, Aquator ha sido adoptado por la mayoría de las empresas de agua y aguas residuales del Reino Unido para su modelado de recursos hídricos, convirtiéndose en el software de modelado de recursos hídricos preferido.

Sin embargo, se trata de un software con poca incidencia en Internet y que apenas es estudio en universidades y otros centros de estudios. Sin embargo, los creadores de Aquator apoyan de manera activa el uso de su programa tanto a nivel académico como de investigación y desde el año 2012 cuentan con licencias de tipo académico y de tipo investigador que permiten utilizar el programa durante un tiempo determinado sin necesidad de pagar por él. Esto ha permitido realizar este trabajo.

La poca información que se puede encontrar respecto a Aquator se encuentra en su página web, la mayoría imposible de acceder a ella si no se cuenta con un usuario creado por los propios administradores de la página web.

A lo largo de los quince años de Aquator han existido múltiples versiones de su software. A la hora de escribir esta memoria la versión más moderna es Aquator XV, también conocida como Aquator 5.0, y es la que va a ser utilizada durante este trabajo.

Dicha versión cuenta con una guía de uso que se puede descargar desde el área de usuario de la web <http://www.oxscisoft.com/aquator/aquator-user-community.aspx>. Se trata de un documento de 260 páginas que contiene una descripción técnica de todos los apartados y componentes que se pueden emplear dentro de Aquator XV. Se trata de un documento puramente técnico, en el que pueden encontrarse pocas explicaciones generales de uso y en el que abundan los listados de comandos que se emplean para programar cada componente.

Cómo es obvio, toda la documentación que se puede encontrar de Aquator es en inglés, apenas no aparece nada sobre este programa en ninguna publicación o libro en castellano.

### 1.3 Memoria descriptiva

El proyecto cuenta con una serie de partes, relacionadas unas con otras, que serán necesarias para obtener un resultado final adecuado. A continuación, se muestran y se resumen brevemente las distintas partes que se pueden diferenciar a lo largo del trabajo.

La primera parte de esta memoria sienta las bases sobre las que se va a trabajar. Se analiza la situación de partida con el software Aquator y se presentan sus funciones básicas y su modo de operación. También se marcan los objetivos del trabajo y la forma de alcanzarlos que se pretende emplear y se describen las tareas y pasos que se van a dar en el trabajo, de manera que queden claros los puntos de partida y final de todo el trabajo.

La segunda sección que se puede considerar es la referente al estudio de producción energética de las centrales hidroeléctricas. A lo largo de ella se van a diseñar y explicar dos métodos distintos de obtener los datos de rendimiento de una central hidrográfica: uno de ellos de manera matemática y otra mediante el uso del programa Aquator XV.

Una vez expuestos ambos métodos, el trabajo incluye un ejemplo de aplicación de ambos, de manera que sea posible comparar sus resultados para ver la viabilidad del programa informático. Se ha elegido la central Saucelle I y II como modelo de referencia y serán sus datos reales los utilizados en los dos estudios. Una vez hechos, se procede a presentar las conclusiones obtenidas de los resultados y la viabilidad de Aquator para este tipo de tarea.

El último apartado del trabajo, y el que da título y sentido a todo él, es un amplio anexo que contiene el manual de usuario de AquatorXV desarrollado a lo largo del trabajo y que engloba todo lo necesario para poder llevar a cabo este tipo de simulación.

## 2. Objetivos

El trabajo cuenta con un objetivo principal y varios objetivos secundarios que van a explicarse a continuación.

### 2.1 Objetivo principal

El principal objetivo de este trabajo es la elaboración de un manual de usuario que explique de manera clara y concisa cómo emplear el software Aquator XV, tanto en su instalación como su posterior ejecución, para simular modelos de redes de agua sencillas que incluyan centrales hidroeléctricas y comprobar la validez de dicho programa, ya que hasta el momento actual ningún software ha obtenido buenos resultados.

### 2.2 Objetivos secundarios

#### **Adquisición de conocimiento sobre el uso del software Aquator.**

Para la realización de este trabajo es necesario aprender a usar el programa Aquator desde cero hasta ser capaz de usarlo con soltura y conocer todas las opciones que presenta. Para ello se emplea la guía oficial de Aquator, donde se dan los detalles técnicos.

#### **Estudio de las características y cualidades de las centrales hidroeléctricas.**

Ya que el punto central del trabajo es el rendimiento de las centrales hidroeléctricas, para llevarlo es necesario documentarse adecuadamente sobre el funcionamiento de este tipo de centrales y conocer tanto su funcionamiento como los tipos de centrales y presas de embalses que existen hoy en día.

#### **Comprobación de la validez de Aquator XV para el estudio de centrales hidroeléctricas.**

Al emplear el software Aquator XV durante el aprendizaje necesario para llevar a cabo la guía de usuario y realizar distintas pruebas con él, se comprueba si es un programa adecuado para el estudio de centrales hidroeléctricas o si por el contrario es demasiado específico para redes de consumo de agua.

#### **Estudio del rendimiento y posibles mejoras de la central eléctrica Saucelle I y II.**

Como añadido al trabajo y con el objetivo de tener algo fiable con lo que comparar el estudio realizado con Aquator, se va a llevar a cabo un estudio básico de los GWh anuales producidos por la central eléctrica Saucelle I y II, situado en el salto de Saucelle en Salamanca.

### 3. Alcance del trabajo

El resultado del trabajo es un manual de usuario que contenga todo lo necesario para poder hacer modelos básicos con Aquator XV. El manual engloba las instrucciones de obtención de la licencia del programa y su instalación. También se incluye una guía para crear modelos y trabajar con bases de datos, así como cargar y modificar modelos ya existentes. Por último, también tiene una descripción completa de todos los componentes que pueden usarse en los modelos y explica cómo implementar gráficas.

Dado que el programa y el manual técnico están en inglés, queda dentro del trabajo traducir los términos básicos a castellano dentro de esta memoria, tratando de elegir los términos más adecuados.

En lo respectivo al manual de usuario, quedan fuera del alcance algunas partes del programa Aquator que se consideran de poco interés para el estudio de centrales o que son demasiado complejas y abarcarlas alargaría demasiado el proyecto. Por lo tanto, queda fuera del proyecto todo lo relacionado con Visual Basic for Applications. Se ha dejado fuera porque requiere conocimientos previos de dicho lenguaje de programación y su uso, editar los componentes estandarizados del programa, abre un abanico de posibilidades inmenso, pero también exige detallar y analizar demasiada información.

También quedan fuera de la guía de usuario los métodos de optimización que trae por defecto Aquator. Solo se ha incluido un breve resumen que da unas pinceladas sobre su uso y los distintos tipos de analizadores que existen. El motivo de esta decisión es que están diseñados para grandes redes con muchos puntos de consumo de agua y se ha considerado que no tiene gran interés implementarlos en modelos sencillos como los utilizados en este trabajo.

Por otro lado, el trabajo tiene como resultado un caso documentado de una central, Saucelle I y II. Dentro del alcance de este trabajo se ha incluido la toma de datos y la revisión de la información disponible en la red necesarios para tener la información necesaria en las simulaciones. De la misma manera se incluye la realización del estudio de generación energética de dicha central, mediante distintos métodos.

También se incluye en el alcance del trabajo el diseño de dos posibles mejoras para Saucelle aplicando los datos obtenidos en el estudio y analizando su viabilidad económica.

Queda fuera del alcance del trabajo la toma de los datos básicos de la central de Saucelle, que han sido tomados por profesionales del sector y descargados de una web para los cálculos. Se asumen que todas las medidas obtenidas de esta forma son correctos y fiables.

La creación del modelo de Saucelle I y II dentro de AquatorXV, tanto la composición del proyecto como la configuración de las gráficas que forman parte del trabajo. También se crea de cero las series temporales y los perfiles necesarios para llevar a cabo la simulación en el año 2019/2020. Por último, también se ha creado una base de datos de AquatorXV que guarde y clasifique los archivos creados durante todo el desarrollo.

#### 4. Beneficios que aporta el trabajo

Cómo ya se ha indicado en el apartado de la introducción de esta memoria, el principal beneficio que aporta este trabajo es la creación de un documento que explique cómo usar Aquator en castellano y que cuente con un ejemplo explicado detallando paso a paso como se ha realizado.

Apenas existe documentación sobre Aquator XV que sea pública y accesible en Internet y, desde un punto de vista académico, es muy difícil aprender a usar Aquator solo con el manual de usuario de los creadores, pues apenas tiene ejemplos y carece de explicaciones, centrándose en los datos técnicos y las listas de comandos.

Tanto la guía como el caso expuesto en este trabajo se han enfocado de manera que sea material didáctico. Se han priorizado las imágenes explicativas y las descripciones de cada paso que se da durante la creación del modelo a lo largo de decenas de páginas.

Otro de los beneficios del trabajo es la búsqueda de un nuevo uso de Aquator, ya que es un programa centrado en el suministro a poblaciones y que, como puede verse en el apartado siguiente, esta poco explotado en el campo de las centrales hidroeléctricas y su suministro de agua.

## 5. Análisis del estado del arte

Los programas de análisis y simulación son empleados en todo tipo de campos de la ingeniería para resolver complejos modelos llenos de variables. En el caso de la gestión de recursos hídricos existen distintos programas, todos ellos diferentes y que aportan diferentes soluciones para este tipo de problemas.

Sin embargo, ninguno de dichos programas está pensado en concreto para el cálculo de caudales de centrales hidroeléctricas y la potencia eléctrica que este provoca a su paso por dicha central. Para realizar este tipo de cálculo no existe ningún software específico y cada profesional afronta este problema empleando distintas herramientas.

Algunos optan por hacer los cálculos a mano, mientras otros emplean programas de análisis de turbinas, como el programa TURBNPRO KC4, pero que carecen de la parte de estudio de los caudales y los propios embalses, pues se centran en las turbinas, como se ve en la ilustración 3.

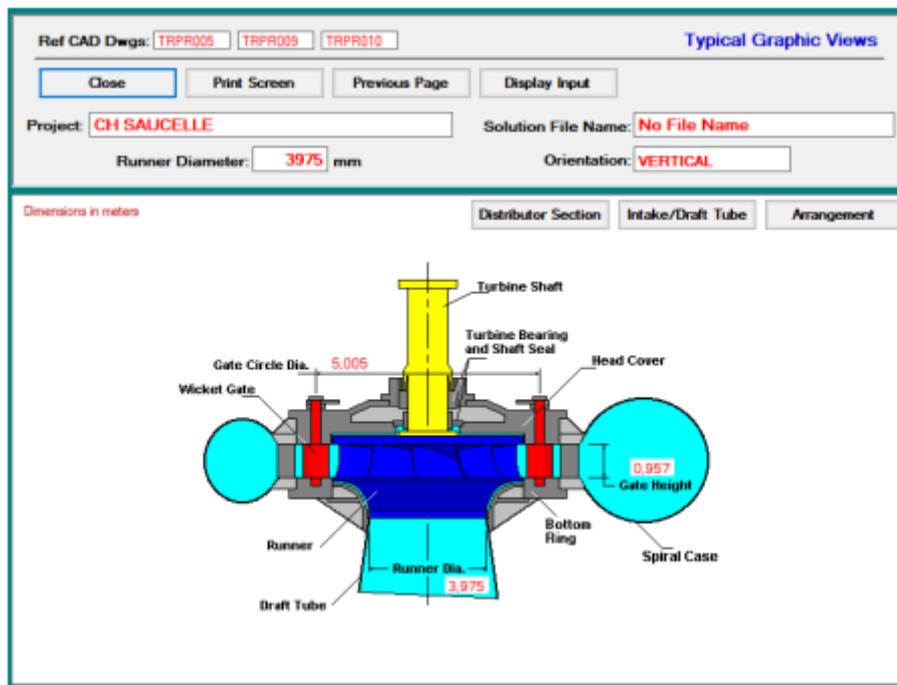


Ilustración 3 Ejemplo TURBNPRO KC34. Fuente: Propia

Uno de los programas que si cuentan con la parte de cálculo de caudales y nivel de embalses y que tiene un sistema de simulación de central hidroeléctrica es Aquator XV, pieza elemental de este trabajo.

A lo largo del mundo los usuarios de Aquator van desde empresas de servicios de agua, reguladores ambientales y consultorías de ingeniería hasta usuarios independientes que realizan estudios académicos sobre el uso del agua.

Desarrollado en respuesta a las necesidades del régimen regulatorio de los servicios de agua del Reino Unido, Aquator fue adoptado por la mayoría de las empresas de agua y aguas residuales del Reino Unido para su modelado de recursos hídricos, convirtiéndose en el software de modelado de recursos hídricos más usado en dicho país.

Por lo general, las agencias ambientales nacionales deben regular los regímenes de extracción de agua para evitar daños al medio ambiente. En el Reino Unido, la Agencia de Medio Ambiente, SEPA y Natural Resources Wales utilizan Aquator para los modelos de recursos hídricos para estudiar el funcionamiento de los modelos de empresas de servicios de agua y desarrollar sus propias políticas sobre extracción de agua

En el Reino Unido hay una serie de consultoras de ingeniería civil que han desarrollado una experiencia considerable en la construcción y soporte de modelos de Aquator. A nivel mundial, las consultoras de ingeniería internacionales también han encontrado que Aquator es útil para una amplia variedad de proyectos, incluidos escenarios de modelado para ayudar a determinar la prioridad del suministro de agua en condiciones climáticas extremas.

A continuación, se van a detallar algunos de los ejemplos más característicos en los que se emplea Aquator.

### 5.1 Red de suministro de Londres

El agua para Londres proviene de fuentes de agua subterránea y un sistema de reservorios y embalses que se llena desde los ríos Támesis y Lee. Aguas arriba de Londres, estas cuencas fluviales se alimentan de cuencas hidrográficas y acuíferos de tiza y piedra caliza que también satisfacen las demandas locales.

Londres, que tiene, con mucho, uno de los sistemas con mayor consumo de agua del mundo, comprende una demanda distribuida alimentada desde los embalses a través de obras de tratamiento de agua mediante una compleja red de suministro que permite que diferentes partes de la ciudad reciban agua de múltiples fuentes.

El modelo Aquator para este sistema se divide en dos partes: por un lado, el submodelo de Londres y por el otro el del Tamesis, es decir, todos los componentes aguas arriba de Londres.

El modelo completo de más de 1400 componentes se puede ejecutar como un todo o el submodelo de Londres se puede ejecutar por separado, con los flujos de captación aplicados a los ríos Támesis y Lee, aguas arriba de Londres. Esto permite al modelador probar escenarios para Londres más rápidamente, ya que el tiempo de ejecución del modelo para Londres con aproximadamente 400 componentes es considerablemente más rápido que el modelo completo.

Otra característica interesante de este modelo es el desarrollo de componentes especiales Aquator para el cliente, Thames Water, que simulan las reglas de operación de la empresa para acuíferos de yeso y caliza, afluentes de agua superficial y suministros estratégicos. En la ilustración 4 puede verse la complejidad de un fragmento de la red de Londres.

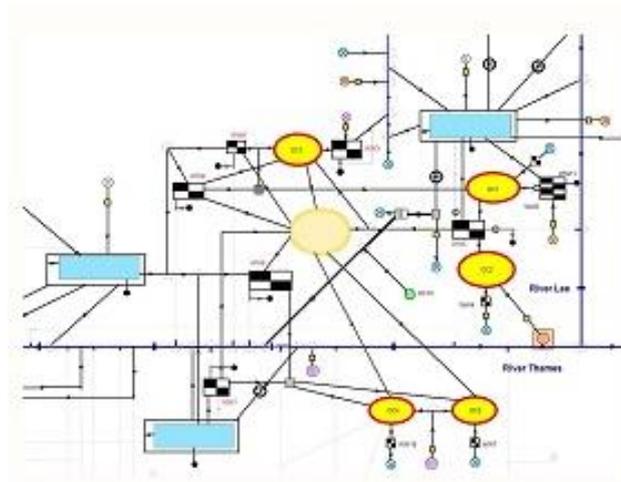


Ilustración 4 Ejemplo Red de Londres. Fuente: Thames Water

## 5.2 La red del canal

El cliente, Canal & River Trust, necesitaba una plataforma de software flexible para construir modelos de recursos hídricos de las 2000 millas de red de canales en Inglaterra y Gales. La principal diferencia entre un modelo de red de canales y un modelo de red de suministro de servicios públicos es que no existen centros urbanos de demanda de fuentes para demandar agua.

Para estos modelos de Aquator se utiliza un componente de depósito estándar para emular un acople de canal junto con la función de regulación del río para controlar el movimiento del agua, como se ve en la ilustración 5. Como la operación de una esclusa en un canal requiere una serie de reglas complicadas que son difíciles de implementar con un componente Aquator estándar, se desarrolló un componente especial "Aquator Lock" que emula la operación de una esclusa en un sistema de canales para el cliente.

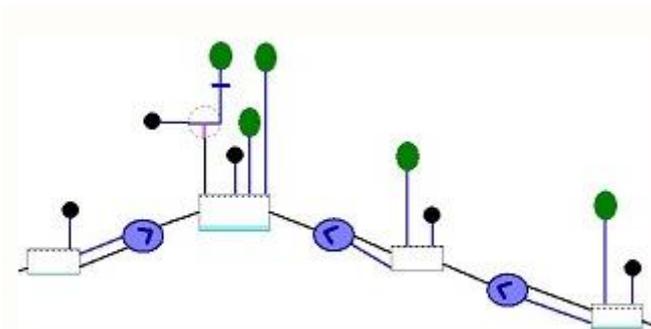


Ilustración 5 Ejemplo Red del Canal. Fuente: Canal & River Trust

## 5.3 El sistema de Zadorra

En el norte de España, a principios del siglo XX, Bilbao y Vitoria tenían sistemas de suministro independientes basados en manantiales y embalses de agua subterránea. En 1934, el gobierno aprobó un proyecto para transferir agua desde la cabecera de la cuenca del Zadorra hacia el norte. El sistema Zadorra apoyaría el crecimiento de la población de Bilbao, proporcionando energía barata y agua suficiente para desarrollar la industria pesada ubicada en la ciudad.

Durante los años 70 y 80, el sistema de Zadorra soportó un gran crecimiento poblacional en Bilbao y Vitoria y se pensó que los recursos hídricos serían suficientes para garantizar tanto la demanda urbana como la generación hidroeléctrica, que tuvo prioridad sobre el suministro urbano durante gran parte del año, cuando el volumen almacenado excedió una curva de control.

Desafortunadamente, el intercambio de recursos se interrumpió repentinamente durante 1989-91, cuando el sistema sufrió la sequía más severa jamás registrada, lo que provocó recortes en la generación de energía hidroeléctrica. La consiguiente reducción de las transferencias de energía hidroeléctrica y la consiguiente reducción indirecta de la capacidad de control de inundaciones provocaron graves inundaciones en 2003, que provocaron grandes pérdidas económicas.

En 2006, SENER, que fue contratada por el gobierno regional, construyó un modelo Aquator del sistema para investigar cómo operar y desarrollar el sistema Zadorra para prevenir fallas futuras y permitir un mayor crecimiento. Los resultados y recomendaciones posteriores fueron aceptados por todas las partes, lo que llevó a la resolución de una "guerra del agua" de 18 años.

## 6. Análisis de alternativas

Antes de realizar cualquier proyecto es necesario realizar un estudio previo de las posibles alternativas antes de elegir la idea definitiva. Aunque este proyecto estaba fuertemente orientado a Aquator desde el inicio, sí que se han planteado diferentes opciones a lo largo de su desarrollo.

Para explicar dichas alternativas, se han dividido en dos partes. Por un lado, todas las opciones referentes al programa que iba a ser usado en el trabajo y por otro las diferentes opciones de diseño que se plantearon a la hora de crear una guía de usuario para el programa utilizado.

### 6.1 Alternativas: Programas

Se han planteado diferentes opciones de programas o métodos que se pueden emplear para realizar cálculos de centrales hidroeléctrica.

- **Cálculo manual del rendimiento.**

Los cálculos que se esperan obtener empleando un programa se pueden calcular mediante distintas fórmulas matemáticas.

- **Aquator XV.**

Aquator es utilizado por las empresas de servicios de agua más grandes del Reino Unido para modelar sus sistemas de recursos hídricos. Su logo aparece en la ilustración 6. Estos van desde modelos de pequeños sistemas con energía hidroeléctrica en terrenos montañosos hasta grandes redes de uso conjunto que abastecen a las poblaciones urbanas de fuentes de agua subterránea y grandes cuencas fluviales.



Ilustración 6 Logo de Aquator. Fuente: Aquator

- **ArcGIS Desktop.**

Se trata de un programa que engloba las dos aplicaciones de escritorio principales para profesionales de SIG, ArcMap y ArcGIS Pro. Cada aplicación cuenta con funciones únicas que se ajustan a sus necesidades. Estas aplicaciones permiten crear modelos de todo tipo, desde sencillos mapas web a modelos analíticos complejos, como en la siguiente ilustración, en la que puede observarse una red de agua en una zona residencial.



Ilustración 7 ArcGIs Water Delivery Model. Fuente: Solutions.arcgis.com

## - TURBNPRO

TURBNPRO determina el tamaño y la selección del tipo de hidroturbina en función de los datos reales del sitio ingresados por el usuario. El programa desarrolla datos típicos de rendimiento y dimensiones del tamaño / tipo de hidroturbina seleccionada, incluida la velocidad, la velocidad de descontrol y las características de cavitación.

### Elección.

La elección de Aquator XV como programa a emplear en la realización de este trabajo se debe por varias razones que lo hacen destacar por encima del resto.

La primera de ellas es que Aquator XV cuenta con los modelos de generadores hidroeléctricos, tanto en red fluvial como en redes de suministro, ya implementadas en el propio programa. Otras opciones, como el caso de ArcGIS, están centradas en el uso de agua para alimentar zonas residenciales o industrias y no plantean su uso para generación energética.

La segunda de ellos es que Aquator XV cuenta con licencias de uso académicas que pueden solicitarse mediante su web y que permiten su uso con fines educativos durante un año sin tener que pagar. De esta manera, el programa es accesible para ser utilizado por estudiantes sin tener un coste económico.

Otra de las ventajas de Aquator es que un software con muchas opciones y que abarca un amplio campo dentro de las redes hídricas. Mientras que programas como TURBNPRO están muy centrados en las turbinas de la central, Aquator es un programa más generalista y su aprendizaje puede ser más provechoso. Además, TURBNPRO requiere de muchos cálculos manuales para calcular rendimientos, puesto que no tiene opciones de estudiar el caudal de agua ni el comportamiento de los embalses.

## 6.2 Alternativas: Manual de usuario

A la hora de diseñar el manual de usuario se han tenido en cuenta distintas opciones sobre lo que incluir o no en el mismo y sobre cuál debe ser el punto central del manual de usuario, priorizando explicar esa parte sobre el resto. Tras interactuar con Aquator XV se presentaban tres opciones distintas.

- **Centrar el manual en la parte de crear un modelo y ejecutarlo.**

La creación y ejecución de un modelo es la parte más sencilla de Aquator, pero también la más necesaria. El modelo simulado es donde se sustentan todas las demás opciones que permite implementar AquatorXV. Durante el modelo se introducen los elementos que forman la red hídrica y se ajustan sus parámetros para que sean acordes a la realidad.

- **Centrar el manual en la programación de Aquator con Visual Basic.**

Cuando un proyecto tiene reglas personalizadas específicas para una organización o interrelaciones complejas entre componentes, se puede usar “Microsoft® Visual Basic® para aplicaciones” (VBA) para modificar las reglas integradas. Esta es la misma herramienta que se encuentra en Microsoft Excel®.

- **Centrar el manual en la ejecución de los programas de análisis que contiene AquatorXV.**

El programa cuenta con cuatro tipos de análisis que pueden realizarse una vez realizado el modelo. Estos permiten sacar conclusiones de manera rápida y automatizada haciendo que sea el propio programa quién compare las diferentes opciones y muestre soluciones. Los tipos de análisis que puede realizar Aquator son cuatro y tiene cada uno distintas aplicaciones.

#### **Elección.**

Tras analizar las diferentes opciones, se ha decidido que el manual de usuario debe realizarse acorde a la primera de las opciones, centrándose en la parte de la creación y ejecución del modelo y dejando de lado las opciones con VBA o los diferentes sistemas de análisis.

Esto se ha decidido por varias razones. La primera y más importante es que el modelo es la pieza más importante de la simulación y crear un modelo funcional y que se ajuste a la realidad es un requisito indispensable para poder llevar a cabo un análisis posterior o para crear especificaciones programando nuevos componentes. Por ello, y dado que se trata de un manual de usuario para gente no ha tenido contacto previo con Aquator, se ha decidido por centrarlo en los conocimientos base para su uso.

Otra de los motivos es que las otras dos opciones se han encontrado poco interesantes. Por un lado, el poder configurar excepciones mediante el uso de VBA puede ser necesario para precisos modelos profesionales, pero el principal objetivo del manual es permitir un aprendizaje del programa. Desde un punto de vista académico, Aquator ya cuenta con más de 40 componentes parametrizables que permiten llevar a cabo cualquier red de alimentación de una central hidroeléctrica.

Además, llevar a cabo este tipo de programación requiere de una base de conocimiento en su lenguaje que, de incluirse en el manual de usuario, lo volvería largo y demasiado técnico. De hecho, en la guía de usuario de Aquator apenas se dedican unas pocas páginas a VBA.

Por último, aunque los diferentes análisis que ofrece el programa son interesantes, ninguno es especialmente útil para el estudio de centrales hidroeléctricas, puesto que están más enfocados a la optimización de redes en las que se cuentan con varios puntos de demanda de suministro. Por ello, se ha descartado centrarse en estos análisis y solo serán brevemente comentados en la guía de usuario. [Anexo 1]

## 7. Descripción de la solución propuesta. Diseño

### 7.1 Estudio de potencia de una central hidroeléctrica

Para poder realizar un estudio adecuado que valore si los resultados obtenidos con el programa elegido es necesario conocer los valores de energía generada al año por la central para poder comparar. Aunque se tiene un dato muy general de la generación media de las centrales, es poco fiable, ya que el valor cambia considerablemente de un año a otro, y por ello se va a calcular a mano el valor para compararlo con el resultado ofrecido por el software de simulación.

La potencia generada por una central hidroeléctrica es un valor calculable que depende principalmente de dos cosas, el caudal de agua que entra en la central y la altura del salto de dicha agua. Por ello, se puede decir que los valores necesarios para conocer la potencia de una central de este tipo son el caudal y el salto bruto.

La fórmula que calcula de manera matemática la potencia generada en una turbina es la siguiente:

$$W = \eta * \rho * g * Q * HT$$

Donde:

- $\eta$ : el rendimiento de la turbina
- $\rho$ : la densidad del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $g$ : la constante de gravedad ( $\text{m}/\text{seg}^2$ )
- $Q$ : el caudal medio calculado ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )
- $HT$ : Salto bruto (m)

En esta ecuación también debería considerarse el rendimiento de la turbina, que refleja el aprovechamiento de la energía. Sin embargo, en muchos casos este rendimiento es del 100%, o de valores cercanos a esta cifra, por lo que se puede no tener en cuenta.

Una vez conocida la potencia generada, se obtiene de manera directa los GWh anuales multiplicando la potencia media por el número de horas de servicio en un año.

$$E = W * t$$

Se puede observar que los dos valores variables son los ya comentados, caudal y salto. También es necesario conocer la constante de gravedad y la densidad del agua, pero estos son valores fijos para cualquier central hidroeléctrica.

Existen muchas maneras de calcular el caudal de un río. Una de ellas es mediante una fórmula que calcula toda el agua recogida en la cuenca, asumiendo que toda ella. Esta es la manera elegida en este trabajo para obtener el valor de los caudales que van a emplearse.

$$Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = \frac{cSI}{3,6}$$

El salto bruto, así como otros valores del entorno como la escorrentía o las precipitaciones, tienen que buscarse antes de poder realizar el estudio. Estos dependen de cada central que se vaya a estudiar.

## 7.2 Características de Aquator XV

El programa elegido para llevar a cabo el estudio y realizar un manual es Aquator XV. Este programa proporciona un motor de simulación y optimización diseñado para producir soluciones óptimas al problema de satisfacer la demanda de agua de toda clase de redes, tanto de suministro en centros urbanos como agricultura y empresas. La simulación incluye el modelado de muchas restricciones del mundo real para satisfacer la demanda, como capacidad, flujo límites y licencias.

Aquator proporciona herramientas profesionales para la planificación de estos recursos, de manera acorde a la realidad. Las principales características de este software [1], son las siguientes:

- **Basado en componentes.** Aquator es un programa de modelado basado en componentes. Un modelo AquatorXV es construido a partir de componentes que se colocan en una representación esquemática del sistema y luego se unen, utilizando un sistema intuitivo para el usuario. Estos componentes encapsulan las reglas operativas que rigen su uso.
- **Personalizable.** AquatorXV es personalizable. Incorpora la herramienta de personalización Microsoft® Visual Basic® para aplicaciones (VBA), la misma tecnología utilizada en el conjunto de aplicaciones de Microsoft Office.
- **Extensible.** El sistema de componentes AquatorXV es extensible. Un kit de desarrollo de software (SDK) está disponible para que los desarrolladores de terceros agreguen más componentes.
- **Cooperativo.** La propia aplicación AquatorXV se puede utilizar como un tipo de componente. Por ejemplo, los modelos de recursos hídricos se pueden ejecutar y los resultados se pueden recuperar de AquatorXV mientras trabaja dentro de Microsoft® Excel®.
- **Optimizador.** AquatorXV busca la "mejor" solución, donde "mejor" significa "más barato" o "mejor" estado del recurso ". Se realiza un análisis global donde se calculan todos los movimientos de agua para satisfacer la demanda y se evalúan simultáneamente. La ventaja es que este análisis global previene completamente fallos falsos sin ningún esfuerzo adicional por parte del modelador.
- **Compatible con la nube.** AquatorXV se puede utilizar para ejecutar modelos en la nube, es decir, emplearse de forma casi ilimitada en un amplio número de ordenadores remotos simultáneamente.

Aunque se presenta como un motor de simulación para redes de suministro de agua, Aquator tiene otros usos, pues presenta gran cantidad de opciones. [2] Los más importantes usos de Aquator XV son los siguientes:

- **Gestión de redes de agua.** El programa permite simular los acuíferos y embalses, así como los diferentes canales y ríos de una red. Mediante controladores se puede regular caudales, niveles de presión, reservas de agua, etc tanto de manera mensual como diaria.

- **Representación de modelos.** Mediante las opciones de exportar datos en forma de gráficas y de tablas de datos, Aquator XV permite realizar informes de funcionamiento de redes y sistemas.
- **Calcular costes de gestión.** Aquator cuenta con las herramientas necesarias para que calcule el coste de mantenimiento de la red a lo largo del tiempo, introduciendo los costes de cada operación en función de la cantidad de agua.
- **Cálculo de generación energética.** Existe la opción de cuantificar la energía producida en una red de agua en la que se incluyan centrales hidroeléctricas, tanto en redes fluviales como en redes de suministro.
- **Optimización de suministro.** En un sistema que cuente con distintos acuíferos y reservas y más de una zona de demanda el programa permite llevar a cabo una optimización de los recursos cumpliendo en el mayor grado posible las demandas del sistema.
- **Analizador de riesgos.** Cuenta con una opción diseñada para, cuando se realizan simulaciones muy largas, llevar a cabo de manera automatizada un análisis de riesgos en la red de suministro y detectar los momentos y los puntos más vulnerables de esta.

Para la resolución de nuestro caso se van a emplear dos de los principales usos del programa, la gestión de redes de agua y el cálculo de generación energética.

Mediante el primero de los usos se diseña el modelo del río. La entrada de agua al modelo se diseña acorde a los datos reales de caudal del Duero y de precipitaciones en la zona, y dentro del programa se modela la presa y la entrada de agua a la central.

Una vez modelizado el caudal que cruza la central, entra en funcionamiento la capacidad de Aquator de calcular el rendimiento de la central hidroeléctrica en función del caudal de entrada y del rendimiento máximo de esta.

## 8. Caso práctico: Saucelle I y II

La central Saucelle I y II es una central hidroeléctrica situada en la región de Salamanca, en la frontera entre España y Portugal. Alimentadas por las aguas del Duero acumuladas en la presa de Saucelle, las dos partes que componen la central cuentan con una potencia superior a los 500 MW.

La primera de las centrales fue levantada en los años cincuenta para utilizar el agua de la presa de Saucelle a través de 4 turbinas. En el año 1989 se inauguró una ampliación del salto inicial, Saucelle II, que cuenta con 2 turbinas y que también se aprovecha del agua de la misma presa. Este salto se le conoce como Saucelle- Huebra, ya que desemboca en este río, afluente del Duero.

Existe un proyecto de levantar una presa en el Huebra para aprovechar su agua, pero no se ha llevado a cabo. En este estudio se comprobará la viabilidad o inviabilidad de dicha idea.

### 8.1 Objetivo del estudio

El objetivo principal de llevar a cabo este estudio es conocer el comportamiento de las centrales hidroeléctricas de Saucelle en función del caudal de agua que reciben y los límites de generación eléctrica propios de sus turbinas.

Para ello, se estudiarán las características de la central en la actualidad: saltos brutos y netos, caudal, potencia generada, tipo de turbina y la infraestructura en general. Una vez hecho esto, se llevará a cabo el cálculo de potencia energética anual de ambas centrales. Para comprobar la utilidad del software para modelado de recursos hídricos Aquator, se va a llevar a cabo el estudio con cálculos matemáticos empleando fórmulas genéricas y posteriormente se va a estudiar el caso con dicho software.

Por último, se va a proponer una serie de mejoras para optimizar el rendimiento de ambas centrales.

Mediante el uso de Aquator se comprobará tanto la viabilidad económica de la optimización como la mejora en el rendimiento energético de la central hidroeléctrica.

### 8.2 Localización de la central

La presa de Saucelle, conocida también como salto de Saucelle, está construida en el curso medio del río Duero, a 8 kilómetros de distancia de la localidad salmantina de Saucelle. Se trata de una zona situada en la meseta central, a 665 metros de altitud sobre el nivel del mar.

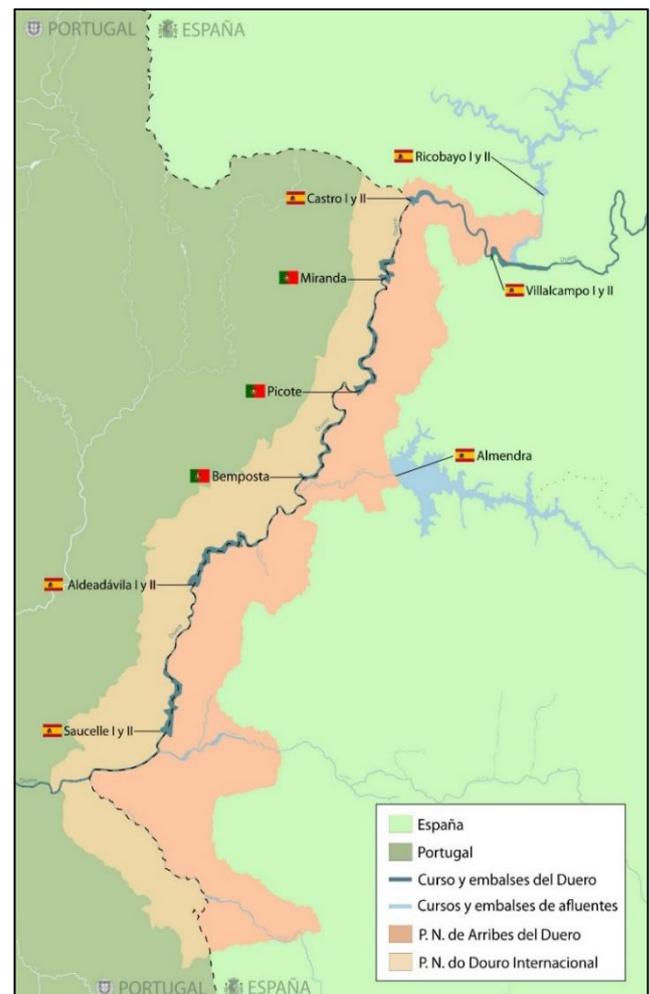


Ilustración 8 Saltos del Duero. Fuente: Wikipedia.org

El salto de Saucelle se encuentra en las coordenadas: latitud de 41° 2' 52" N y una longitud de 6° 45' 4" O. El río que alimenta a la central hidroeléctrica es el Duero, el río más importante del noroeste de la península ibérica. Posee la mayor cuenca hidrográfica de la península ibérica, al ocupar 98 073 km<sup>2</sup>, de los que 78 859 km<sup>2</sup> corresponden al territorio español y 19 214 km<sup>2</sup> al portugués, y se trata del río de mayor caudal absoluta de la península.

La central estudiada, Saucelle I y II, forma parte del sistema Saltos del Duero, representados en la ilustración 8, junto con las infraestructuras instaladas en Aldeadávila, Almendra, Castro, Ricobayo y Villalcampo. La suma de la potencia total instalada en todas las centrales de los «Saltos del Duero» o de las seis presas españolas establecidas en la zona, hace un total de 3161 MW.

A lo largo del Río Duero estas centrales españolas se alternan con las que pertenecen a Portugal, aprovechando de manera conjunta la corriente del caudaloso río. El último tramo del río, en el que el cauce se estrecha y profundiza, es el lugar donde se han emplazado todas las centrales. Esto se debe a que, al estrecharse el caudal, el agua se canaliza con mayor facilidad en las diferentes presas, y es la zona donde se dan la mayor caída de altitud de todo el recorrido, como muestra la ilustración 9. Esta región se conoce como Arribes del Duero, cuyas márgenes han sido protegidas con la creación de los parques naturales del Duero Internacional en Portugal y de Arribes del Duero en España.

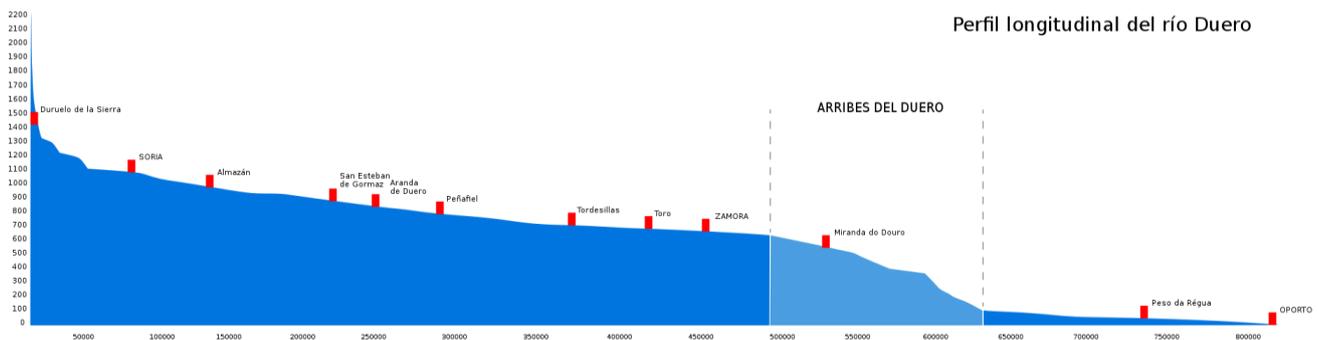


Ilustración 9 Perfil longitudinal del Duero. Fuente: Wikipedia.org

### 8.3 Datos técnicos de la central Saucelle I y II

La central hidroeléctrica de Saucelle I y II está compuesta por dos saltos distintos, cada uno levantado en una época y con unas turbinas distintas, separados el uno del otro por menos de un kilómetro de distancia.

Todo el complejo energético consta de tres elementos principales: una presa que comparten ambos saltos, dos centrales hidroeléctricas y dos galerías de presión, encargadas de llevar agua a cada una de las centrales. A continuación, se van a describir sus características que tienen estos elementos.

#### Presa de Saucelle

La presa que alimenta a la central fue construida en los años 50 y en la actualidad es propiedad de la empresa Iberdrola. La presa se encarga de retener el agua del embalse de Saucelle, una masa de agua de casi 600 hectáreas de extensión.

El corte de la presa puede verse en la imagen del final de la página. La presa consta de las siguientes características:

- **Tipología:** presa de gravedad con planta curva y vertedero superior.
- **Altura máxima sobre cimientos:** 84 m.
- **Altura máxima sobre el cauce:** 79 m.
- **Longitud de coronación:** 180 m.
- **Volumen de hormigón:** 234.000 m<sup>3</sup>.
- **Compuertas:** 4 compuertas Taintor de 24 metros de anchura y 8 de altura. Son capaces de desaguar un caudal de 11.200 m<sup>3</sup>/s, con una altura de lámina vertiente de 14,5 metros. Cuenta con una quinta compuerta de 14 metros de anchura por 13,8 metros de altura que regula otro aliviadero en túnel, situado en su margen izquierda. Este aliviadero suma 1.300 m<sup>3</sup>/s, haciendo un total de 12.500 m<sup>3</sup>/s.
- **Desagües de fondo:** Cuenta con cuatro desagües de fondo con una capacidad total de 165 m<sup>3</sup>/s. El tramo final de los desagües de fondo está justo a ras de la lámina de agua, aguas abajo de la presa.
- **Disipación de la energía del agua vertida:** Cuenco amortiguador en el pie de la presa. Aguas abajo se encuentra el cauce del río protegido con muros de hormigón, para evitar la erosión.

Centrándose en el propio embalse, los datos de la masa de agua son los siguientes:

- **Superficie:** 589 ha
- **Capacidad:** 181,50 hm<sup>3</sup>
- **Longitud:** 189 m

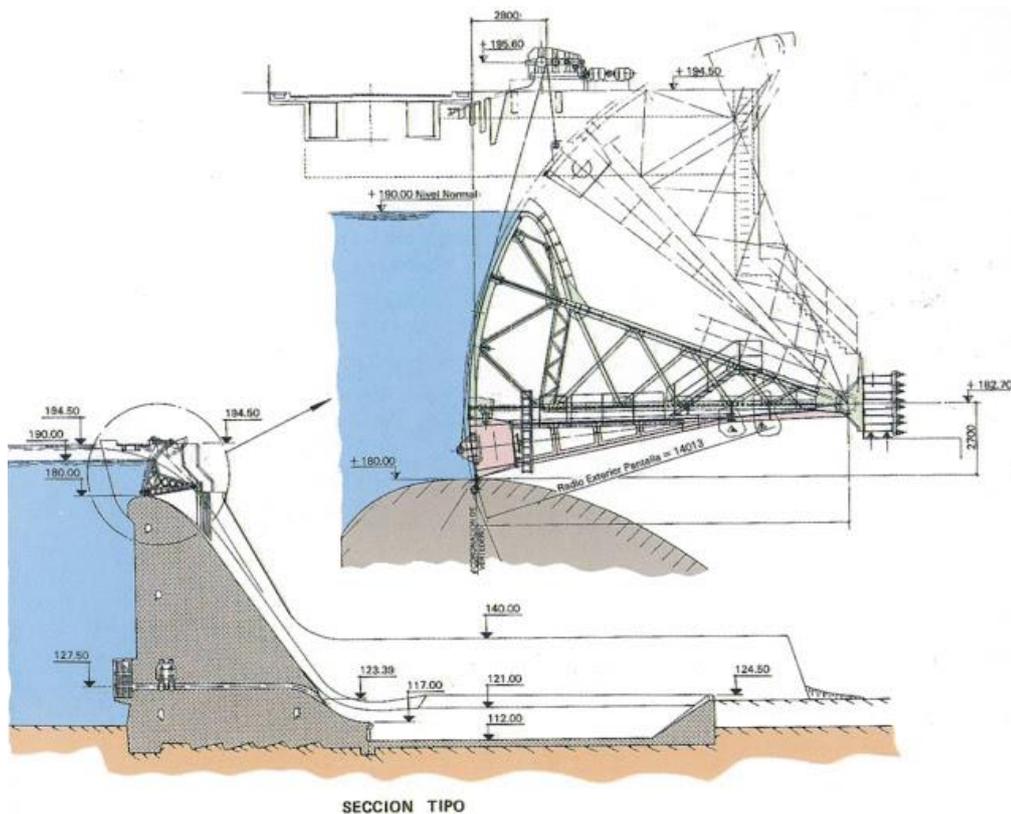


Ilustración 10 Sección de la presa y detalle de una de las compuertas. Fuente: <http://bioducto.blogspot.com>

## Centrales hidroeléctricas

Sendas centrales hidroeléctricas, denominadas Saucelle I y II, tienen características similares pero no son idénticos, ya que fueron fabricadas en años muy distantes y la tecnología de Saucelle II es más avanzada por ello.

Los datos técnicos referentes a Saucelle I son los siguientes:

- **Salto bruto:** 63 m
- **Caudal a plena carga:** 245 m<sup>3</sup>/s
- **Potencia instalada:** 240 MW
- **Energía producida anual estimada:** 435 GWh
- **Cantidad de turbinas:** 4
- **Tipo de turbinas:** Francis

En el caso de Saucelle II se conocen los siguientes detalles de su funcionamiento:

- **Salto bruto:** 63 m
- **Caudal a plena carga:** 220 m<sup>3</sup>/s
- **Potencia instalada:** 285 MW
- **Energía producida anual estimada:** 450 GWh
- **Cantidad de turbinas:** 2
- **Tipo de turbinas:** Francis

El conjunto de ambos saltos que forman la central de Saucelle I y II tiene las siguientes características:

- **Caudal a plena carga:** 465 m<sup>3</sup>/s
- **Potencia instalada:** 525 MW
- **Energía producida anual estimada:** 885 GWh

Los datos de energía anual producida varían notablemente dependiendo de donde se saquen los datos y a los años que se empleen para la media. Sin embargo, si coincide bastante en que la producción anual de ambos saltos en conjunto es cercana a 900 GWh. Por ello, este será el punto de referencia del estudio.

## Galerías de presión

Las galerías de presión son las enormes tuberías encargadas de llevar el agua de la presa de Saucelle hasta las turbinas. Al igual que en el caso de las centrales, los dos saltos cuentan con distintas galerías cuyas características difieren notablemente.

La primera en ser construida, Saucelle I, dos galerías con sección en forma de herradura de 66 m<sup>2</sup> cada una y una longitud media de 236 metros, las cuales desembocaban en un depósito situado cerca de la central, excavado en superficie y con una capacidad de 60.000 m<sup>3</sup>, capaz de abastecer los cuatro grupos instalados en la central mediante 4 tuberías forzadas.

El otro salto, Saucelle II, cuenta con una única galería de mayor tamaño, pues se trata de un tubo cuyo perfil es de 113 m<sup>2</sup>. Esta tubería de más de 12 metros de diámetro conduce durante 1.320 metros el agua hasta llegar a un depósito abierto de similar capacidad al de Saucelle I, 60.000 m<sup>3</sup>. Dada la longitud de la galería, esta cuenta con una chimenea de equilibrio unos metros antes de llegar a dicho depósito.

#### 8.4 Análisis energético. Resolución matemática.

El análisis energético y de potencia de una central hidroeléctrica se puede calcular mediante una serie de ecuaciones que permiten esbozar el comportamiento de la central en función de unos parámetros físicos.

Aunque el objetivo final es la obtención de los GWh producidos, es necesario analizar otros factores antes de llegar a ese punto. El análisis del caudal, por ejemplo, es un punto intermedio del desarrollo que tiene una gran importancia en el resultado obtenido. A continuación, se van a realizar los pasos necesarios uno a uno.

##### 8.4 .1 Análisis de saltos

El salto hidráulico permite definir la central hidráulica, ya que es indispensable para deducir la potencia de la central. Se definen los distintos tipos de saltos hidráulicos de la siguiente manera:

- El **salto bruto** es definido como la diferencia de altura entre la lámina de agua a la altura de la presa y el punto de descarga del caudal turbinado.
- Ahora bien, si en vez de tomar la altura en la presa directamente, se escoge de referencia la altura del agua en la cámara de carga se estaría hablando del **salto útil**.
- Si a este salto útil se le restan las pérdidas de carga de todas las conducciones se obtendría el **salto neto**.

En el caso de Saucelle I y II, ambos saltos cuentan con un salto bruto de 63 metros, siendo sus respectivos saltos netos de 57 metros.

##### 8.4.2 Análisis de caudal

El caudal es la cantidad de agua que pasa a través del salto hidráulico y que se aprovecha para la generación de energía. El caudal de la central de Saucelle I y II puede calcularse de distintas maneras, diferentes aproximaciones que deberían llevar a un mismo resultado.

Consultando en algunas páginas de estudio de centrales hidráulicas, se obtiene el dato de que el caudal medio de Saucelle es de **468 m<sup>3</sup>/s**. Este es un dato que se va a emplear como referencia para comprobar la validez de los resultados, pero tiene poca validez ya que el caudal varía ampliamente en función de la época del año y de la cantidad de precipitaciones de dicho año.

A la hora de realizar este estudio se necesita de datos tomados en el Duero o en la presa de Saucelle para poder realizar una estimación. Una de las posibles maneras de hacer el cálculo es empleando los datos del caudal a la salida de la presa de Aldeadávila, que se encuentra río arriba respecto a Saucelle.



Dado que las zonas por las que pasa el Duero son elevadas y montañas, sobretodo en el nacimiento del río, se han tomado como referencia de cada provincia el pluviómetro más cercano al Duero, en vez de las capitales de provincia, donde las precipitaciones suelen ser menores.

	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
<i>Soria</i>	54	50	51	65	65	62	59	58	48	73	81	66
<i>Burgos</i>	50	47	56	70	76	66	66	62	51	85	89	66
<i>Valladolid</i>	36	38	51	62	71	56	60	52	43	64	67	53
<i>Zamora</i>	35	33	42	58	62	50	54	48	38	56	62	50
<i>Salamanca</i>	36	31	52	59	62	52	51	47	42	59	68	54

Tabla 1 Precipitaciones por provincia

Con estos datos es posible sacar sencillamente la media de precipitaciones mensual en la cuenca del Duero.

Mes	Precipitación (mm)
Agosto	42.2
Septiembre	39.8
Octubre	50.4
Noviembre	62.8
Diciembre	67.2
Enero	57.2
Febrero	58
Marzo	53.4
Abril	44.4
Mayo	67.4
Junio	73.4
Julio	57.8
<b>Media</b>	<b>56.16</b>

Tabla 2 Precipitaciones mensuales Duero 2019

Si se compara con el registro histórico de las precipitaciones en la cuenca del Duero entre los años 1959 y 2004, mostrados en forma de gráfica a continuación, se observa que 2019/2020 se trata de un periodo con pocas precipitaciones, por lo que es probable que no se haya podido utilizar a pleno rendimiento la central.

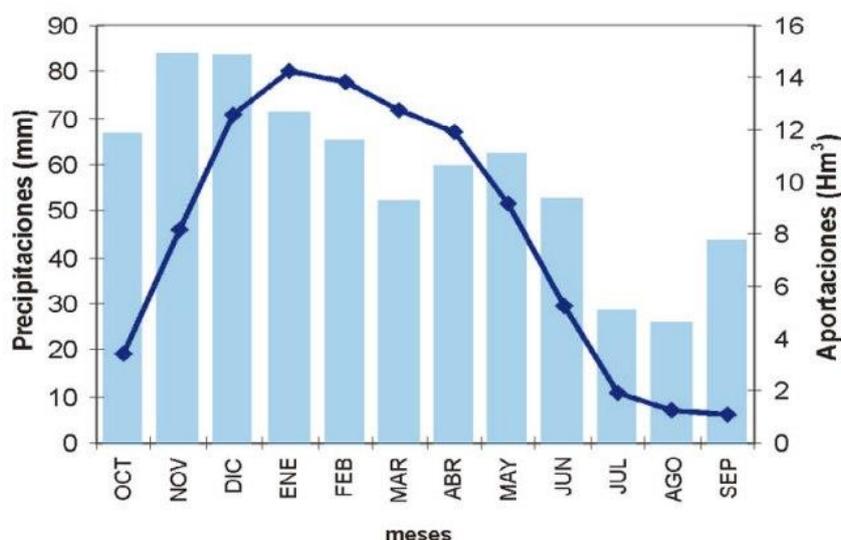


Ilustración 12 Distribución mensual de aportaciones (línea) y precipitaciones (barra). Fuente: <http://hispagua.cedex.es/>

Una vez conocidos los datos necesarios, se puede calcular el caudal de la central hidroeléctrica mediante la ecuación anterior. Estos son los resultados obtenidos:

<b>Mes</b>	<b>Caudal medio (m<sup>3</sup>/s)</b>
Agosto	353.54
Septiembre	333.43
Octubre	422.24
Noviembre	526.12
Diciembre	562.98
Enero	479.21
Febrero	485.91
Marzo	447.37
Abril	371.97
Mayo	564.66
Junio	614.93
Julio	484.23
<b>Media</b>	<b>527.80</b>

Tabla 3 Caudales mensuales

#### 8.4.3 Análisis de potencia

Una vez determinado el caudal medio anual de la central se va a calcular la potencia media anual y así ver cuanta diferencia se obtendrá respecto al teórico, que es de 525 MW contando ambos saltos. Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$W = \eta * \rho * g * Q * HT$$

Donde:

- $\eta$ : el rendimiento de la turbina
- $\rho$ : la densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)
- $g$ : la constante de gravedad (m/seg<sup>2</sup>)
- $Q$ : el caudal medio calculado (m<sup>3</sup>/seg)
- $HT$ : Salto bruto (m)

Suponiendo que la densidad del agua es de 1000 kg/m<sup>3</sup>, la constante de gravedad es de 9,8 m/seg<sup>2</sup>, el caudal medio calculado es el calculado con anterioridad y que el salto bruto es de 63 m, se ha podido determinar la potencia mediante la ecuación anterior. Estos resultados se pueden ver más detallados en la siguiente tabla, donde se puede observar cual ha sido la potencia media anual calculada de la central hidroeléctrica.

<b>Mes</b>	<b>Potencia promedio (MW)</b>
Agosto	218.28
Septiembre	205.86
Octubre	260.69
Noviembre	324.83
Diciembre	347.59
Enero	295.86
Febrero	300.00
Marzo	276.21
Abril	229.66
Mayo	348.62

Junio	379.66
Julio	298.97
<b>Media</b>	<b>325.86</b>

Tabla 4 Potencia promedio mensual

Se aprecia con facilidad que la potencia promedio es notablemente inferior a los más de 500 MW que puede llegar a alcanzar la central hidráulica cuando está a pleno funcionamiento. Esto se debe a que prácticamente en ningún momento del año se alcanza un caudal promedio mensual cercano al máximo caudal de ambos saltos, Saucelle I y II, tal y como se refleja en la siguiente imagen.



Ilustración 13 Gráfica potencia mensual

#### 8.4.4 Análisis energético

Para realizar el análisis energético primero se deberá calcular la energía producida de la central hidroeléctrica mediante la siguiente ecuación:

$$E = W * t$$

Donde:

- W: la potencia obtenida en el apartado anterior (W)
- t: tiempo de operación (h)

Para estimar el tiempo de operación, se extrapola las horas necesarias a plena potencia para lograr los 900 GWh/año que se han tomado como dato de referencia.

$$t = \frac{900GWh}{520MW} = 1730,8 \text{ horas}$$

Conociendo ambos datos necesarios, es posible calcular la energía producida en la central de Saucelle cada mes. La suma de todos los meses dará el valor de la producción energética anual de dicha central.

<b>Mes</b>	<b>Energía producida (GWh)</b>
Agosto	40.60
Septiembre	34.58
Octubre	48.49
Noviembre	58.47
Diciembre	64.65
Enero	53.25
Febrero	55.80
Marzo	51.38
Abril	41.34
Mayo	64.84
Junio	68.34
Julio	55.61
<b>Total</b>	<b>637.35</b>

Tabla 5 Energía producida

Como se puede observar la energía producida calculada es menor que la que tenida como referencia de la central y esto se debe a una serie causas que anteriormente se han ido mencionando.

El principal de ellos podría ser que el caudal medio es inferior al de otros años, tal y como se ha visto anteriormente. Esto hace que se aproveche menos cantidad de agua dentro de la central de Saucelle y esta no llega a operar a máxima capacidad en ningún momento.

Que el caudal sea inferior se puede deber a dos motivos distintos. El primero de ellos es que se trate de un año con pocas lluvias. En la comparativa de precipitaciones que se ha hecho, se ha comprobado que las de 2019/2020 son inferiores respecto a la media de los últimos 50 años.

El otro posible motivo es que, al estimar el caudal mediante una serie de operaciones matemáticas en las que se han realizado medias mensuales, se hayan distorsionado el resultado a la baja al simplificar cálculos y tomar datos poco precisos, como emplear un único factor de escorrentia para una superficie de miles de kilómetros de superficie.

## 8.5 Análisis energético: Aquator

Una vez estudiado el caso de Saucelle I y II, se procede a realizar el mismo estudio empleando el software de gestión de recursos hídricos Aquator. El principal objetivo de esto es realizar el mismo estudio energético y comparar los resultados para ver la validez del método de Aquator. El software que se va a emplear es la versión 5.0 de Aquator, cuya denominación es Aquator XV. La build, o última actualización implementada, es la 7494.

### 8.5.1 Implementación y configuración del modelo

El primer paso de llevar a cabo un estudio con Aquator es la creación de un modelo que sea lo más fiel a la realidad posible y que esté optimizado. A diferencia de los cálculos del apartado

anterior, ahora es posible emplear grupos de datos mayores, ya que se manejan por ordenador. Esto hace que algunos de los datos tomados en el estudio anterior se desechen por poco precisos y se busquen nuevos. Los procesos realizados para la creación y configuración del modelo son los explicados en la guía de usuario también incluida en este trabajo.

#### 8.5.2 Creación del modelo.

Lo primero necesario para llevar a cabo una simulación en Aquator es crear una nueva base de datos o cargar una que ya haya sido creada con anterioridad. En este caso se opta por el segundo caso y se elige la base de datos preestablecida Bewl-Darwell, la genérica que se incluye por defecto en el programa.

A continuación, se procede a crear el proyecto en el que se va a trabajar, que contendrá el modelo de la central. Se le da nombre, en este caso “*Modelo Saucelle*”, tal y como se observa en la ilustración 14, y se elige la base de datos de BewlDarwell incluida en la carpeta en la que se va a trabajar. Esto se lleva a cabo con la opción “*Browse for database*” y eligiendo el lugar en el que se encuentra almacenada dicha base de datos.

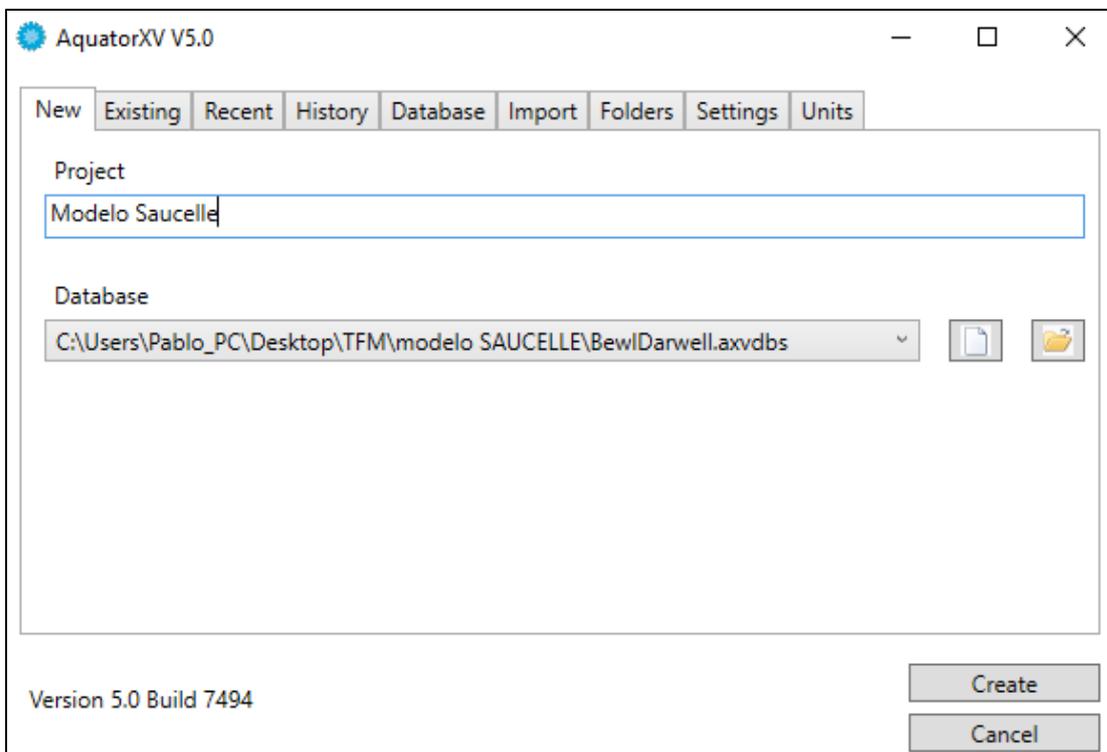


Ilustración 14 Creación de proyecto. Fuente: Propia

Para que luzca un aspecto más realista y se puedan reconocer los elementos que componen la central en la simulación a simple vista, se ha implementado en el modelo una imagen de vista de satélite del salto de Saucelle para utilizarlo como fondo, como se ve en la siguiente imagen. De esta manera es más sencillo tener una imagen clara de la composición, en vez de ser un conjunto de cuadrados y rayas de colores.

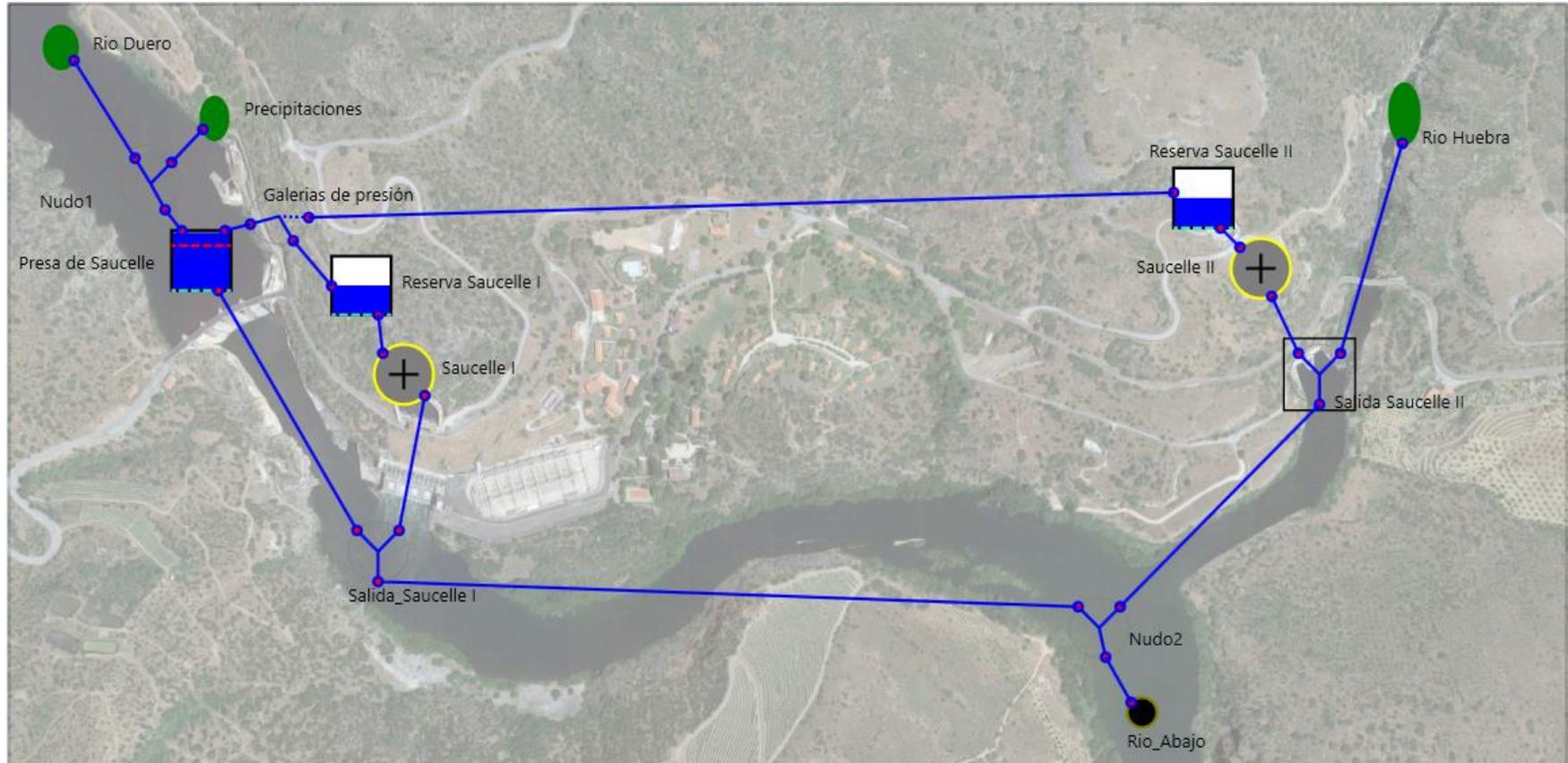


Ilustración 15 Modelo Saucelle. Fuente: Propia

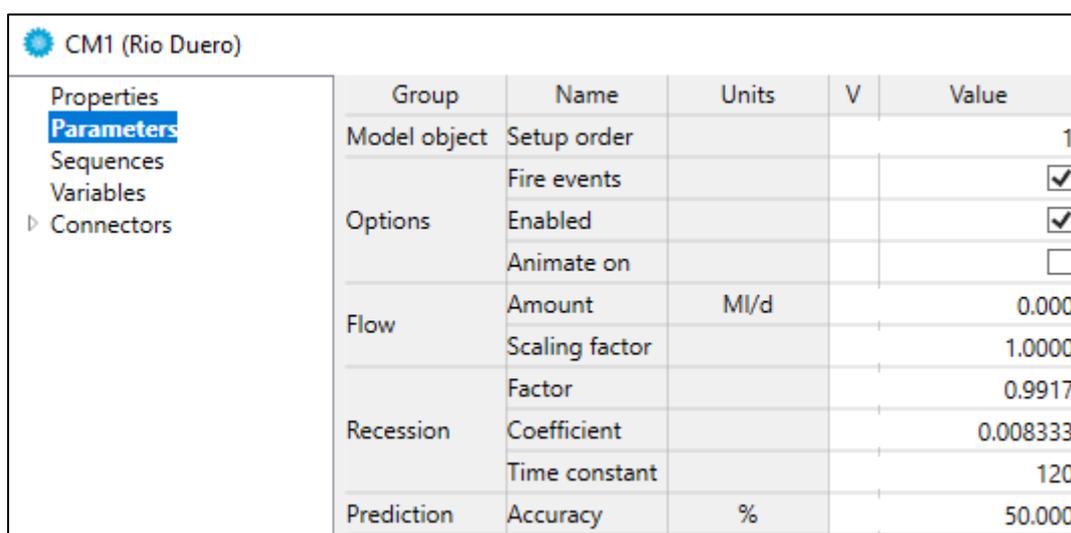
### 8.5.3 Componentes del modelo

A continuación, se va a desglosar los componentes empleados en el modelo de simulación y se va a detallar la configuración de cada uno de ellos, así como desgranar los datos utilizados.

#### Río Duero

Para la implementación del Río Duero en su desembocadura en la presa de Saucelle se coloca un “Catchment” al que se le cambia el nombre por Río Duero para que sea fácilmente reconocible a continuación.

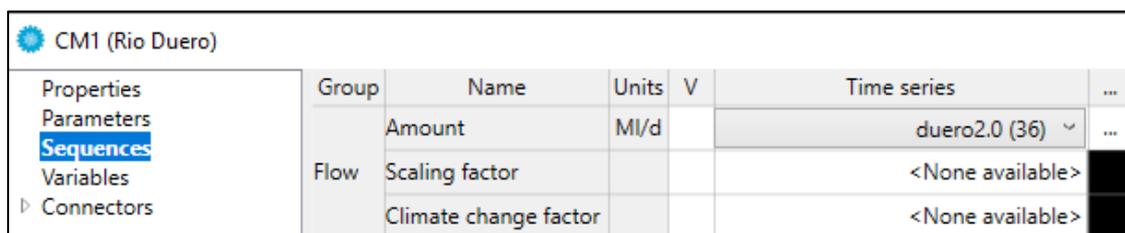
Dado que se trata de una entrada de caudal normal, se deja una configuración genérica del componente, mostrada en la ilustración 16. Esta va a utilizarse tanto para esta captación de agua como para las otras dos que se incluyen en el proyecto.



Group	Name	Units	V	Value
Model object	Setup order			1
Options	Fire events			<input checked="" type="checkbox"/>
	Enabled			<input checked="" type="checkbox"/>
	Animate on			<input type="checkbox"/>
Flow	Amount	MI/d		0.000
	Scaling factor			1.0000
Recession	Factor			0.9917
	Coefficient			0.008333
Prediction	Time constant			120
	Accuracy	%		50.000

Ilustración 16 Parámetros de Catchment. Fuente: Propia

Como se puede apreciar en la imagen anterior, el flujo de caudal “Flow Amount” permanece configurado a cero. Esto se debe a que se ha optado por crear una “Time serie” que introduzca un valor de flujo distinto para cada día. En lugar de introducirse en el apartado de parámetros, se llama a la serie de valores desde el apartado “Sequences”. En este caso concreto se trata de la serie “Duero”, de la manera realizada en la siguiente imagen.



Group	Name	Units	V	Time series
Flow	Amount	MI/d		duero2.0 (36) ▾
	Scaling factor			<None available>
	Climate change factor			<None available>

Ilustración 17 Secuencia de Duero. Fuente: Propia

#### Time series: duero 2.0

A diferencia del estudio anterior, donde el caudal se formaba a raíz de las precipitaciones y el tamaño de la cuenca, en este caso se opta por una línea de estudio distinta. El caudal de agua que llega a la presa de Saucelle es la suma del agua vertida río abajo por la presa de Aldeadávila, salto que se encuentra justamente por encima de Saucelle, y el agua de precipitaciones de la

cuenca comprendida entre ambos saltos. Por ello, se comienza parametrizando el agua que discurre por el río Duero a la salida de Aldeadávila.

Los datos de caudal vertido río abajo por dicha presa se pueden encontrar en la web del Sistema Automático de Información del Duero [8]. De sus archivos se pueden descargar los datos de caudal y nivel de río hora a hora durante todo el año. Esta cantidad ingente de datos, más de 8.000 entradas, no es viable para ser manejada por Aquator, que permite añadir series de datos por mes o por día.

Es necesario trabajar esos datos para poder introducirlos, por lo que se busca obtener la media de cada día, creando una lista de entrada de flujo con un valor para cada día. Para ello se trabaja en una tabla de Excel. El aspecto final de la tabla es la siguiente:

	A	B	C	D	E	F
1	01/08/2019	70.3	1	1	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
2	01/08/2019	68.2	2	2	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
3	01/08/2019	77.1	3	3	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
4	01/08/2019	76.9	4	4	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
5	01/08/2019	85.9	5	5	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
6	01/08/2019	89	6	6	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
7	01/08/2019	96.4	7	7	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
8	01/08/2019	102	8	8	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
9	01/08/2019	110	9	9	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
10	01/08/2019	80.7	10	10	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
11	01/08/2019	76.1	11	11	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
12	01/08/2019	65.6	12	12	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
13	01/08/2019	58.4	13	13	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
14	01/08/2019	49.6	14	14	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
15	01/08/2019	40.2	15	15	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
16	01/08/2019	35.6	16	16	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
17	01/08/2019	32.8	17	17	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
18	01/08/2019	37.2	18	18	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
19	01/08/2019	34.3	19	19	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
20	01/08/2019	52.3	20	20	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
21	01/08/2019	51.9	21	21	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
22	01/08/2019	66.1	22	22	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
23	01/08/2019	69.1	23	23	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
24	01/08/2019	79.8	24	0	66.89583333	2311.92
25	02/08/2019	86.4	25	1	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
26	02/08/2019	98.7	26	2	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?
27	02/08/2019	105	27	3	#¿NOMBRE?	#¿NOMBRE?

Ilustración 18 Time serie Duero. Excel. Fuente: Propia

La primera columna contiene la fecha de la medición y la segunda el valor de flujo, medido en m<sup>3</sup>/s. La tercera de las columnas indica el número de fila real de esa línea. Esto sirve a identificar la línea una vez se aplique el filtro que muestre solo los valores de media de ese día, con la fórmula mostrada en la ilustración 19.



Ilustración 19 Contador de filas. Excel. Fuente: Propia

La cuarta de las columnas asigna valores de 0 a 23. Esto demarca los datos de cada día, agrupándolo cada 24 valores seguidos, correspondientes a un día, para luego hacer el valor medio de todos ellos con la fórmula mostrada en la siguiente imagen.

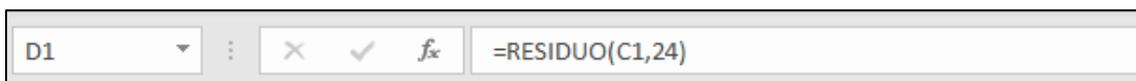


Ilustración 20 Contador 0 -23 Excel. Fuente: Propia

Una vez se cuenta con el número de filas y se han creado grupos de 24, se crea una columna generada mediante la operación Si, la asigna el valor promedio de 24 valores en la casilla número 24 y se coloca un valor NULL en las otras 23. De esta manera se cuenta con el valor medio del día y se eliminan los demás, como se puede comprobar en la ilustración 21.



Ilustración 21 Media diaria. Excel. Fuente: Propia

Por último, se aprovecha la hoja Excel para transformar de manera rápida y directa todos los valores de la serie de m<sup>3</sup>/s a millones de litros/día. Aunque la primera es la unidad del sistema internacional y la más usada en España, el programa de Aquator emplea los millones de litro/día como unidad estándar.

Es posible configurar Aquator de manera que permita la entrada de datos en m<sup>3</sup>/s a la base de datos, pero los componentes prediseñados solo funcionan con MI/día, por lo que sería necesario cambiar luego dentro del proyecto los datos, complicándolo más.

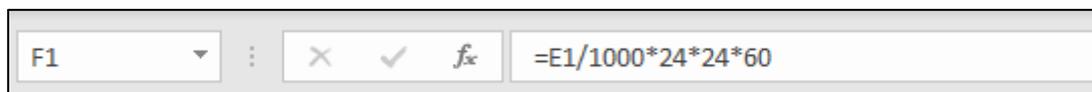


Ilustración 22 Conversión m<sup>3</sup>/s a MI/día. Excel. Fuente: Propia

Para acabar con la tabla de datos, se realiza un filtrado mediante la opción Filtro, suprimiendo todas las filas que contengan el valor NULL en la columna F. De esta manera quedan a la vista los 365 resultados que se necesitan, como se puede ver en la imagen.

1	01/08/20	70			#¿NOMBRE?
24	01/08/2019	79.8	24	0	66.89583333
48	02/08/2019	92.1	48	0	72.92916667
72	03/08/2019	163	72	0	106.7916667
96	04/08/2019	74.4	96	0	141.2833333
120	05/08/2019	12.6	120	0	40.79583333
144	06/08/2019	5.02	144	0	55.85333333
168	07/08/2019	6.85	168	0	6.9275
192	08/08/2019	107	192	0	84.50208333
216	09/08/2019	96.4	216	0	158.475
240	10/08/2019	75.6	240	0	80.24583333
264	11/08/2019	58.8	264	0	91.8375

Ilustración 23 Tabla de caudal Duero. Excel. Fuente: Propia

Una vez se tiene la plantilla de Excel con los datos perfectamente trabajados, es momento de cargarlo en Aquator. Para ello se abre el “Database Management” y se busca el fichero de “Flow (MI/d)” dentro del conjunto de “Time series”. El aspecto resultante puede verse a continuación.

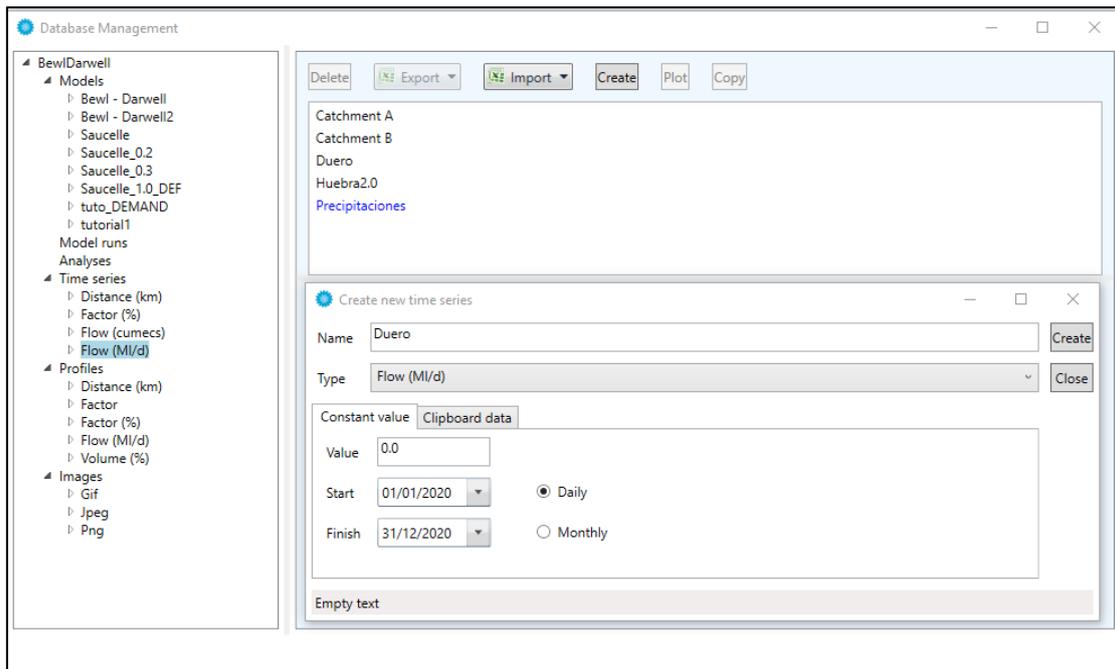


Ilustración 24 Database Management. Aquator. Fuente: Propia

Para que reciba los datos el programa, se copian en Excel y se indica dentro del “Clipboard Data” que los datos que debe leer son los de la primera y la última columna. Como se trata de una serie de día a día, se debe indicar la opción “Daily”. En este caso este es el resultado del caudal del río Duero.

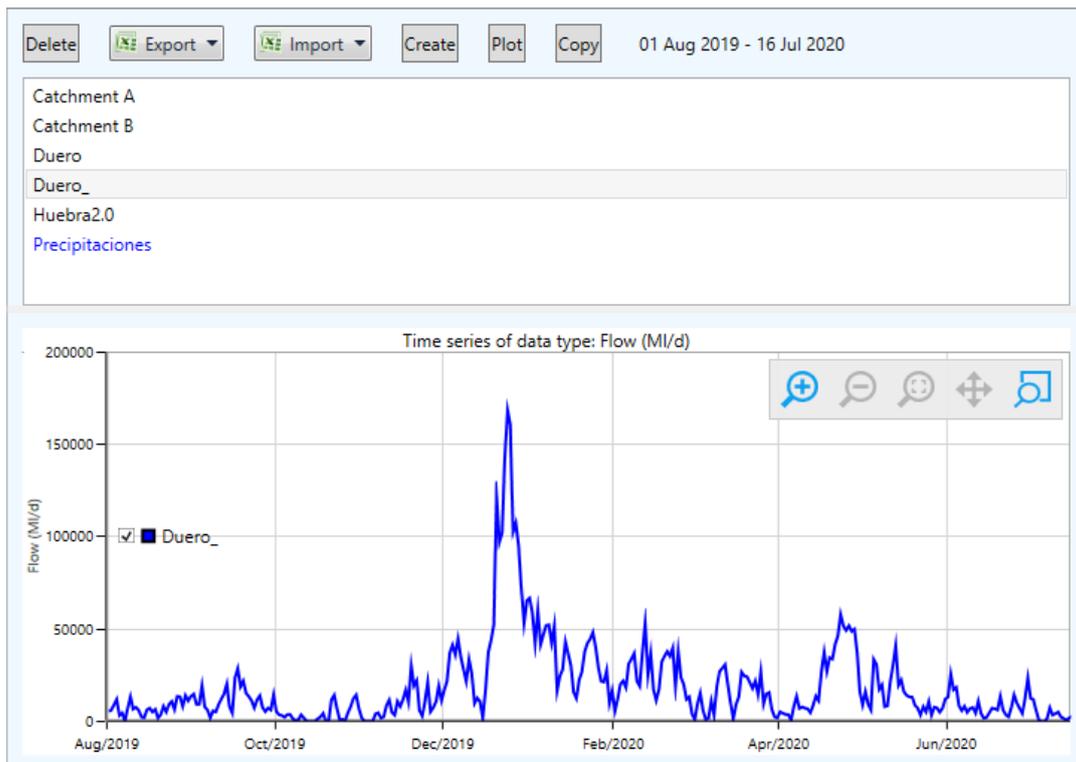


Ilustración 25 Time Serie Duero. Plot. Fuente: Propia

## Precipitaciones

Para el cálculo de las precipitaciones, se ha llevado a cabo el mismo proceso que en el caso del estudio anterior. Se calcula el valor de caudal fruto de las precipitaciones y se añade al que se ha calculado del Rio Duero.

Como la zona de precipitaciones es solo el área de cuenca entre Aldeadávila y Saucelle, mucho menor que la cuenca hidrográfica del Duero al completo, su incidencia en el caso de estudio es menor y los errores fruto de este tipo de aproximación mucho menos relevantes.

Se parte de la misma ecuación que en el caso anterior:

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = \frac{cSI}{3,6}$$

Donde:

- Q: el caudal medio calculado (m<sup>3</sup>/seg)
- c: valor de la escorrentia.
- S: superficie de la cuenca [km<sup>2</sup>]
- I: precipitaciones [mm/h]

Solo que en esta ocasión las precipitaciones que se han utilizado son la de un punto de medición de Salamanca, cerca del Duero, ya que es el más cercano a la zona que se quiere estudiar y no es necesario ponderar distintos puntos de medición de distintas provincias.

Cómo no se cuenta con un dato de estudio de la cuenca necesario, se va a calcular a mano. Para ello se consulta un mapa de relieve para ver las zonas altas y bajas y buscar la zona de pendiente en la que el agua de lluvia cae hacia el Duero.

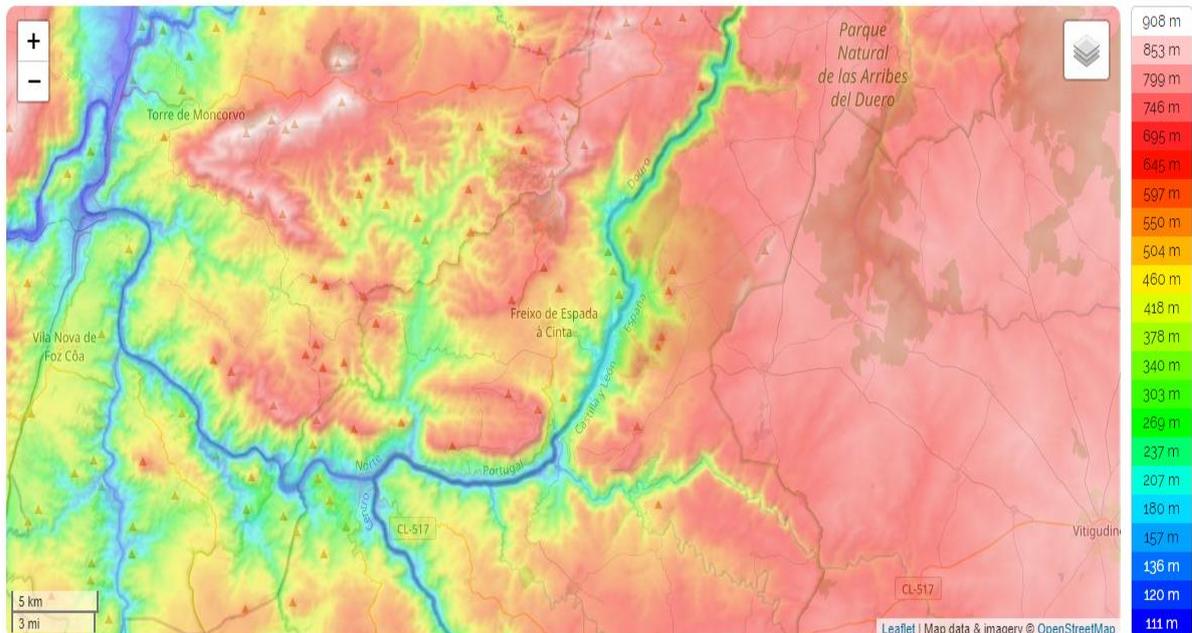


Ilustración 26 Mapa relieve Saucelle. Fuente: GoogleMaps

Una vez estimada la posible cuenca natural de la zona, claramente marcada en colores amarillo y verde cercanas al Rio. Se calcula la superficie de esta mediante el programa GoogleEarth, como se muestra en la ilustración 27.

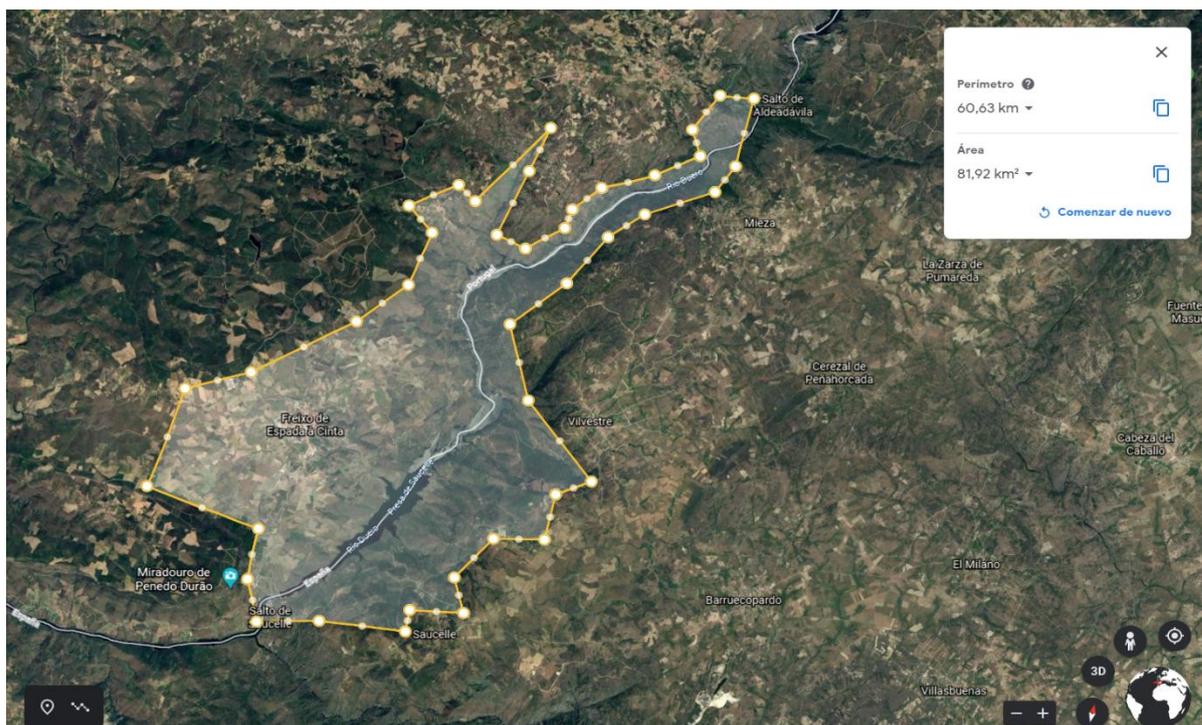


Ilustración 27 Superficie Cuenca Saucelle. Fuente: GoogleEarth

La superficie de la cuenca es de 81.92 km<sup>2</sup>.

Asumiendo la misma escurrentía que el resto de la cuenca del Duero, un factor de 0.31, y las precipitaciones medidas, los caudales resultantes son los siguientes:

Mes	Precipitación(mm)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (Ml/d)
<b>Agosto</b>	<b>47.2</b>	0.39425111	34.063296
Septiembre	45.3	0.37838083	32.692104
Octubre	50.4	0.42098	36.372672
Noviembre	62.8	0.52455444	45.321504
Diciembre	68.2	0.56965944	49.218576
Enero	57.2	0.47777889	41.280096
Febrero	58	0.48446111	41.85744
Marzo	52.1	0.43517972	37.599528
Abril	42.9	0.35833417	30.960072
Mayo	66.3	0.55378917	47.847384
Junio	78.1	0.65235194	56.363208
Julio	59.6	0.49782556	43.012128

Tabla 6 Caudales por precipitación en Saucelle. Fuente: Propia

Al igual que se ha hecho con el río Duero, estos datos se introducen en Aquator formando una "Time serie", la cual se ha llamado en este caso Precipitaciones. Se trata de una serie de valores mensuales, no diarios, ya que los datos de medición con los que se contaban son de este tipo. El aspecto resultante es el siguiente:

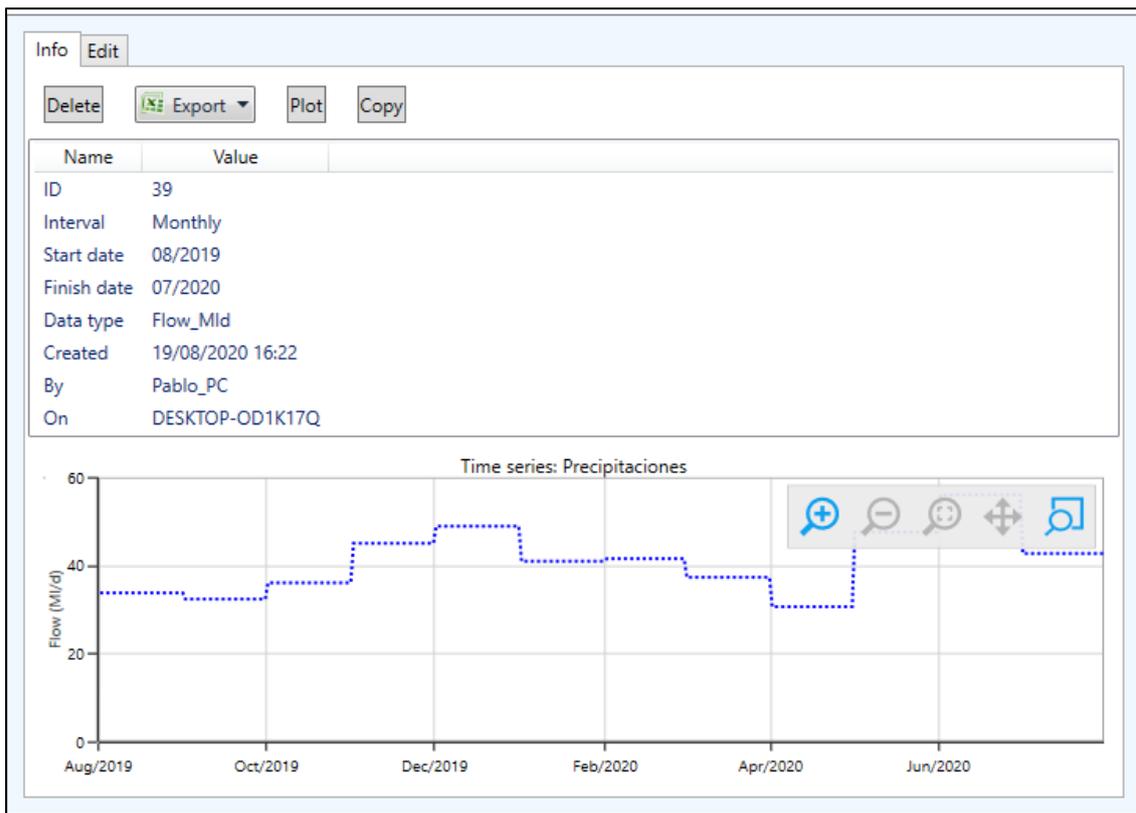


Ilustración 28 Gráfica Time Serie Precipitaciones. Aquator. Fuente: Propia

Por último, se crea un “catchment” de nombre precipitaciones, se mantiene su configuración de parámetros estándar y se añade esta serie temporal como guía de flujo de caudal.

Group	Name	Units	V	Time series
Flow	Amount	MI/d		Precipitaciones (39)
	Scaling factor			<None available>
	Climate change factor			<None available>

Ilustración 29 Caudal de Precipitaciones. Aquator. Fuente: Propia

## Río Huebra

La última de las entradas de caudal que se han implementado en el proyecto es la del Río Huebra. Aunque tal y como se ha diseñado Saucelle I y II no tiene ninguna relevancia, puesto solo sirve como aliviadero del segundo salto, se ha introducido en el modelo para ser utilizado posteriormente cuándo se estudien posibilidades de mejora y su viabilidad económica.

El proceso a seguir es idéntico al realizado con el río Duero, obteniendo los datos del mismo lugar y trabajándolos en Excel y Aquator de la misma manera. El resultado de todo ello es el siguiente afluente:

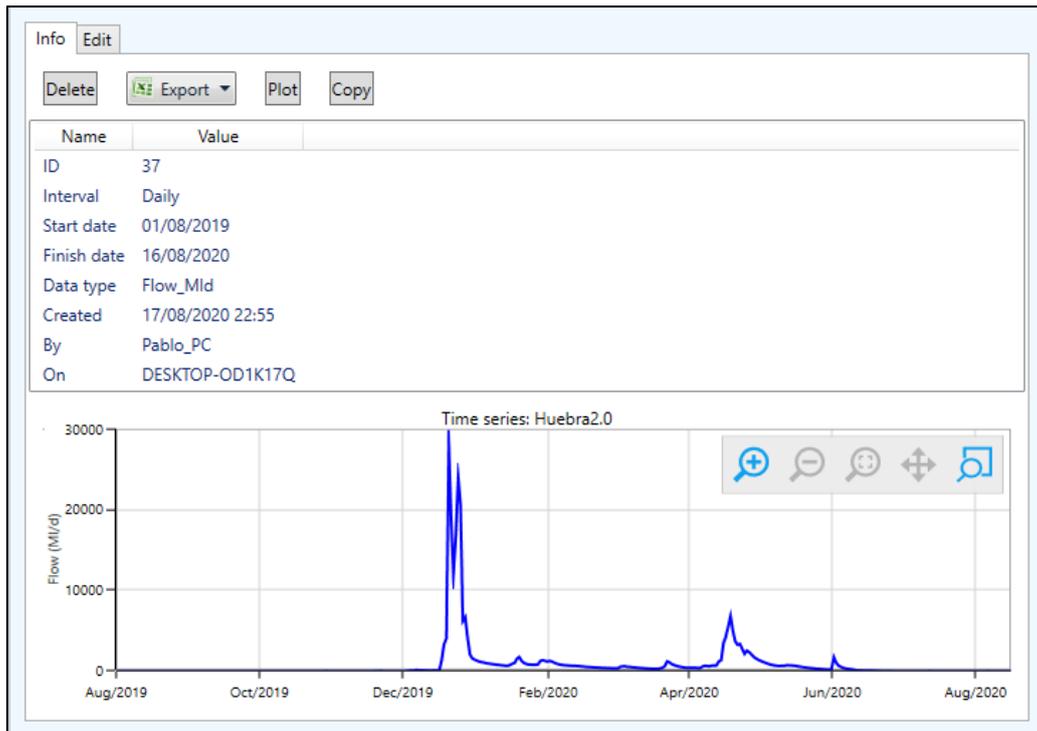


Ilustración 30 Time Serie Huebra. Aquator. Fuente: Propia

Se ha creado el componente Rio Huebra en la parte derecha del modelo, donde el río sufre un pequeño desnivel antes de unirse al Duero y continuar el agua hacia el sur. Se trata de un componente de captación, reconocible en color verde.

La configuración paramétrica del mismo es la genérica, similar a los otros dos componentes de mismo tipo. El parámetro de caudal se ha dejado a 0 y se ha adjuntado la secuencia Huebra para que el flujo esté regulado día a día.

Por último, se puede comprobar en la siguiente gráfica que los caudales del río Duero y el río Huebra son considerablemente superiores al caudal implementado por las precipitaciones de la zona. Esto se debe a que es una cuenca de poca superficie. Por ello, se podría considerar despreciable este caudal y ser eliminado del modelo. Por realismo, se ha decidido dejar ya que no ralentiza los cálculos.

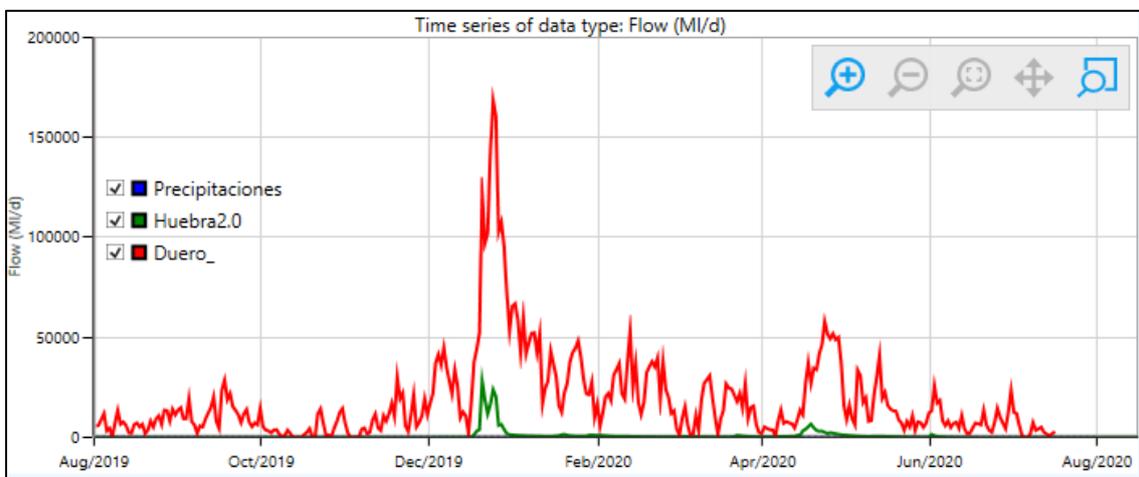


Ilustración 31 Comparativa caudales. Fuente: Propia

## Presa de Saucelle

El componente de mayor relevancia en el modelo es la presa, puesto que se encarga de recoger y distribuir el agua hacia las centrales y río abajo. Se trata del componente "Reservoir", el cuál ha sido nombrado Presa de Saucelle.

Este componente cuenta con tres conectores distintos, uno de ellos de entrada y otros dos de salida. Son los siguientes:

- RV1\_IF1. Es un conector de entrada que recoge el caudal que proviene de los componentes Río Duero y Precipitaciones. El agua de llegada es almacenada en la presa.
- RV1\_OF1. Es el conector principal de salida y representa la apertura de las esclusas de la presa. Cuando el agua almacenada sobrepase el límite de capacidad, es por aquí por donde se desagua río abajo.
- RV1\_HP1. Es el conector secundario del componente Presa de Saucelle. Es un conector de salida que lleva el agua hacia las reservas que alimentan las centrales hidroeléctricas. Está configurado para que saque agua solo cuando se cumplan condiciones concretas y siempre en los máximos caudales fijados en función al tamaño de las galerías de presión en la vida real.

También es necesario establecer los límites fijos y los diferentes niveles de capacidad de la reserva. Se considera que la capacidad máxima de la presa es de 181 hm<sup>3</sup>, un dato que se puede obtener de los datos de la web de Sistema Automático de Información del Duero. De ese mismo lugar se ha obtenido el dato de que la capacidad usable del embalse es de 55 hm<sup>3</sup>, por lo que se ha calculado el punto de almacenaje de emergencia. El aspecto final del componente es el siguiente:

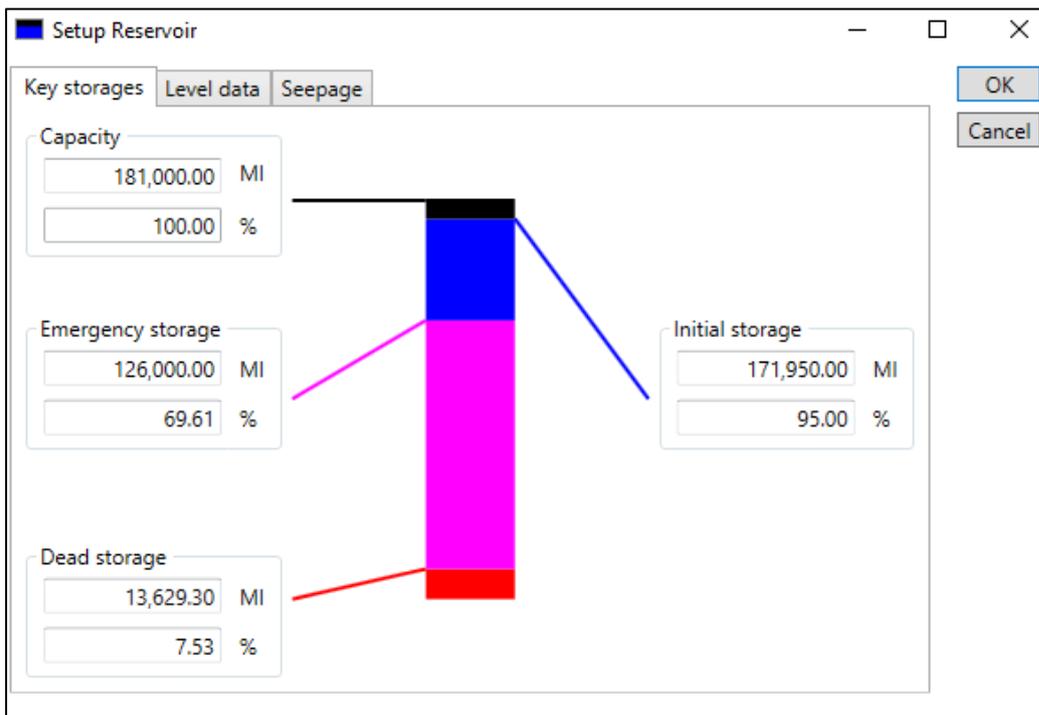


Ilustración 32 Capacidad Salto Saucelle. Aquator. Fuente: Propia

Se ha considerado que el punto de almacenamiento del embalse a la hora de comenzar la simulación es de 175 hm<sup>3</sup> ya que es la media anual de la presa de Saucelle en el periodo 2019/2020. Este dato puede comprobarse en la siguiente gráfica, obtenida del Sistema Automático de Información del Duero. [8]

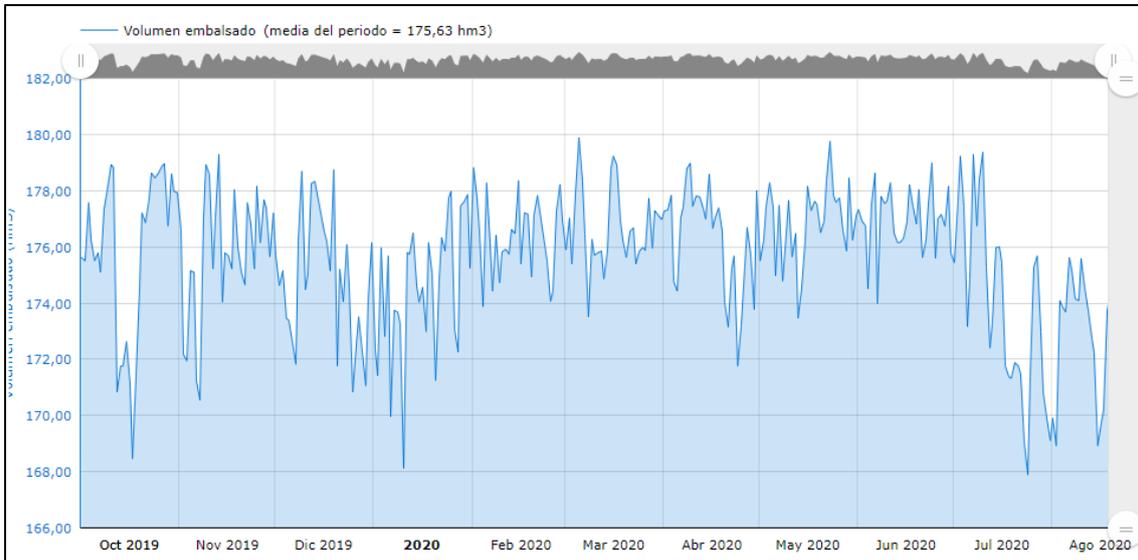


Ilustración 33 Volumen del embalse Saucelle. Fuente: XX

A pesar de que los datos se han introducido a través de la ventana de Setup del componente, un tipo de ventana emergente que solo tienen las reservas de agua, algunos de los valores introducidos se ven reflejados en la pestaña de estados de la configuración del componente.

Como se ve en la siguiente imagen, el valor inicial y el porcentaje que representa respecto al valor total se muestran en este lugar tras introducirlos por otro lado. El porcentaje y el número de millones de litros están en consonancia de manera automática, es decir, que, si se cambia el valor de uno de ellos, el otro se corrige de manera automática para que sea coherente. Esto permite elegir meter el valor inicial mediante número de litros o porcentaje sin tener que calcular de manera manual el otro valor.

RV5 (Reservoir5)				
Properties	Group	Name	Units	Value
Parameters States Sequences Variables Connectors	Storage	Initial value	MI	171950.00
		Initial value (%)	%	95.000
	Demand saving	Yesterdays level		0
	Yesterdays	Supply	MI/d	0.000
		Demand	MI/d	0.000

Ilustración 34 Estados de la presa Saucelle. Aquator. Fuente: Propia

Para configurar la salida de agua por el conector secundario, el encargado de alimentar las centrales hidroeléctricas, es necesario entrar en la parametrización del componente. Este tipo de pieza cuenta con cinco posibles salidas, además de la básica que consiste en la salida río abajo

a través de las esclusas, entre las que se encuentra la opción de una salida para alimentar turbinas de una central. Esta opción se representa con la línea “Hydropower target”.

Todas las opciones de salida, como la de irrigación o la de flujos de compensación, cuentan con dos líneas de parámetro que deben configurarse. Uno de ellos, cuyas unidades es MI/d, indica el máximo de caudal de agua que va a desviarse por esa línea. El otro, definido por un porcentaje, marca el límite inferior de la capacidad total de la reserva para que se envíe agua a esa línea. Es decir, que si la captación se abre cuando el nivel es superior a ese nivel y se cierra cuando es inferior.

En esta simulación solo se configuran los valores referentes a la alimentación de centrales hidroeléctricas, mostrados en la siguiente imagen. En este caso el valor de caudal se ha pasado a la unidad de Aquator, quedando en 40170 millones de litro al día como máximo para alimentar los dos saltos a plena potencia. El nivel de control se ha establecido en el 63%, que es el límite del embalse en el que se encuentra dentro de su zona de uso.

Operation	Can hold resource state		<input checked="" type="checkbox"/>
Control level	Supply	%	0.000
	Refill	%	100.000
Release	Compensation control level	%	0.000
	Compensation target	MI/d	0.000
	Flood drawdown control level	%	0.000
	Flood drawdown target	MI/d	0.000
	Hydropower control level	%	63.000
	Hydropower target	MI/d	40176.000
	Irrigation control level	%	0.000
	Irrigation target	MI/d	0.000
	Additional control level	%	100.000
	Additional target	MI/d	100000.000
	Failure margin	MI/d	0.000

Ilustración 35 Parámetros Presa Saucelle. Aquator. Fuente: Propia

A pesar de que con esto sería suficiente para funcionar, surge un pequeño inconveniente y es que, en la realidad, las centrales hidroeléctricas no funcionan el cien por cien del tiempo, tal y como se ha demostrado en el estudio anterior. Mediante una operación sencilla de la capacidad máxima de la potencia de Saucelle I y II y los 900 GWh que se estima que genera como máximo al año, se concluye que la central tiene un tiempo de operación a plena potencia de algo más de 1700 horas por año.

Aunque lo lógico sería configurar Aquator para un funcionamiento similar, este software no trabaja por horas como unidad mínima de tiempo sino como días. Esto provoca que haya que realizar una estimación de días de trabajo a lo largo del año y temporadas en los que la central no esté en funcionamiento. Como cada mes tiene unos días distintos, se distribuye el año en 13 periodos de 28 días y un día sobrante. Para tener un número de horas similar a la estimación, se opta por que va a entrar en servicio 6 días de cada 28. De esta manera:

$$6 * 24 * 13 = 1872 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

A la hora de distribuir los días existen varias opciones. La primera es una distribución igualitaria todo el año, incluyendo los 6 días de funcionamiento cada mes. La otra opción es colocar más días de servicio en los periodos del año donde es mayor el caudal de agua, pudiendo aprovechar en mayor medida los meses donde el río Duero baja con un mayor volumen de agua. Se ha optado por la segunda opción, de mayor rendimiento, dando algo de protagonismo a los periodos de otoño y primavera y poniendo menos días de funcionamiento en verano e invierno, cuando las lluvias son menos comunes.

Para ello se ha creado un perfil de funcionamiento, no una serie temporal, en la que se asigna que los días de funcionamiento la toma de agua se produce cuando el nivel de la reserva es superior a 63%. El resto de los días dicho nivel es superior al 100%, de manera que es imposible que se cumpla la condición. Dicho perfil queda representado en la imagen 36.

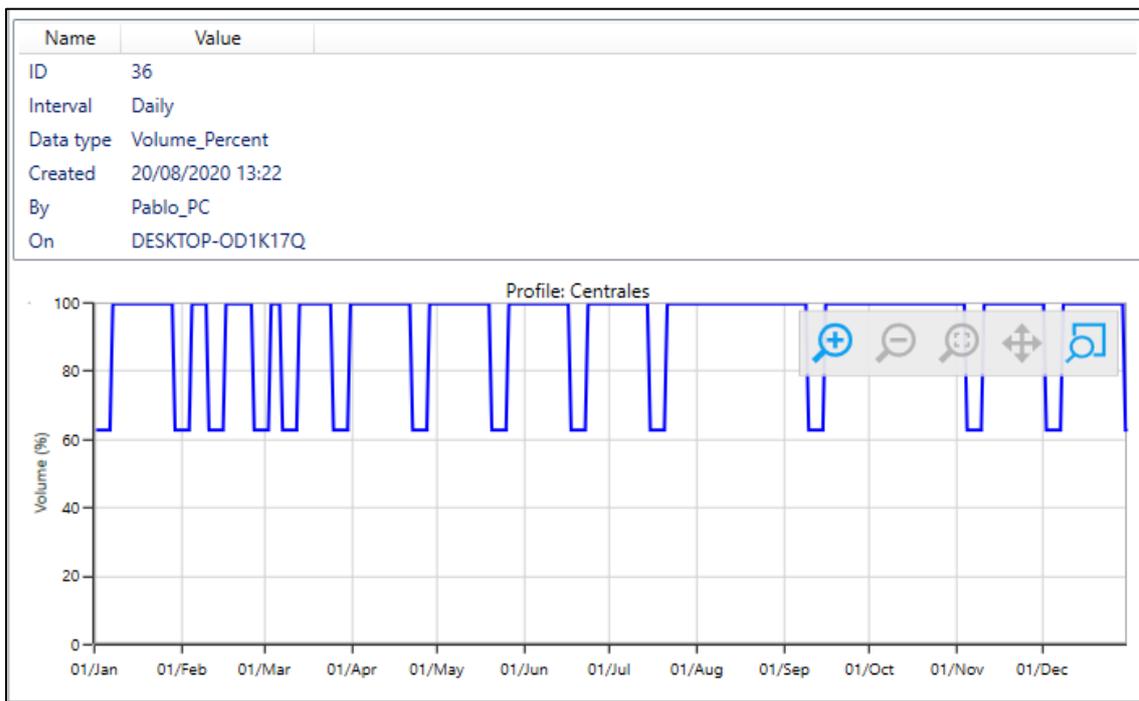


Ilustración 36 Días de suministro. Aquator. Fuente: Propia

El perfil se ha guardado con el nombre de Centrales en la carpeta de porcentajes de volumen, pues controla la variable del volumen de embalse lleno en porcentaje. Una vez creado el perfil correctamente se le referencia dentro de la configuración de estados del componente de la reserva. Se puede comprobar en la ilustración 37 que el perfil se ha cargado en el componente mediante la elección en la pestaña adecuada.

Group	Name	Units	V	Time series	Profile
Max refill	Control level 3	%			
	Control level 4	%			
	Control level 5	%			
Release	Compensation control level	%		<None available>	
	Compensation target	MI/d			
	Flood drawdown control level	%		<None available>	
	Flood drawdown target	MI/d			
	Hydropower control level	%		<None available>	Centrales (36)
	Hydropower target	MI/d			
	Irrigation control level	%		<None available>	
	Irrigation target	MI/d			
	Additional control level	%		<None available>	
	Additional target	MI/d			
	Failure margin	MI/d			

Ilustración 37 Configuración de servicio Saucelle. Aquator. Fuente: Propia

### Reservas de servicio de Saucelle I y II

Además de la gran reserva de agua que es la presa de Saucelle, el sistema de centrales cuenta con dos pequeñas centrales auxiliares. Cada una de ellas se encuentra en a pocos metros de su correspondiente central hidroeléctrica y sirven para aprovisionar agua y contar con una pequeña cantidad de ella para que el caudal que entre a turbinar sea lo más estable posible.

Cada una de estas reservas tiene una capacidad máxima de 60.000 m<sup>3</sup> [7], es decir, 60 millones de litros. No es necesario configurar niveles de almacenamiento de emergencia ni de nivel muerto ya que se trata de reservas artificiales y cuentan con una capacidad bastante limitada. La cantidad inicial, el 50% de su capacidad, ha sido elegido de manera arbitraria. La configuración final del componente es:



Ilustración 38 Capacidad reservas Saucelle I y II. Aquator. Fuente: Propia

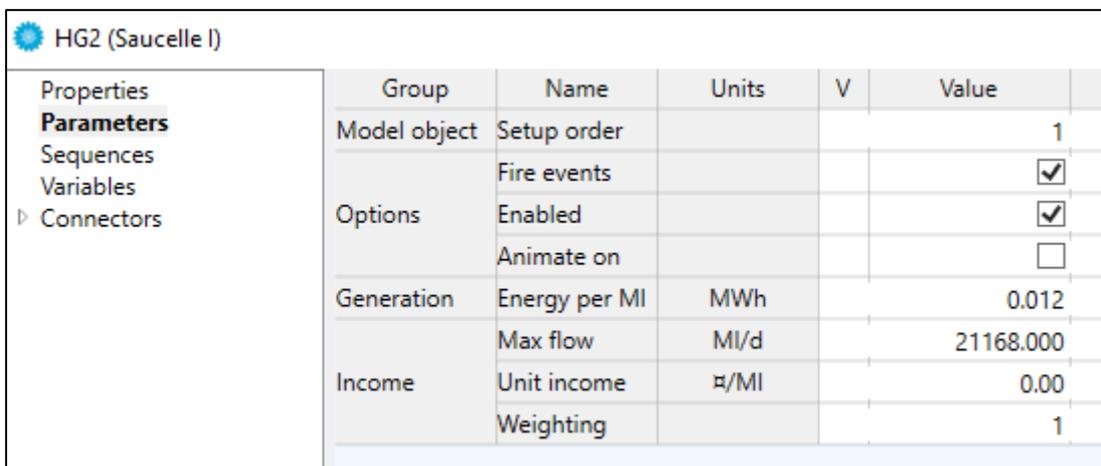
## Centrales de Saucelle I y II

Ya que ambas centrales se configuran de igual manera, aunque con distintos parámetros, se incluyen juntas en un mismo punto. Se trata de componentes que deben incluirse dentro de un caudal de agua, haciendo que esta pase a través de ellas para ser turbinada. Existen dos tipos de centrales dentro de Aquator, la de río y la de red de suministro. Para este modelo se ha optado por la primera de las opciones, ya que son centrales alimentadas con agua de un río natural, no están dentro de la red de suministro de ningún grupo residencial.

Una vez colocadas en el lugar adecuado en el modelo y conectados ambos extremos, se nombran Saucelle I y Saucelle II para que sean fácilmente reconocibles en los menús y las gráficas que se empleen tras la ejecución del modelo.

La configuración de parámetros de estos componentes es sencilla, siendo lo principal las pestañas de generación de energía y de ingresos. En el primer apartado, el energético, se introduce cuánta energía en MWh se produce por cada millón de litros de caudal que entran en la central. Este dato se obtiene con facilidad teniendo en cuenta los caudales máximos y la potencia generada máxima de cada central, información ya recogida en puntos anteriores del estudio.

Para hacer correctamente el cálculo es importante convertir los caudales máximos expuestos anteriormente de m<sup>3</sup>/s a MI/d. En este caso se ha asignado la posición en el “*setup order*” para dar prioridad a la toma de agua para energía respecto al resto de movimientos de caudal que se realizan en la reserva de agua. Las configuraciones finales quedan reflejadas en ambos imágenes.



Group	Name	Units	V	Value
Model object	Setup order			1
	Fire events			<input checked="" type="checkbox"/>
Options	Enabled			<input checked="" type="checkbox"/>
	Animate on			<input type="checkbox"/>
Generation	Energy per MI	MWh		0.012
	Max flow	MI/d		21168.000
Income	Unit income	€/MI		0.00
	Weighting			1

Ilustración 39 Parámetros de Saucelle I. Aquator. Fuente: Propia

HG3 (Saucelle II)						
Properties	Group	Name	Units	V	Value	
<b>Parameters</b>	Model object	Setup order			1	
Sequences		Fire events			<input checked="" type="checkbox"/>	
Variables	Options	Enabled			<input checked="" type="checkbox"/>	
Connectors		Animate on			<input type="checkbox"/>	
	Generation	Energy per MI	MWh		0.015	
		Max flow	MI/d		19008.000	
	Income	Unit income	€/MI		0.00	
		Weighting				1

Ilustración 40 Parámetros de Saucelle II. Aquator. Fuente: Propia

### Galerías de presión

Galerías de presión es el nombre que se le ha dado a un componente necesario para poder sacar las dos tuberías que alimentan ambos saltos. Esta pieza se encarga de diversificar el flujo de agua en dos galerías, una para cada uno de las centrales hidroeléctricas.

Aunque esto se podría realizar mediante dos salidas de la reserva, una opción mas cercana a la realidad, implicaría tener que configurar por duplicado los caudales máximos y las situaciones en las que se cumplan las condiciones de trabajo. Además habría que tener en consideración la opción de que solo una de las centrales funcionase y la otra no. Todo esto implicaría configurar condiciones de uso para optimizar el proceso y, aunque posible, implicaría mucho trabajo para un modelo tan sencillo como este, que apenas sobrepasa los diez componentes.

Se ha optado por configurar por parámetro, como se puede ver en la ilustración 41, que divida a partes iguales el agua que circula a través de la bifurcación, puesto que los caudales óptimos de ambas centrales son muy similares.

DV1 (Galerías de presión)						
Properties	Group	Name	Units	V	Value	
<b>Parameters</b>	Model object	Setup order			1	
Variables		Fire events			<input checked="" type="checkbox"/>	
Connectors	Options	Enabled			<input checked="" type="checkbox"/>	
		Animate on			<input type="checkbox"/>	
	Rule	Start threshold	MI/d		0.000	
		Transfer rate	%		50.000	
		Transfer maximum	MI/d		0.000	
		Enforce maximum			<input type="checkbox"/>	
	Rule not obeyed	Report status			Warning	▼
		Accuracy criterion	MI/d			1.000

Ilustración 41 Galerías de presión

## Canales de agua

Además de servir de conducto entre los distintos componentes, estos componentes pueden configurarse para añadir pérdidas o ganancias de caudal y añadir tiempos de circulación. Como se trata de un modelo pequeño geográficamente hablando, apenas unos kilómetros de recorrido, se ha dejado configurado de manera estándar, sin ningún tipo de influencia en los flujos de caudal.

## Río abajo

Se ha incluido el componente “termination” al final del modelo para que cierre el circuito de agua, ya que en la simulación no se permite tener ningún conector sin conectar. Su única función es servir de salida al caudal tras pasar por ambas centrales o a través de las esclusas de la presa.

### 8.5.4 Simulación. Aquator.

Cómo se busca estudiar el rendimiento energético de la central, la simulación realizada va a tener la duración de un año. Sin embargo, dado que los datos con los que se cuenta no incluyen algunos meses de 2019, por alguna razón que no se especifican en la web de la que se han extraído los datos, se opta por simular desde Agosto de 2019 hasta el mes de Agosto de 2020.

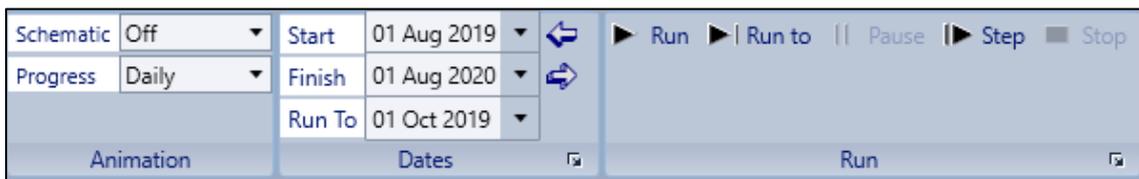


Ilustración 42 Tiempo de simulación. Aquator. Fuente: Propia

Antes de lanzar la simulación es necesario configurar las gráficas que van a crearse. Se diseñan mediante la opción “Charts” y podrán accederse a ellas mediante el esquema de árbol de la izquierda de la pantalla una vez termine la simulación. Estas son las gráficas elegidas para este caso de estudio:

- Gráfica A. Comparativa de caudales de entrada en el modelo. Incluye el flujo de agua de las captaciones Rio Duero, Rio Huebra y Precipitaciones.
- Gráfica B. Nivel de almacenamiento de la Reserva Presa de Saucelle.
- Gráfica C. Comparativa de caudal de entrada de las centrales hidroeléctricas. Incluye el caudal de las galerías de Saucelle I y Saucelle II.
- Gráfica D. Comparativa de generación energética de las centrales Saucelle I y Saucelle II.
- Gráfica F. Comparativa de volumen almacenado en las reservas de agua de Saucelle I y Saucelle II.
- Gráfica G. Comparativa del estado de almacenamiento de la reserva Saucelle y el caudal vertido por las esclusas río abajo a través del componente Esclusas Saucelle.

Chart	Object	Group	Name	Style	Legend
A: Chart A	CM1 (Rio Duero)	Outflow	Net	-----	
	CM2 (Rio Huebra)	Outflow	Net	-----	
	CM3 (Precipitaciones)	Outflow	Net	-----	
B: Chart B	RV5 (Presa de Saucelle)	Storage	Calculated	-----	
C: Chart C	RR18 (Galeria Saucelle II)	Inflow	Net	-----	
	RR19 (Galeria Saucelle I)	Inflow	Net	-----	
D: Chart D	HG2 (Saucelle I)	Generator	Energy	-----	
	HG3 (Saucelle II)	Generator	Energy	-----	
F: Chart F	RV2 (Reserva Saucelle II)	Storage	Calculated (%)	-----	
	RV3 (Reserva Saucelle I)	Storage	Calculated (%)	-----	
G: Chart G	RR25 (Esclusas Saucelle)	Inflow	Net	-----	
	RV5 (Presa de Saucelle)	Storage	Calculated	-----	

Ilustración 43 Listado de gráficas. Aquator. Fuente: Propia

### 8.5.5 Resultados y gráficas. Aquator.

Tras realizarse la simulación se genera un archivo que contiene toda la información de la simulación. Ahí se puede comprobar que no ha habido incidencias y que la simulación se ha terminado con éxito. El caso de estudio realizado se ha completado con cero errores.

Dada la capacidad de gestión de datos de Aquator, diseñado para enormes modelos que incluyen redes de agua compleja, la simulación de la central de Saucelle se ha completado en apenas un segundo. Cada día simulado, que incluye un movimiento de agua en cada componente, se simula en 3 microsegundos. Estos datos aparecen en el registro, como se ve en la imagen 44.

```

29  Model
30      Run mode          = Synchronous/Progress=Daily
31      Run length       = 367 days
32      Constraints dropped = 367 days
33      Elapsed time     = 1.2 secs (00:00:01)
34      Execution time   = 1.1 secs (00:00:01)
35      Time per day     = 3.0 msec
36      Model speed      = 334.9 days/sec
37
38      Total added      = 6986373.1 Ml (average = 19036.44 Ml/d)
39      Total removed    = 7043760.0 Ml (average = 19192.81 Ml/d)
40      Total stored     = -57386.9 Ml (average = -156.37 Ml/d)
41      Total lost       = 0.0 Ml (average = 0.00 Ml/d)
42      Total cost       = 0.0 ¤ (average = 0.00 ¤/d)
43      Total demands    = 0.0 Ml (average = 0.00 Ml/d)
44      Releases requested = 0.0 Ml (average = 0.00 Ml/d)
45
46      Days warning level = 0
47      Days failure level = 0
48      Days error level  = 0

```

Ilustración 44 Log de Aquator. Fuente: Propia

En el diagrama lateral del modelo aparecen generadas las tablas que se configuran antes de llevar a cabo la simulación. La primera de ellas muestra los tres caudales de agua que se han implementado al modelo.

Cómo se puede ver a simple vista, el caudal del Rio Duero es muy superior en cualquier otro momento del año a las precipitaciones e incluso al Rio Huebra. No se trata de un caudal para nada uniforme, ya que tiene grandes picos sobretodo en los periodos de invierno, cuándo las precipitaciones son abundantes, y primavera, cuando tienen lugar los deshielos de zonas de alta montaña.

Este tipo de gráfica permite intuir que los momentos de mayor generación energética serán en esas épocas del año, pero también será cuándo más necesario es controlar el nivel del embalse para evitar que el agua almacenada suba demasiado.

A continuación se pueden ver las gráficas 46, 47 y 48, que detallan los caudales registrados, el nivel de almacenamiento del embalse y el caudal de evacuación y la potencia generada en las respectivas centrales.

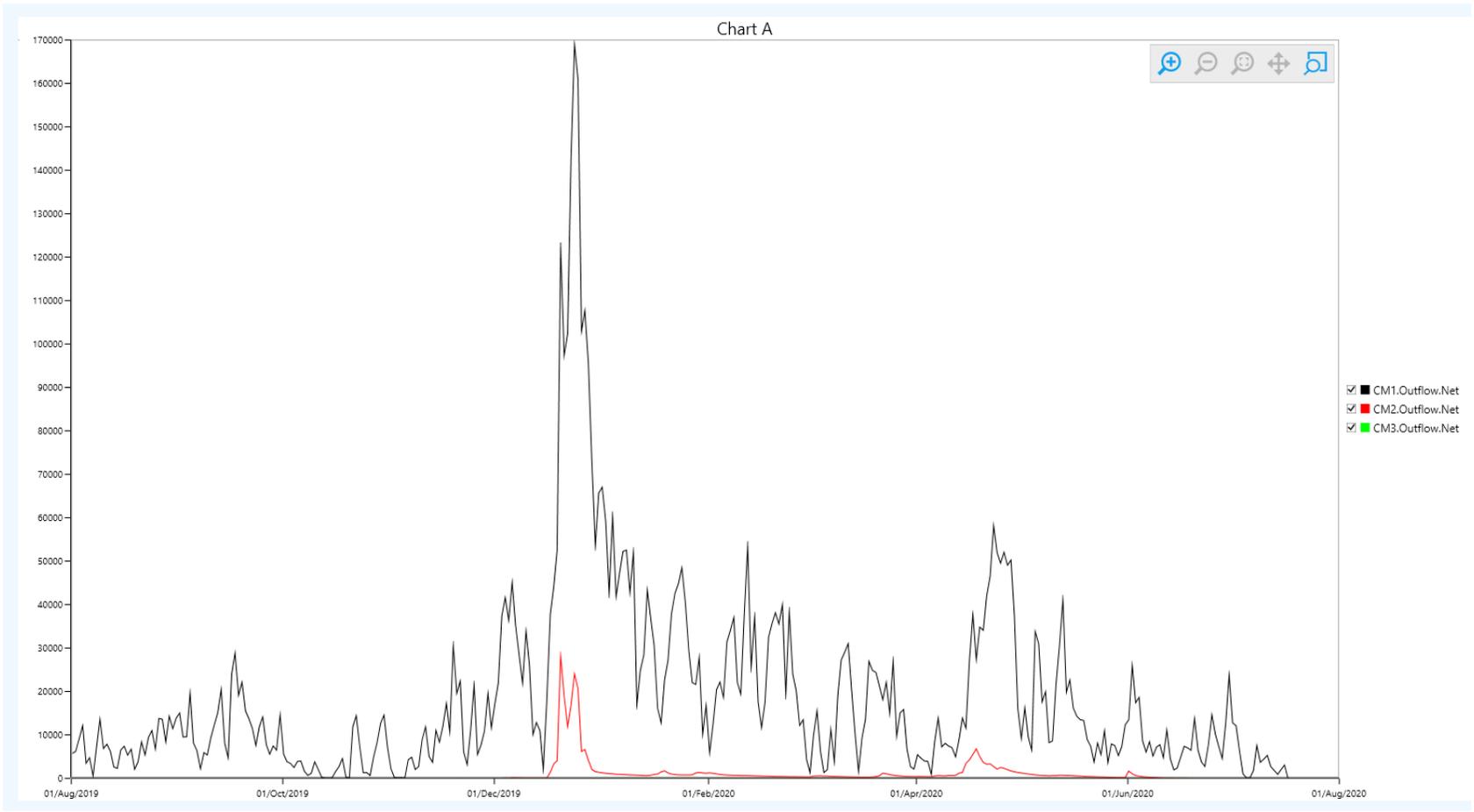


Ilustración 45 Gráfica de caudales. Aquator. Fuente: Propia

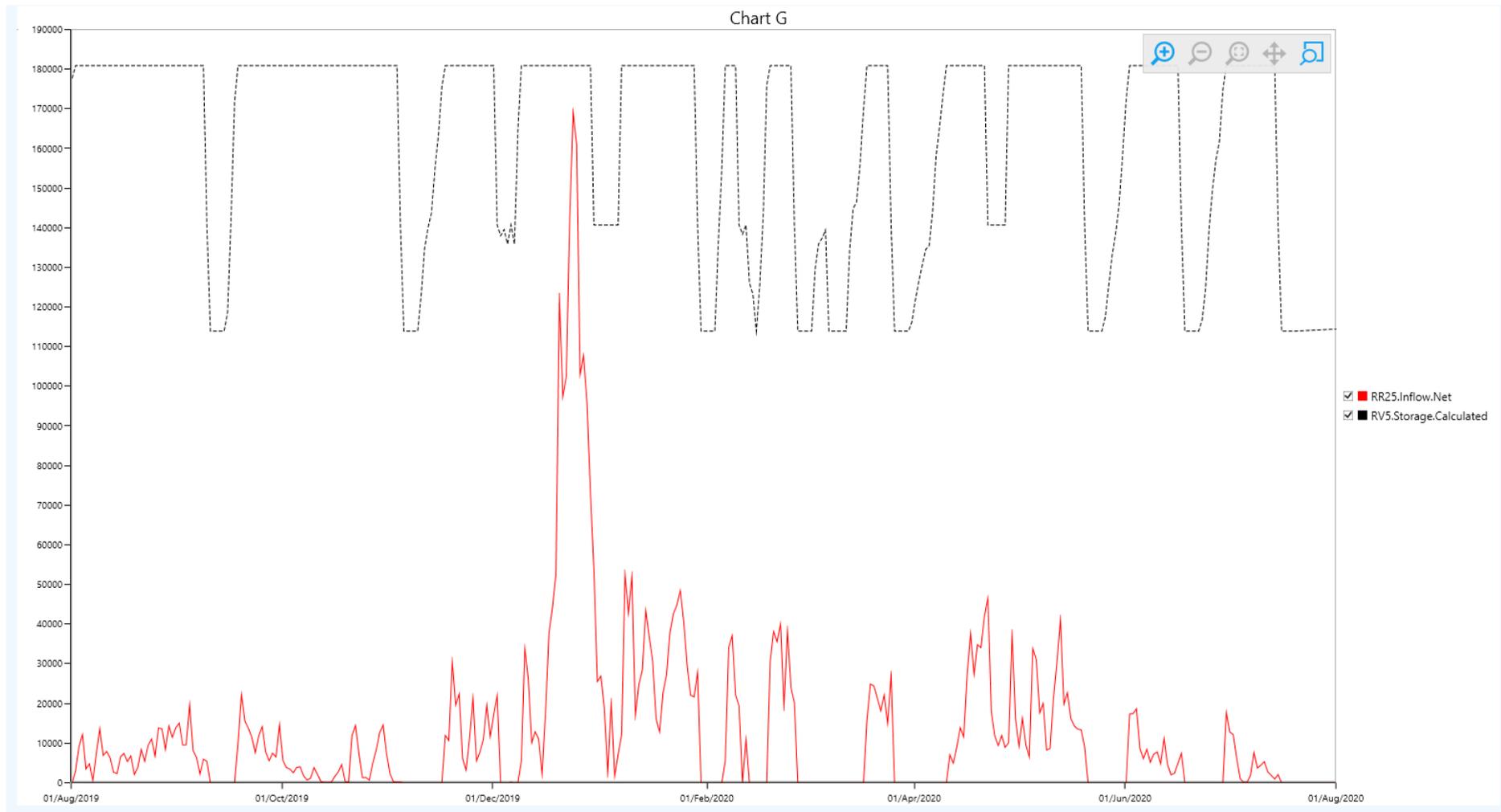


Ilustración 46 Gráfica de embalse y esclusa. Aquator. Fuente: Propia

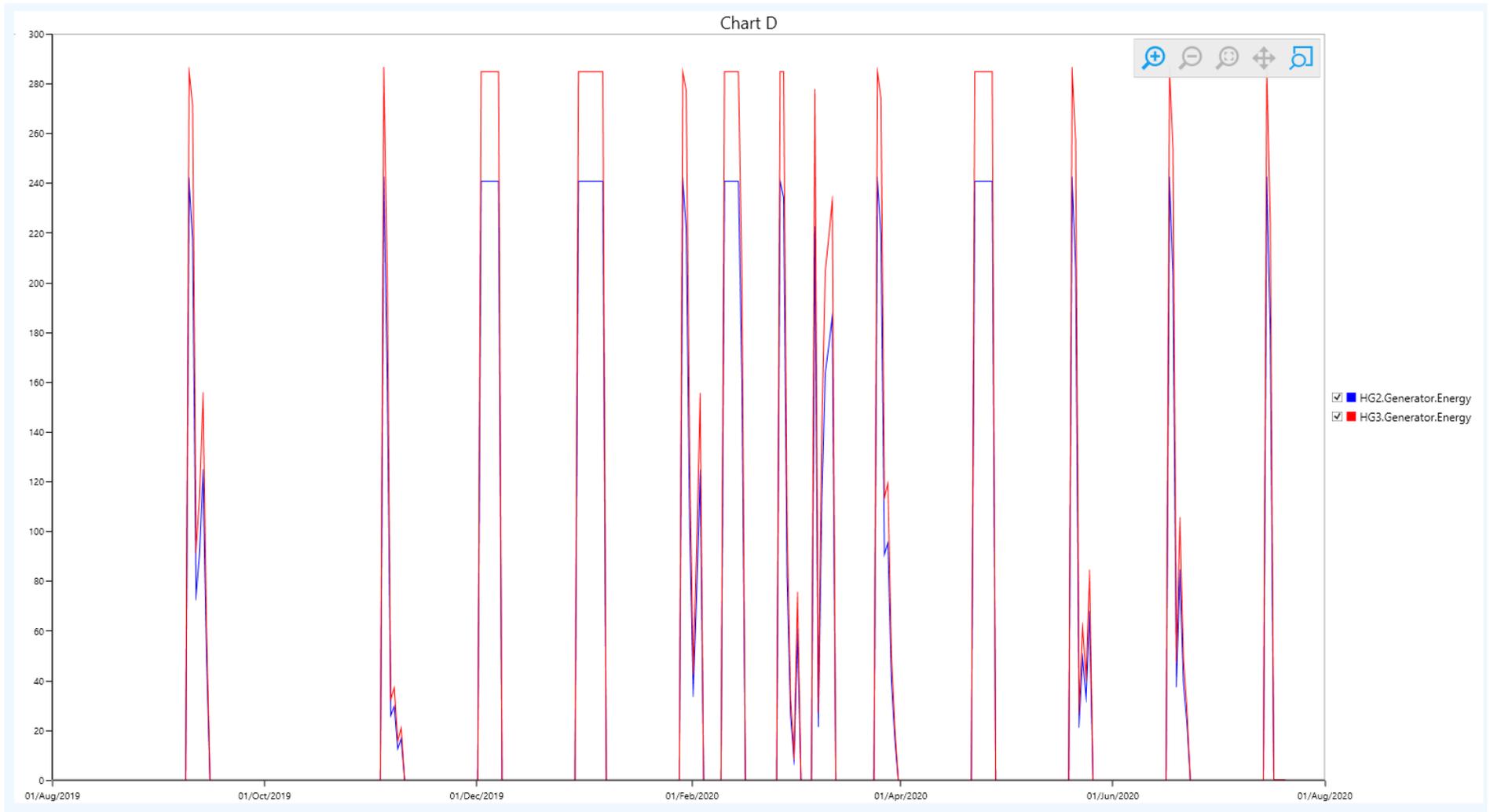


Ilustración 47 Gráfica de generación energética. Aquator. Fuente: Propia

En la gráfica anterior, ilustración 45, se observa la cantidad de agua almacenada en el embalse de Saucelle en línea de puntos negros y la cantidad de agua que se deja correr río abajo en línea continua roja.

Con relación al embalse, se puede observar que el nivel tiene una serie de picos más o menos de manera regular. Esto se debe a que el embalse se llena hasta alcanzar su límite, y después desciende hasta el nivel de emergencia cada vez que se toma agua para turbinar en las centrales. Como sigue entrando agua desde el Rio Duero mientras este proceso tiene lugar, la bajada de nivel no es siempre similar, sino que se acentúa cuando coincide con periodos de poco caudal. Por ejemplo, durante los meses de diciembre y enero no se alcanza el nivel de emergencia en ningún momento, algo que ocurre durante el periodo de verano.

Cuando coinciden periodos de caudal alto y no se turbinan el agua, el nivel del embalse aumenta hasta alcanzar su tope, los 180 hm<sup>3</sup>. En ese momento es necesario vaciar volumen acumulado río abajo. Esta agua no pasa por las turbinas, por lo que se pierde su energía contenida y es desaprovechada. En la gráfica puede ver como estos momentos coinciden temporalmente con cuándo el embalse está completamente lleno.

En la gráfica de la generación energética, ilustración 48, puede verse que las bajadas de nivel del embalse coinciden con los puntos en los que se genera potencia eléctrica.

En dicha gráfica también es posible analizar otros detalles. Por un lado, se ve que la potencia generada en Saucelle II es mayor que la de Saucelle I. Esto es lógico ya que se trata de un salto de mayor capacidad y de tecnología más moderna, por lo que su funcionamiento está más optimizado.

En los periodos en los que el caudal de Duero es abundante se ve que se llega al rendimiento máximo de ambas centrales, incluso sobra agua, pero no ocurre lo mismo cuando el caudal es bajo, dando a periodos de trabajo donde no se alcanza la potencia máxima durante apenas un día o dos.

Mediante la herramienta "Results" de Aquator se pueden extraer en formato Excel los valores de las variables que interese analizar, que aparece de la siguiente manera:

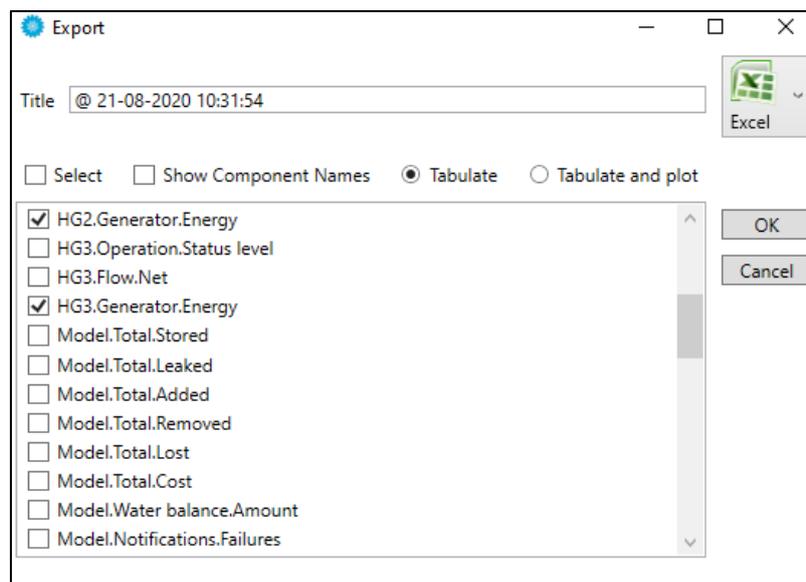


Ilustración 48 Results Aquator. Fuente: Propia

Al seleccionar las variables de potencia energética generado, se crea una hoja de Excel con el siguiente aspecto.

Type	Energy MWh	Energy MWh
03/Sep/2019	0	0
04/Sep/2019	0	0
05/Sep/2019	0	0
06/Sep/2019	0	0
07/Sep/2019	0	0
08/Sep/2019	0	0
09/Sep/2019	240.696	285.12
10/Sep/2019	217.267032624	271.58379078
11/Sep/2019	74.571432624	93.21429078
12/Sep/2019	91.263912624	114.07989078
13/Sep/2019	123.484632624	154.35579078
14/Sep/2019	49.249752624	61.5621907800001
15/Sep/2019	0	0
16/Sep/2019	0	0
17/Sep/2019	0	0
18/Sep/2019	0	0
19/Sep/2019	0	0

Ilustración 49 Excel de resultados. Fuente: Propia

Los datos son de la potencia generada cada día. Se puede observar en el ejemplo que el 9 de Septiembre del 2019 se lograría una potencia máxima, 525 MW entre ambos saltos. Para obtener la energía generada es necesario multiplicarlo por el número de horas, es decir 24.

$$(12184.84 + 14688.87) * 24 = 644968.991 \frac{MWh}{año} = 644.98 \frac{GWh}{año}$$

#### 8.5.6 Análisis de resultados

Para comparar los resultados obtenidos con Aquator, lo primero que debe hacerse es comparar con los obtenidos mediante el otro método empleado en este estudio.

**Método numérico**  
637.45 GWh/año

**Aquator**  
644.98 GWh/año

Tabla 7 Resultado Aquator

El error entre ambos valores es del 1,16%, por lo que se considera un resultado muy similar y se puede aceptar su validez, suponiendo que el método numérico sea correcto. Aunque no se tiene el dato de generación de los años 2019 y 2020, se puede estimar que se trata de un valor bastante posible.

Por un lado, los años de mayor potencia de Saucelle se ha llegado a los 900 GWh, por lo que tener un valor más bajo pero de una misma magnitud le da verosimilitud al resultado. Además, como se ha comprobado anteriormente mediante que las lluvias han sido menores a la media, por lo que está en consonancia con los resultados obtenidos.

Otro punto a favor de confiar en la validez del resultado es haber obtenido un resultado tan similar empleando dos métodos claramente tan distintos. En la resolución numérica se ha calculado el caudal medio mediante una aproximación de la cuenca hidrográfica del Duero, mientras que en el método con Aquator se han tomado valores medidos en el propio río por un sistema de vigilancia.

A la hora de calcular la potencia generada también se emplean métodos distintos, ya que en el numérico se hace en base al potencial de agua en cualquier turbina, una aproximación genérica, y en Aquator se evalúa la energía obtenida en función de los caudales y potencia generada máxima de la central real. Por todo ello se considera que el resultado obtenido es válido.

## 8.6 Estudio de posibles mejoras. Aquator.

Al igual que para realizar un estudio energético de la central, el software Aquator es una herramienta válida para simular casos que no sean reales y estudiar su viabilidad, tanto a nivel económico como energético. A continuación, se reflejan un par de supuestos y sus correspondientes estudios a modo de muestra.

### **Mejora: La presa del río Huebra**

El primero de los casos que se van a estudiar es la construcción de una presa en el Río Huebra, a apenas un centenar de metros de distancia de Saucelle II. Esta idea no es una suposición descabellada, ya que se trata de una decisión que se proyectó hace años, pero nunca se llevó a cabo.

La idea que se proyectó era una presa de tipo arco-gravedad, con 68 metros de altura máxima sobre los cimientos, que creara un embalse con la misma cota de máximo nivel normal que el de Saucelle y tendría unas capacidades útiles de 8,3 hm<sup>3</sup>. Dicho embalse estaría conectado por medio de una tubería a la galería de presión de Saucelle II, unos metros por encima de la entrada a la reserva. En la siguiente imagen se puede ver un plano de la idea que se quería implementar:

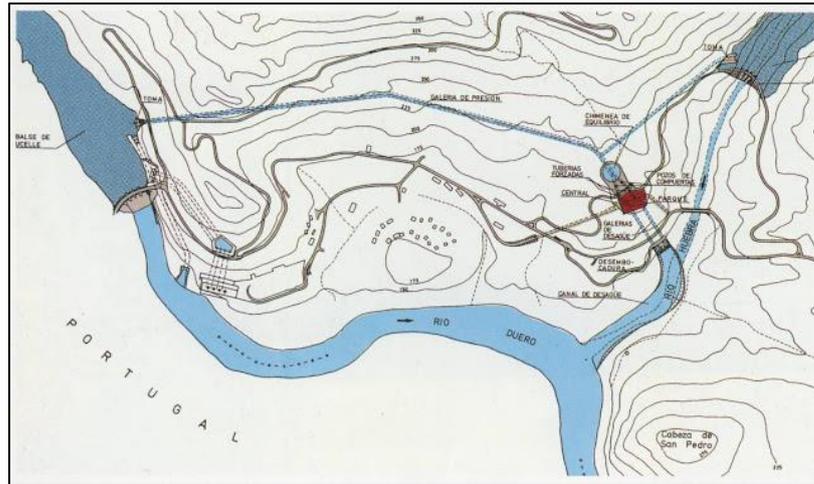


Ilustración 50 Plano Saucelle -Huebra. Fuente: <http://bioducto.blogspot.com>

Para simular esta situación, se ha añadido al modelo ya utilizado una nueva reserva, llamada Reserva de Huebra, y se ha conectado mediante un canal con la reserva de Saucelle II, imitando lo que se puede observar en el modelo.

La capacidad máxima y aprovechable del embalse es la que se contempló en el diseño original. [5 y 7] Al igual que en el caso anterior, se ha tenido que diseñar un perfil de funcionamiento para regular las horas de uso de la central de Saucelle II y se ha añadido dicho perfil a la toma de agua de la nueva reserva, con la siguiente configuración:

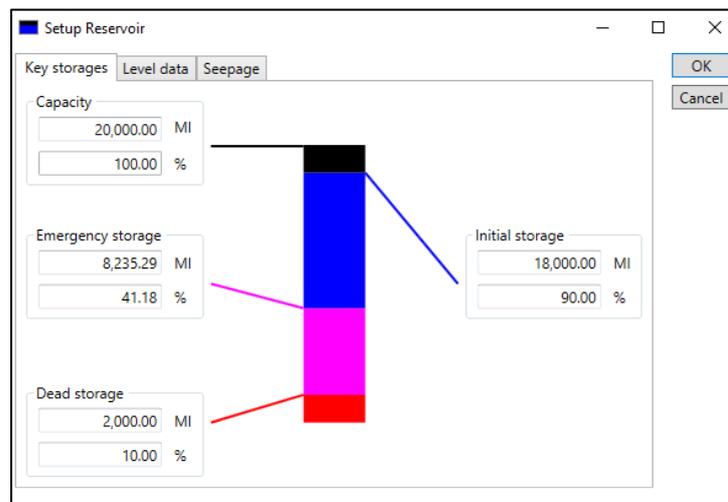


Ilustración 51 Embalse de Huebra. Aquator. Fuente: Propia

A continuación, se presentan las imágenes 52, 53 y 54. La primera es una imagen del modelo con ambos embalses. Las gráficas muestran el volumen embalsado y el caudal de salida de la nueva presa.

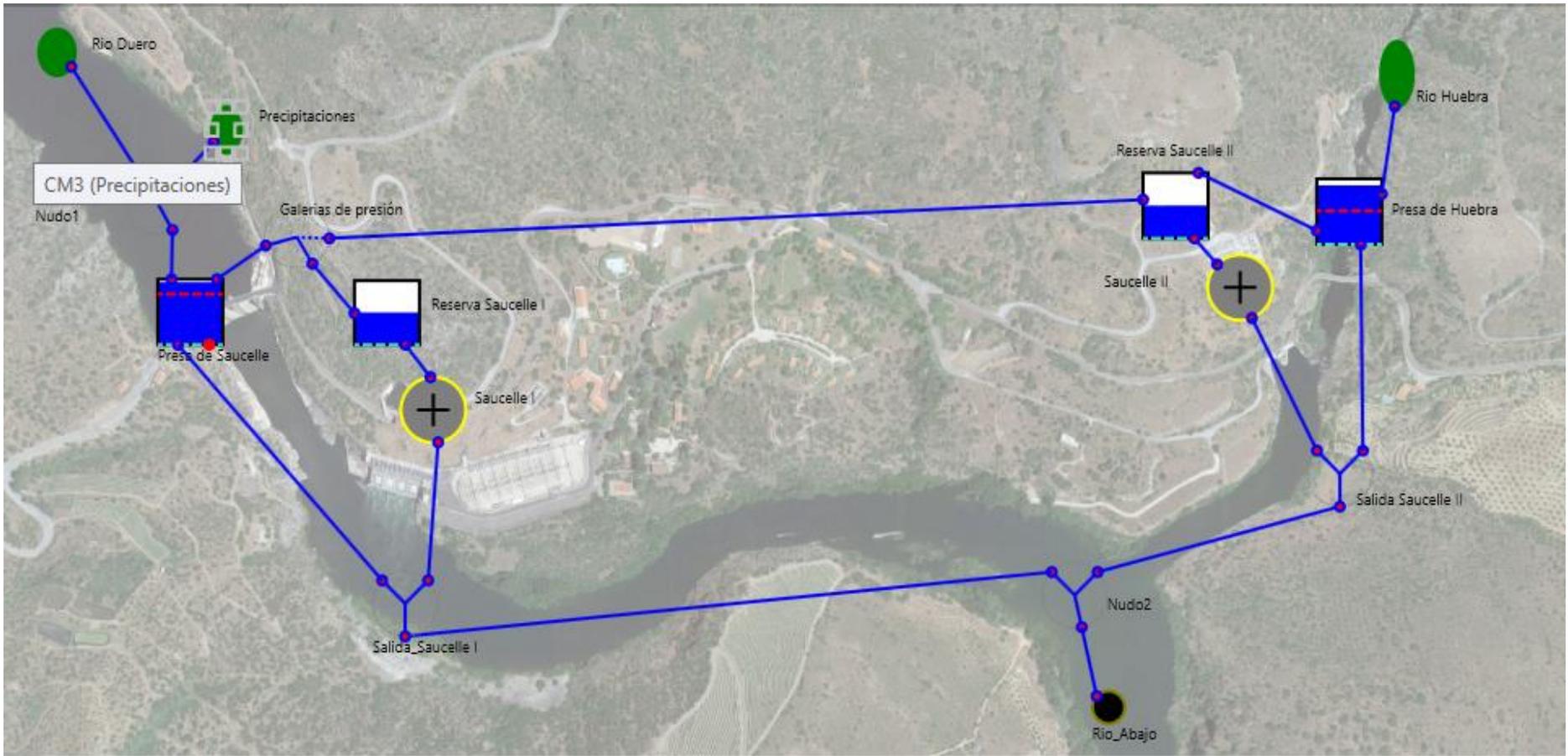


Ilustración 52 Modelo Presa Huebra. Aquator. Fuente: Propia

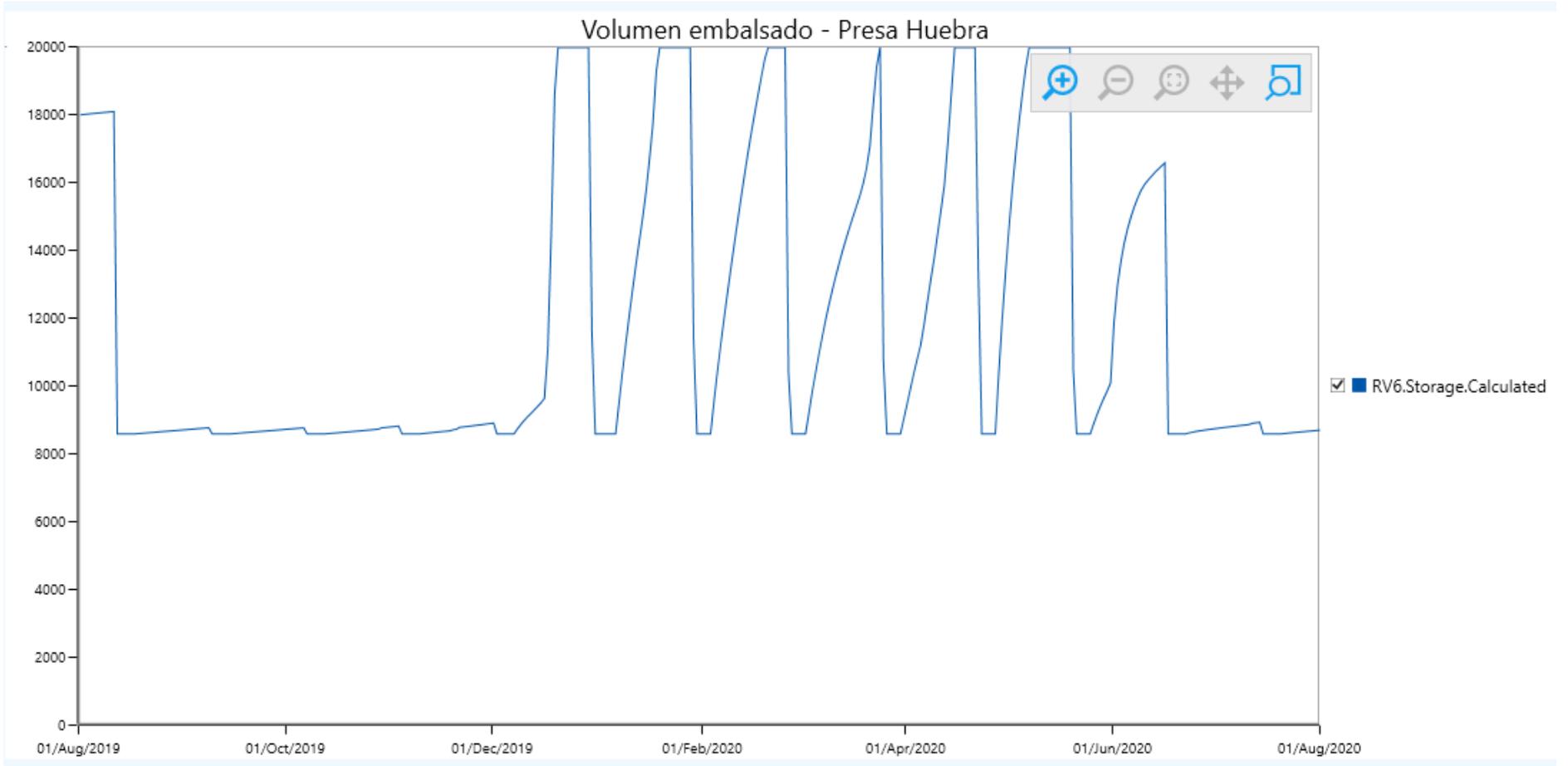


Ilustración 53 Gráfica volumen Huebra. Aquator. Fuente: Propia

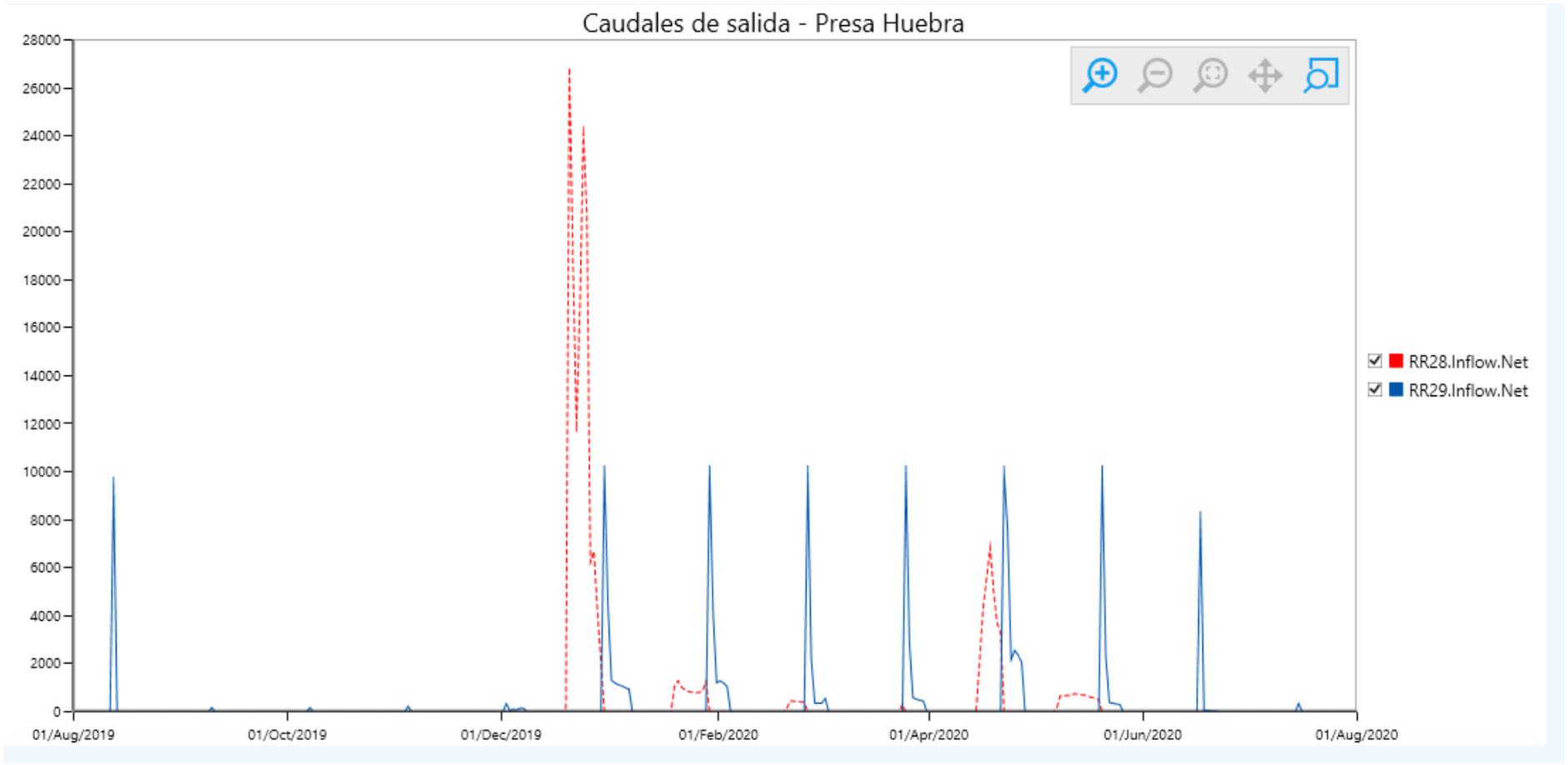


Ilustración 54 Caudales Huebra. Aquator. Fuente: Propia

Una vez realizada la simulación, se estudian los resultados de generación energética en comparación con el modelo que no cuenta con la mejora. Estos son los resultados:

<i>Energía producida Saucelle</i>	644,98 GWh/año
<i>Energía producida Saucelle – Huebra</i>	653,3 GWh/año
<i>Aumento de producción</i>	8,38 GWh/año

Tabla 8 Resultados mejora 1

Aunque se podría realizar todo un caso de estudio sobre los costes de construcción de la presa del río Huebra, no es algo que se contemple en este trabajo, pues solo se busca ejemplificar un supuesto caso de mejora.

Para la construcción de la presa, los datos se han tomado de un estudio de costes de un embalse de capacidad similar pero distinta localización. Los costes se han supuesto en base a un estudio de costes de presas. [11]

Para cuantificar los beneficios, se considera que se vende la energía al precio estimado del mercado de este año.

	2017	2018	2019	2020 en adelante
Precio estimado del mercado (€/MWh) . . . . .	42,84	41,54	41,87	52,00
LS2 (€/MWh) . . . . .	49,81	48,30	48,68	60,00
LS1 (€/MWh) . . . . .	46,33	44,92	45,28	56,00
LI1 (€/MWh) . . . . .	39,35	38,16	38,46	48,00
LI2 (€/MWh) . . . . .	35,87	34,78	35,06	44,00

Ilustración 55 Precio medio de mercado 2020

La tabla resultante de costes y beneficios es la siguiente:

	Coste fijo	Coste anual	
<i>Acondicionamiento de Cuenca</i>	4.700.000 €		
<i>Construcción de presa</i>	18.672.260 €		
<i>Costes de operación</i>		60.000 €/Año	
<i>Venta de energía</i>		435.760	Año

Por ello, los costes de inversión inicial son de 23.372.260 € y tiene unos costes anuales de 60.000 €. Ignorando algunas variables como ayudas y subvenciones, con un cálculo de rentabilidad se comprueba que el proyecto no comienza a dar beneficios hasta pasados 62 años de su puesta en marcha. Estos es un plazo inasumible para el propietario, ya que supera el tiempo de operación de la presa, que no suele ser superior a los 50 años de servicio.

Por todo ello, se llega a la conclusión de que no es una mejora viable la construcción de una presa en el río Huebra, principalmente por su bajo caudal y su poca aportación a la generación energética.

### Mejora: Ampliación del embalse de Saucelle

La siguiente mejora que se propone a estudio es una ampliación de la capacidad del embalse de Saucelle. Dado el gran caudal del Rio Duero, parte de su agua no es posible almacenarla para turbinar, por lo que se pierde su potencial energético.

Realizando una estimación similar a la de la mejora anterior, obteniendo el dato de que cada 10 hm<sup>3</sup> de mejora tienen como coste 13.500.000€ [11], se va a simular una ampliación del embalse de Saucelle del 50%. Esta es la nueva configuración del componente que simula el embalse.

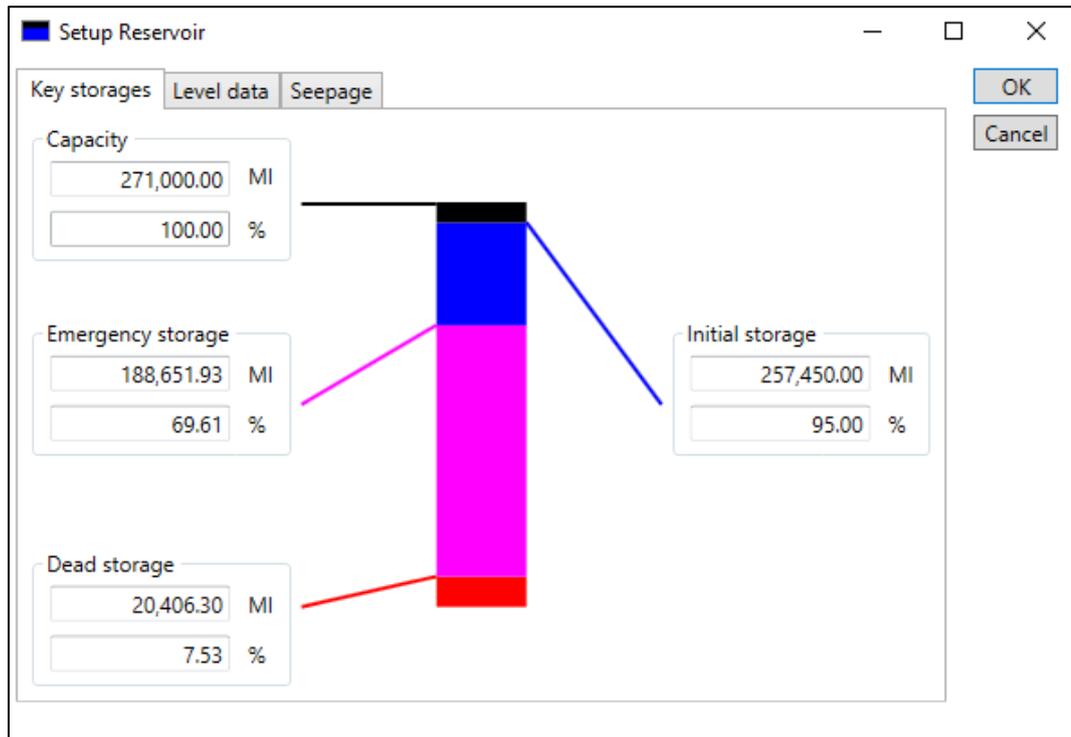


Ilustración 56 Mejora embalse Saucelle. Aquator. Fuente: Propia

La implementación de un embalse de mayor capacidad debería permitir guardar agua en las épocas de mayor caudal, usándola en momento de carencia de agua. En el modelo sin mejora ya se comprobó que en bastantes momentos del año era necesario desaguar el embalse sin poder pasar dicha agua por turbinas, puesto que había demasiado caudal y amenazaba con subir demasiado el nivel del agua.

El resto de la simulación se ha realizado sin cambiar ninguno de los parámetros, ya que todo lo demás permanece sin alteraciones en la suposición de mejora. En la siguiente gráfica se muestra la nueva potencia generada.

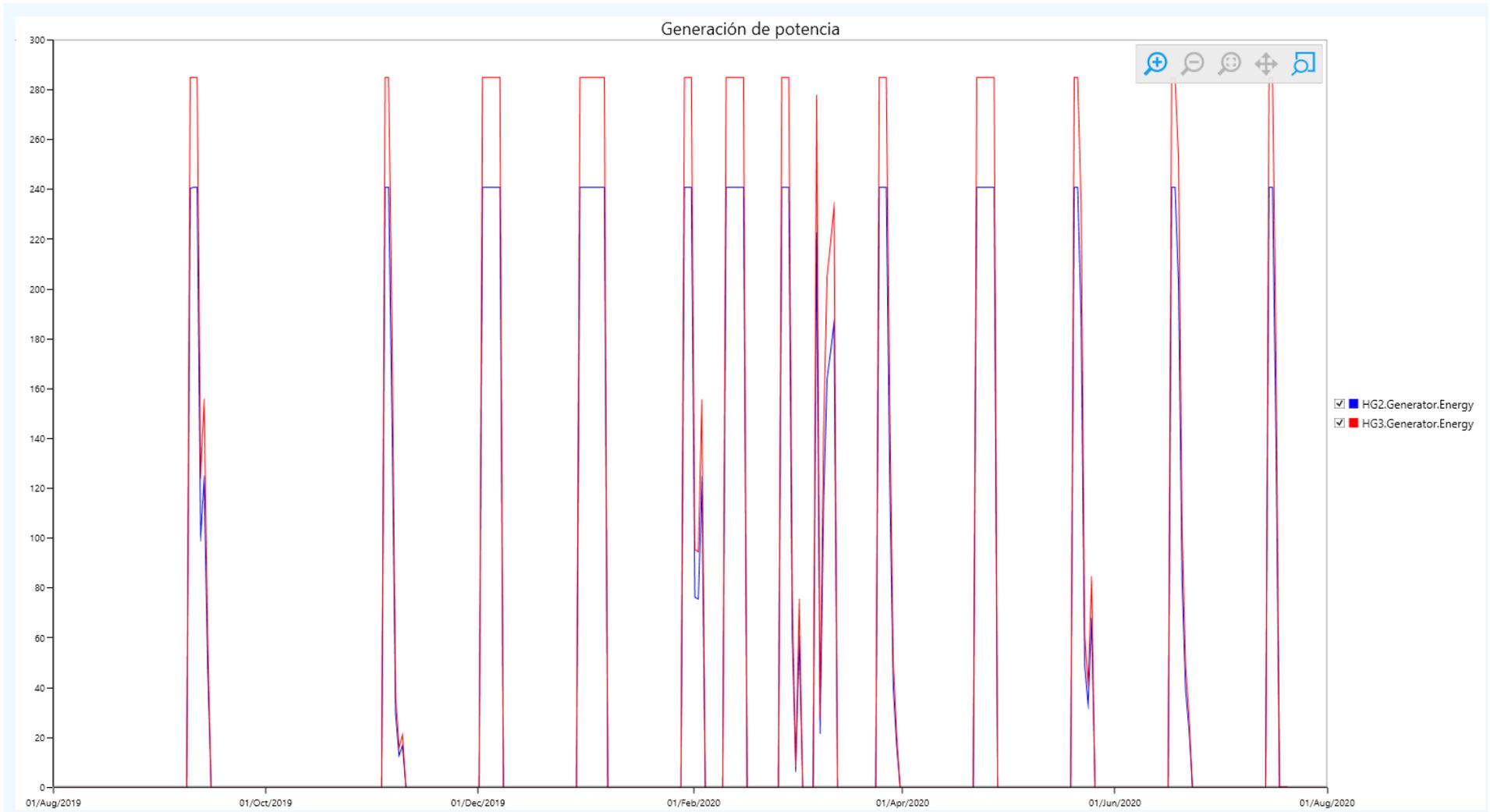


Ilustración 57 Generación con mejora de embalse. Aquator. Fuente: Propia

Una vez obtenida la gráfica del nuevo rendimiento energético, se sigue el mismo método ya explicado para obtener la energía generada anualmente.

<i>Energía producida Saucelle</i>	644,98 GWh/año
<i>Energía producida Saucelle – Huebra</i>	730,7 GWh/año
<i>Aumento de producción</i>	86,28 GWh/año

Tabla 9 Resultados mejora 2

La tabla resultante de costes y beneficios es la siguiente:

	<b>Coste fijo</b>	<b>Coste anual</b>
<i>Mejora del embalse</i>	121.500.000 €	
<i>Venta de energía</i>		4.486.975 €/Año

Con estos datos, se puede calcular de manera sencilla que el proyecto será amortizado en 27 años. Aunque es mucho tiempo, entra dentro de los 50 años que se suelen contemplar para el periodo de funcionamiento. En ese periodo de tiempo los beneficios que reportarían la mejora son de 103.200.000 €.

Por todo ello, se considera que se trata de una inversión provechosa y se debería considerar positivamente esta mejora.

## 9. Diagrama de Gantt

Nombre	Duración	Inicio	Fin	Predecesoras
<b>☐ Proyecto TFM</b>	62días	10/06/2020	13/08/2020	
<b>☐ Instalación de Aquator XV</b>	7días	10/06/2020	17/06/2020	
Obtención de la licencia	12horas	10/06/2020	11/06/2020	
Instalación del software	12horas	11/06/2020	12/06/2020	3
Corrección de errores	18horas	15/06/2020	17/06/2020	4
Aquator instalado y operativo	0día	17/06/2020	17/06/2020	
<b>☐ Aprendizaje de Aquator</b>	7días	17/06/2020	24/06/2020	2
Aprendizaje Bases de datos	12horas	17/06/2020	18/06/2020	
Diseño de modelos	18horas	18/06/2020	22/06/2020	8
Aprendizaje gestión de datos	6horas	23/06/2020	23/06/2020	9
Aprendizaje tablas y gráficos	6horas	23/06/2020	24/06/2020	10
<b>☐ Realización de caso: Saucelle I y II</b>	19días	29/06/2020	17/07/2020	26
Estudio del caso	12horas	29/06/2020	30/06/2020	
Adquisición de datos	12horas	01/07/2020	02/07/2020	13
Creación del modelo de Aquator	42horas	02/07/2020	09/07/2020	14
Obtención de conclusiones	12horas	09/07/2020	13/07/2020	15
Redacción del caso	36horas	13/07/2020	17/07/2020	16
<b>☐ Elaboración del manual de usuario</b>	15días	17/07/2020	03/08/2020	
Guía de instalación	18horas	17/07/2020	21/07/2020	12
Guía de configuración	30horas	22/07/2020	27/07/2020	19
Descripción de componentes	30horas	27/07/2020	31/07/2020	20
Gráficas y analizadores	12horas	31/07/2020	03/08/2020	21
<b>☐ Redacción de la memoria</b>	48días	24/06/2020	13/08/2020	7
Introducción a la memoria	6horas	24/06/2020	25/06/2020	
Objetivos y alcance	6horas	25/06/2020	25/06/2020	24
Estado del arte	12horas	26/06/2020	29/06/2020	25
Metodología	24horas	04/08/2020	06/08/2020	22
Conclusiones	12horas	07/08/2020	10/08/2020	27
Maquetación de la memoria	18horas	10/08/2020	12/08/2020	28
Revisión	6horas	12/08/2020	13/08/2020	29

Tabla 10 Etapas del trabajo

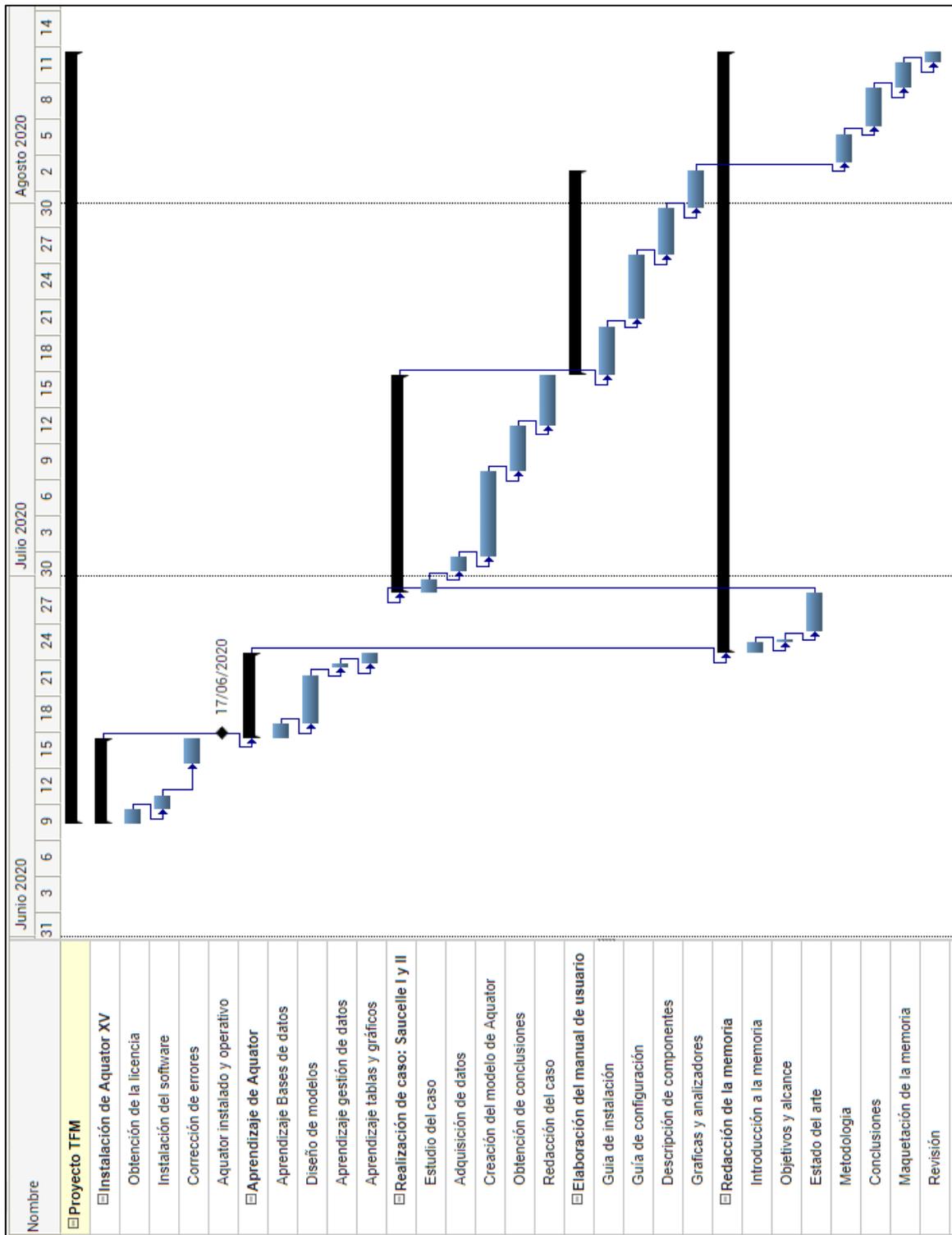


Ilustración 58 Diagrama de Gantt

## 10. Presupuesto

En este apartado del trabajo se muestra el presupuesto del proyecto realizado. Para su obtención se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para obtener el coste de mano de obra se ha contado el trabajo realizado como si estuviera llevado a cabo por un ingeniero junior. Las horas de tutoría llevadas a cabo por Natalia Alegría se contabilizan como un ingeniero senior.
- Dado que se cuenta con una licencia académica de Aquator, no se han incluido costes de software en el presupuesto. Si se ha incluido una licencia de Office para el uso de Excel y Word, así como el coste de un ordenador de gama media portátil.

<b>Concepto</b>	<b>Cant</b>	<b>Unidad</b>	<b>€/unidad</b>	<b>€</b>
<i>Estudio de Aquator</i>	84	horas	30	2.520
<i>Realización del caso</i>	114	horas	30	3.420
<i>Elaboración del manual</i>	90	horas	30	2.700
<i>Redacción de memoria</i>	84	horas	30	2.520
<i>Tutorías de seguimiento</i>	8	horas	60	480
<i>Revisión de la memoria</i>	12	horas	60	720
<i>Licencia de Office</i>	1	unidad	99	99
<i>Ordenador</i>	1	unidad	600	600
<b>Total</b>				<b>13.059</b>

El coste total del proyecto queda valorado en 13.059 euros.

## 11. Conclusiones

Las sensaciones tras concluir el trabajo son agris dulces, puesto que se han cumplido los objetivos propuestos en su inicio y por ello se puede considerar un éxito, pero han surgido problemas imprevistos durante su realización, lo cual enturbia el resultado.

A la hora de realizar el caso de la central de Saucelle I y II se ha demostrado que Aquator XV es una opción viable a la hora de calcular la energía generada en una central hidroeléctrica. Al comparar los resultados con los cálculos manuales daban muy similares, lo cual permite asumir que son correctos.

Comparándolos con el rendimiento reflejado en documentos oficiales otros años, se observa que ambos resultados han sido menores de manera significativa, pero se puede deber a que ha sido un año de pocas precipitaciones, como se ha visto en este mismo trabajo.

A pesar de la validez de los resultados, el programa Aquator ha resultado ser más complicado de usar de lo que se preveía. No por su complejidad, sino por diferentes errores y fallos que han surgido al usarlo.

Algunos de estos errores han sido resueltos, como los ocasionados por la incompatibilidad del programa con sistemas operativos en castellano. Aunque cambiar el sistema operativo, a inglés y con hora inglesa arregla el problema, tal y como se detalla exhaustivamente en la guía de usuario desarrollada en este trabajo, es una complicación que no debería darse y que puede traer problemas de compatibilidad con otros programas que se usen al mismo tiempo.

Las discrepancias por idioma, como los diferentes signos de puntuación y la diferente forma de anotar las fechas, crean complicaciones a la hora de importar y exportar los datos, obligando a hacer trabajo adicional en Excel dando formato a los valores de entrada y de salida.

Por suerte, Aquator cuenta con un excelente servicio de soporte técnico mediante consultas por email que ha ayudado a corregir en la medida de lo posible estos errores de su programa.

Por otro lado, y como apunte positivo, Aquator ha resultado ser un programa de uso fácil e intuitivo una vez que se conocen los principales elementos que componen los modelos. Cuenta con una cantidad enorme de opciones que permiten parametrizar al detalle, pero se puede operar de manera rápida y sencilla dejando la parametrización por defecto que traen los distintos componentes.

Esto hace que el programa pueda emplearse de manera sencilla si el usuario quiere una red pequeña o que se modele al detalle redes complejas llenas de variables si es lo que se necesita. El manual de usuario desarrollado en este trabajo sirve como punto de partida al uso de Aquator XV, pero deja muchas posibilidades abiertas que podrían ser ampliadas en otros trabajos.

## 12. Bibliografía

- [1] "Water Resources Modelling Software by Hydro-Logic Services (International)", <http://www.oxscisoft.com/aquator/aquatorxv.aspx> (Consultado 11/6/2020)
- [2] Oxford Scientific Software Ltd, "Aquator XV UserGuide"
- [3] "WATER RESOURCE ASSOCIATES" <https://www.watres.com/software/AQUATOR/> (Consultado 14/7/2020)
- [4] Bryan Newsome, "Beginning Visual Basic 2015", Wrox, noviembre de 2015
- [5] "Presa de Saucelle – Wikipedia", [https://es.wikipedia.org/wiki/Presa\\_de\\_Saucelle](https://es.wikipedia.org/wiki/Presa_de_Saucelle) (Consultado 11/6/2020)
- [6] "La central y la presa de Saucelle", <http://bi ducto.blogspot.com/2011/02/la-central-y-la-presa-de-saucelle.html> (Consultado 12/7/2020)
- [7] "Datos e infraestructura del Salto de Saucelle", <https://www.iagua.es/data/infraestructuras/embalses/saucelle>, (Consultado 19/7/2020)
- [8] Sistema automático de información del agua de la C.H.D <http://www.saihduero.es/> (Consultado 19/7/2020)
- [9] Gestión de la cuenca del Duero, <https://www.chduero.es/web/guest/gestion-cuenca> (Consultado 29/7/2020)
- [10] Munoz-Hernandez, German Ardul, Mansoor, Sa'ad Petrous, "Modelling and Controlling Hydropower Plants", 2013
- [11] David Praena Delgado, ANÁLISIS Y VALORACIÓN ECONÓMICOFINANCIERA DE LA VIABILIDAD DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91603/fichero/TFG+BUENO.pdf> (Consultado 11/8/2020)

## Anexo I: Manual de usuario Aquator XV

A continuación, se incluye un anexo que contiene el manual de usuario de Aquator XV desarrollado a lo largo de la realización de este trabajo. Se le ha dado aspecto y maquetación independiente, emulando el aspecto que tendría un manual independiente creado para dicho programa, no como parte de un trabajo más grande.



# GUÍA DE USUARIO DE AQUATOR XV

Versión 5.0

Pablo Sixto Cesteros  
Psixto001@ikasle.ehu.eus

1.	Introducción.....	4
1.1	Cómo usar este manual .....	4
1.2	Características de Aquator XV .....	5
1.3	Instalación .....	6
1.3.1	Adquirir el programa .....	6
1.3.2	Instalar el programa .....	8
1.4	Problemas de instalación .....	10
1.4.1	Idioma y hora de Windows.....	10
1.5	Licencia.....	11
2.	Creación de modelos .....	14
3.	Interfaz de usuario .....	18
3.1	Menú – Menu button.....	18
3.2	Barra de acceso rápido – Quick Access Toolbar .....	19
3.3	Vista jerárquica – Hierarchical Treeview.....	20
3.4	Vista en miniature – Thumbnail View .....	21
3.5	Área de trabajo – Workspace Area .....	21
3.6	Caja de herramientas – Toolbox.....	22
3.7	Pestañas – Ribbon Tabs .....	23
3.7.1	Pestaña Ejecutar – Run.....	24
3.7.2	Configuración – Setup .....	24
3.7.3	Esquema – Schematic.....	24
3.7.4	Gráfica – Chart .....	25
4.	Información técnica.....	26
4.1.1	Propiedades.....	26
4.1.2	Parámetros .....	26
4.1.3	Estados .....	27
4.1.4	Perfiles.....	28
4.1.5	Series temporales .....	30
4.1.6	Variables.....	32
4.1.7	Rutas .....	32
4.1.8	Costes.....	33
4.1.9	Redes fluvial y redes de suministro .....	33
5.	Componentes.....	35
5.1.1	Parámetros generales .....	35
5.1.2	Abstracción.....	36
5.1.3	Enlace bidireccional .....	36

5.1.4	Mezclador .....	37
5.1.5	Cuenca.....	38
5.1.6	Acoplador .....	38
5.1.7	Confluencia.....	38
5.1.8	Centro de demanda .....	38
5.1.9	Descarga .....	39
5.1.10	Desviación .....	39
5.1.11	Agua subterránea.....	39
5.1.12	Hidrogenerador – Tipo Red fluvial o Tipo Red de suministro.....	39
5.1.13	Unión.....	40
5.1.14	Enlace .....	40
5.1.15	Tramo .....	40
5.1.16	Embalse .....	40
5.1.17	División .....	42
5.1.18	Cese de caudal .....	42
5.1.19	Trabajos de tratamiento de aguas .....	42
6.	Resultados de simulación .....	43
6.1	Extracción de datos. ....	43
<u>6.2</u>	Gráficas .....	44
7.	Sistemas de análisis .....	46
<u>7.1</u>	Deployable output – English and Welsh method.....	46
7.2	Risk analysis .....	46
7.3	River flow analysis.....	46
	Anexo I. Errores más frecuentes.....	48

## 1. Introducción

### 1.1 Cómo usar este manual

Este manual está destinado a brindar información básica sobre el uso de AquatorXV, incluyendo una detallada descripción de los objetos (componentes, grupos, licencias, etc.) que pueden utilizarse en un modelo de recurso hídrico AquatorXV, y cómo ejecutar modelos, extraer e interpretar resultados y diagnosticar problemas.

Se trata de una guía sencilla y directa, que presenta las bases de Aquator pero que no presenta la totalidad de sus funciones. Para ello existe la guía desarrollada por Oxford Scientific Software Ltd, la cual desgana a lo largo de sus casi 300 páginas todos los aspectos técnicos del programa que han creado.

La guía viene separada en distintos capítulos, cada uno de ellos contiene un aspecto distinto del programa y puede contar con una distribución de subcapítulos para que sea más fácil de buscar en ella.

En esta breve introducción se trata cómo llevar a cabo la instalación del programa Aquator XV y cómo debe gestionarse la licencia, además de enumerar las capacidades y ventajas de uso de dicho programa.

En el segundo apartado se resume la creación y gestión de los modelos empleados por Aquator, exponiendo las distintas opciones de gestión de archivos y bases de datos.

A continuación, se aclaran los distintos menús que forman la interfaz de usuario, mostrando las distintas opciones que presentan y detallando el uso de cada uno.

Los siguientes capítulos de esta guía de usuario están dedicados a diferentes aspectos de la modelización de sistemas de aguas mediante Aquator. Se muestran los diferentes tipos de entradas de datos que utiliza el programa, como series temporales o perfiles, así como se muestra el uso de herramientas y sistemas de control.

Se detallan uno por uno los distintos componentes que se pueden incluir dentro del modelo, centrándose en detallar aquellos cuyo es más común y dando unas pinceladas por los componentes más específicos.

En los últimos capítulos que componen esta guía se explican las diferentes opciones que presenta Aquator XV para analizar los sistemas una vez terminada la simulación del proyecto.

Se detalla el uso de gráficas como forma de visualización de los datos y la exportación de datos en forma de tabla de Excel. También se presenta un resumen de los distintos modelos de análisis automáticos incluidos en el programa.

Por último, se cuentan con un anexo, una guía de errores y problemas con el programa más comunes y cómo corregirlo.

Se ha dejado completamente fuera de la guía el uso de Microsoft® Visual Basic for Applications® (VBA) como herramienta de personalización de los componentes y modelos de Aquator XV.

## 1.2 Características de Aquator XV

El sistema de modelado de recursos hídricos Aquator ha sido utilizado por las principales empresas, consultores y agencias reguladoras desde su primer lanzamiento en 2001. Este manual es una guía del usuario de AquatorXV, la última versión de este programa. Se realizó el cambio de nombre (Aquator a AquatorXV) para enfatizar que el lanzamiento de 2016 (versión 5.0) consisten en una reinención del sistema anterior.

AquatorXV proporciona un motor de simulación y optimización diseñado para producir soluciones óptimas al problema de satisfacer la demanda de agua de toda clase de redes, tanto de suministro en centros urbanos como agricultura y empresas. La simulación incluye el modelado de muchas restricciones del mundo real para satisfacer la demanda, como capacidad, flujo límites y licencias.

Aquator es una de las soluciones más avanzadas disponibles para modelar recursos hídricos y proporciona herramientas profesionales para la planificación de estos recursos, de manera acorde a la realidad. Las principales características de este software son las siguientes:

- **Basado en componentes.** Aquator es un programa de modelado basado en componentes. Un modelo AquatorXV es construido a partir de componentes que se colocan en una representación esquemática del sistema y luego se unen, utilizando un sistema intuitivo para el usuario. Estos componentes encapsulan las reglas operativas que rigen su uso.
- **Personalizable.** AquatorXV es personalizable. Incorpora la herramienta de personalización Microsoft® Visual Basic® para aplicaciones (VBA), la misma tecnología utilizada en el conjunto de aplicaciones de Microsoft Office.
- **Extensible.** El sistema de componentes AquatorXV es extensible. Un kit de desarrollo de software (SDK) puede estar disponible para que los desarrolladores de terceros agreguen más componentes.
- **Cooperativo.** La propia aplicación AquatorXV se puede utilizar como un tipo de componente. Por ejemplo, los modelos de recursos hídricos se pueden ejecutar y los resultados se pueden recuperar de AquatorXV mientras trabaja dentro de Microsoft® Excel®.
- **Optimizador.** AquatorXV busca la "mejor" solución, donde "mejor" significa "más barato" o "mejor" estado del recurso ". Se realiza un análisis global donde se calculan todos los movimientos de agua para satisfacer la demanda y se evalúan simultáneamente. La ventaja es que este análisis global previene completamente fallos falsos sin ningún esfuerzo adicional por parte del modelador.
- **Compatible con la nube.** AquatorXV se puede utilizar para ejecutar modelos en la nube, es decir, emplearse de forma casi ilimitada en un amplio número de ordenadores remotos simultáneamente.

### 1.3 Instalación

#### 1.3.1 Adquirir el programa

Para descargar el programa el primer paso es entrar en la web <http://www.oxscisoft.com/>, la web de Water Resources Modelling Software by Hydro-Logic Services (International). Para poder acceder a la zona de descargas es necesario contar con un usuario registrado en la web, que debe ser dado por los creadores del sitio web. Para solicitar un usuario de acceso y una licencia de Aquator XV se puede contactar mediante el formulario de la página en la pestaña *Contact us* [Imagen 1].

Imagen 1 Contact us

Para solicitar una licencia, tanto gratuita en caso de ser una licencia académica, como una licencia de pago, se debe seleccionar la opción *Sales enquiry*. Allí, en el menú desplegable [Imagen 2], se debe rellenar los puntos marcados con un asterisco y exponer la petición en el apartado *Information required*.

Imagen 2 Information Request Form

Una vez se acepte la petición, se recibe un correo en el que se detalla el nombre de usuario y la clave para iniciar sesión. Para iniciar sesión hay que hacer click en la opción *User log in* de la web y poner los datos recibidos. En dicho menú [Imagen 3] también es posible recuperar la contraseña del usuario solicitando que sea reenviada al email.

The screenshot shows a web page titled "Aquator - User support". It has two main sections: "Log in" and "Recover password".

**Log in section:** It contains a text box for "User name" and another for "Password", both with light blue backgrounds. To the right of the password box is a "Log In" button.

**Recover password section:** It contains a text box for "User name" with a light blue background. To the right of the text box is a "Submit" button. Above the text box is the text "Obtain your password by email".

Imagen 3 User support

Una vez dentro se cuenta con una barra lateral que presenta las diferentes opciones de menú para el usuario. Las dos más relevantes son *Summary*, donde aparecen los datos de registro, tales como nombre, email, etc.

En este apartado es posible ver el número de licencias otorgadas a dicha cuenta de usuario y cuántas de ellas han sido ya activadas. Aquator es un programa que solo puede ejecutarse en un único dispositivo por licencia. No se puede emplear una misma licencia en dos ordenadores distintos.

En este lugar también es posible cambiar la contraseña del usuario mediante el botón *Change details and password*.

La segunda relevante es la opción de *Download* [Imagen 4], el lugar desde el que se pueden descargar los archivos de instalación de las diferentes versiones de Aquator. Es posible descargar dichos archivos aunque no se cuente con una licencia de todos ellos. Para instalar Aquator XV es recomendable descargar la última versión actualizada del mismo, para evitar posibles errores.

## Application

Application AquatorXV ▾

Version  
Version 5.0

Details		
Version information	V5.0 release Build 7494	
Install download size	102.21 (MB)	
Instructions	<a href="#">View</a>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ We recommend you read the release notes by clicking the button opposite</li> <li>▪ Find or create an empty folder on your computer</li> <li>▪ Download the install file (zip file) to this folder by clicking the button below</li> <li>▪ Unzip the contents, preserving the folder structure contained in the downloaded file</li> <li>▪ Run the program Setup.exe located in the top level folder and follow the on screen instructions</li> <li>▪ After successful installation, the downloaded file and the expanded contents are no longer needed. The contents of the download folder may therefore be deleted.</li> <li>▪ The install is a professional Installshield setup. The application can be cleanly uninstalled in the usual way if required.</li> <li>▪ Having installed the application, non-evaluation users should now look at the 'Fixes' section of this web site and download and install any fixes for the version you have just installed</li> </ul>		<a href="#">Release notes</a>

[Download the install](#)

Imagen 4 Application

### 1.3.2 Instalar el programa

Para instalar AquatorXV, debe iniciar sesión con permisos de administrador. Sin privilegios administrativos, la instalación puede dar errores y no completarse con éxito. La instalación consiste en ejecutar el archivo .exe descargado, lo cuál desplegará una ventana de instalación clásica.

El paquete de instalación consta de un programa ejecutable SETUP.EXE, varios archivos auxiliares que incluyen una base de datos MSI y una carpeta llamada ISSetupPrerequisites que contiene subcarpetas con varios componentes de software que son instalados automáticamente al llevar a cabo la instalación en Windows.

Al ejecutar SETUP.exe, con permisos de administrador, se presentará la lista de archivos preinstalados si se instaló otra versión de Aquator con anterioridad. De lo contrario comenzará

a instalar el programa en cuanto se haga click en la opción *“Install”*. También se instalarán todos los componentes necesarios para el funcionamiento de Aquator, que aparecen listado en una ventana de InstallShield [Imagen 5].

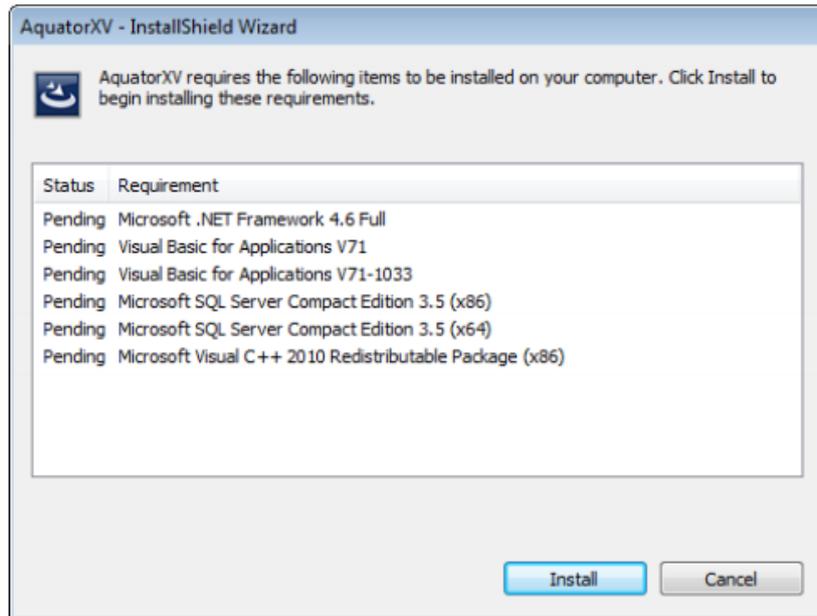


Imagen 5 Instalaciones adicionales

A continuación, hay que elegir la opción de *“Next”* en dos ocasiones, hasta que sea necesario elegir la ventana donde se va a llevar a cabo la instalación. Se recomienda no cambiar la ubicación de instalación predeterminada. En la ventana de elección *“Standard”* o *“Custom”* se recomienda la primera de las opciones, salvo que haya un motivo claro para tener que entrar en la configuración en este punto. Una vez se termine la instalación debería mostrarse un aviso de que se ha completado con éxito [Imagen 6].

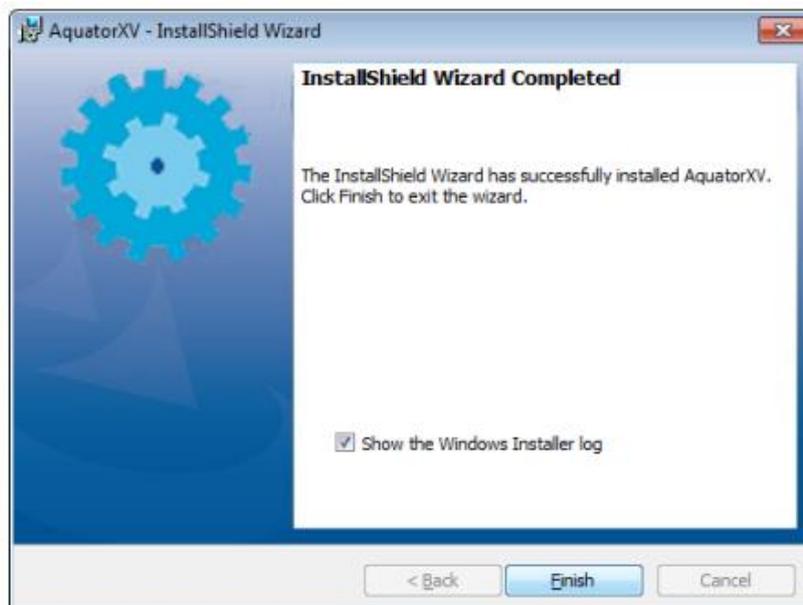


Imagen 6 Instalación completada

## 1.4 Problemas de instalación

Durante el proceso de instalación pueden surgir problemas que deben ser corregidos. Si hay errores:

- Hay que asegurarse de que la instalación se ha realizado con permisos de Administrador.
- Desinstalar cualquier versión anterior de Aquator.
- Enviar el registro de instalación al email de consulta de los creadores del software. (Ver apéndice II).

### 1.4.1 Idioma y hora de Windows

Para usar Aquator en ordenadores que no estén configurado su sistema operativo en inglés es necesario un paso adicional antes de poder ejecutar correctamente el programa. Debido a evitar posibles fallos por incompatibilidades, es necesario cambiar la hora local de Windows y el idioma a Ingles (United Kingdom).

En el caso de Windows 10, el sistema operativo más común en el momento de escribir esta guía de usuario, el cambio se puede hacer en la ventana Hora e Idioma que se encuentra en la configuración de sistema. También se recomienda cambiar el tipo de teclado a una configuración inglesa, por evitar riesgos. Este es el aspecto que debe quedar tras los cambios [Imagen 7].

## Windows display language

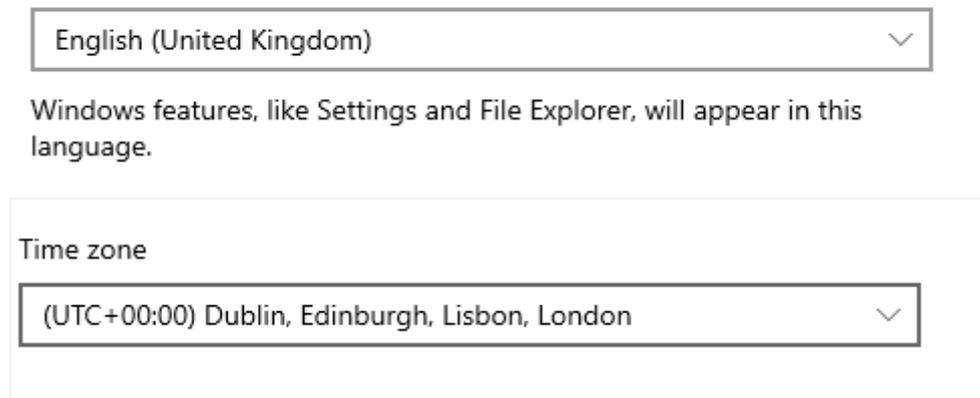


Imagen 7 Windows display lenguaje

Hacer estos cambios es de gran importancia ya que, aunque se puede cargar con normalidad Aquator y ejecutar cualquier tipo de simulación, los modelos y las bases de datos que se guarden sin haber cambiado la hora y el lenguaje quedarán corrompidas y no podrán ser recuperadas de ninguna manera. Por ello es importante cambiarlo antes de comenzar a llevar a cabo modelos, de manera que luego no se pierdan.

En caso de no hacerlo, al cargar cualquier modelo perteneciente a una base de datos corrompida se perderán todos los enlaces que unen los distintos componentes y las diferentes zonas de trabajo de la zona derecha de la pantalla aparecerán en negro, evitando ser usadas. Al carecer de uniones, los componentes se cargan incorrectamente, siendo las uniones infinitas.

Tras esto, el programa dará un error terminal y se cerrará, perdiendo todos los cambios, al intentar llevar a cabo cualquier opción que afecte a la configuración del sistema o a la base de datos en la que se está trabajando.

## 1.5 Licencia

El último paso antes de poder comenzar con Aquator se debe cargar la licencia que se ha obtenido. Para ello deben seguirse una serie de procedimientos.

### Paso 1: Ejecutar Aquator XV y generar el archivo de información de licencia.

Sin cargar ningún proyecto, debe salir un aviso de que no existe licencia activa en el programa. Ahí debe elegirse la opción de crear un archivo de solicitud de licencia [Imagen 8] y se debe completar el cuestionario con la información propia del usuario. Después se guarda dicho archivo con la extensión LINX.

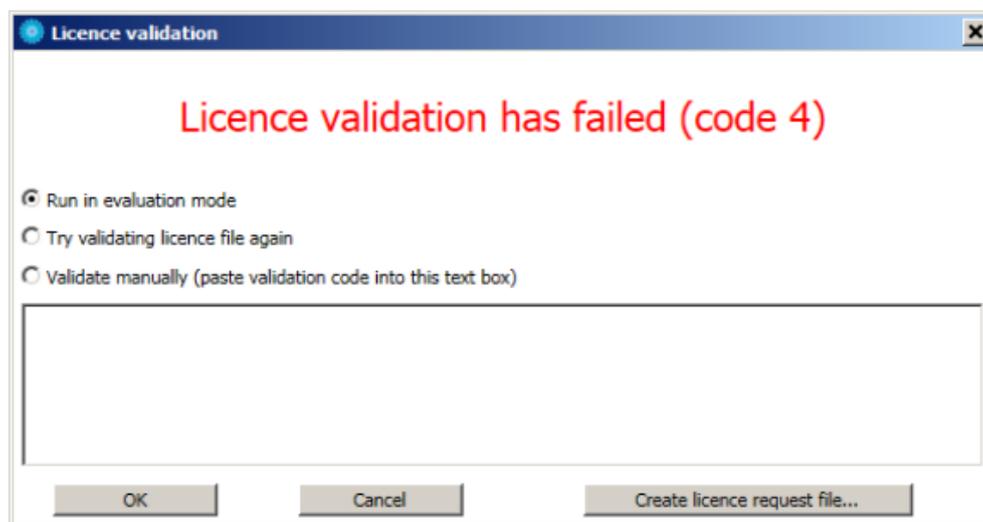


Imagen 8 Validación de licencia

### Paso 2: Acceder a la web y crear un archivo de licencia personalizado.

Entrar en la web <http://www.oxscisoft.com/aquator/userlogin.aspx> y hacer click en el menú de Licencias [Imagen 9], eligiendo Aquator XV.



Imagen 9 Licencias de Aquator

A continuación, se carga el archivo de solicitud de licencia creado en el paso anterior y se elige la opción “Create License”. La página debería llevar de manera automática a otra que muestre la descripción de la licencia Aquator XV del usuario [Imagen 10].

Ahí se debe elegir la opción “Email me” para que se envíe el archivo de licencia al email enlazado en la cuenta de usuario. Esta operación es automática y puede tardar unos minutos.



Imagen 10 Licencias Aquator XV

### Paso 3: Aplicar el archivo de licencia y ejecutar Aquator XV.

En el email de envío automático [Imagen 11] se adjunta el archivo de licencia, con terminación LICX. Este archivo debe copiarse y pegarse en la carpeta donde se ha instalado Aquator.

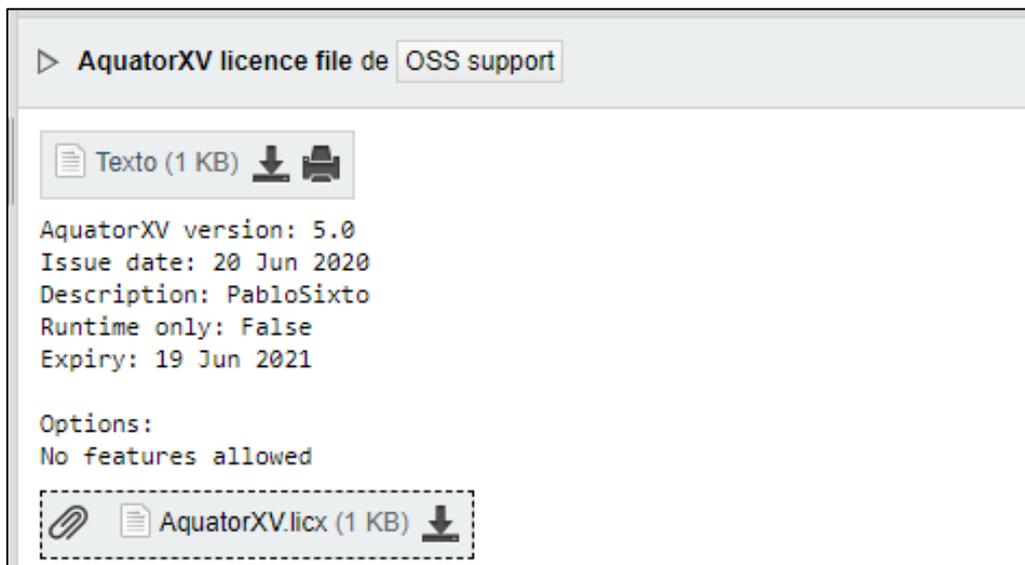
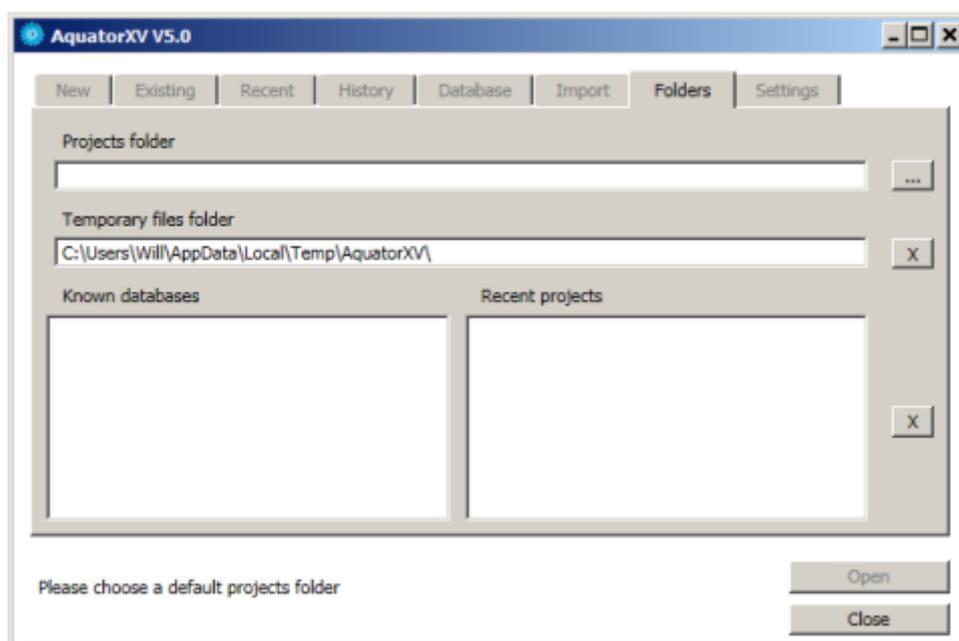


Imagen 11 Email de licencia

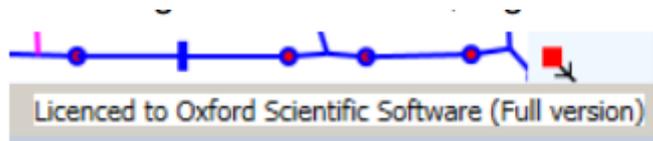
Una vez copiado correctamente, se puede arrancar el programa Aquator XV sin que salga ningún tipo de advertencia sobre la licencia. Lo primero que se debe hacer es elegir la carpeta donde se van a guardar los proyectos. Ello se elige en la siguiente ventana. [Imagen 12]



*Imagen 12 Ventana principal Aquator*

Se selecciona una carpeta ya existente o se crea una nueva. Una vez hecho esto, debería ser posible cargar bases de datos, como la de prueba llamada Bewl-Darwell y comenzar a cargar o crear modelos.

Para comprobar que la licencia está correctamente añadida, se puede comprobar el estado de esta y los días que faltan para que se termine en la parte inferior derecha de la pantalla. En el ejemplo [Imagen 13] se puede ver una licencia completa sin límite de tiempo.



*Imagen 13 Licencia activada*

## 2. Creación de modelos

Antes de comenzar, se revisa brevemente cómo se organizan y almacenan los datos, y se define alguna terminología.

Un proyecto de Aquator define un modelo de un sistema de recursos hídricos y toda la información necesaria para utilizar el modelo. Tanto en los documentos oficiales de Aquator como en esta guía se usan indistintamente las palabras proyecto y modelo indistintamente.

Un proyecto se almacena en una única base de datos. La versión de Aquator actual al momento de escribir esta guía usa un archivo de base de datos SQLite (extensión AXVDBS) para este propósito, pero las versiones futuras pueden usar otros sistemas de base de datos. No es necesario tener instalado un software de servidor, ya que SQLite no es un sistema cliente-servidor y Aquator contiene todas las funciones necesarias para leer y escribir archivos de base de datos SQLite.

Una base de datos de Aquator puede contener:

- cualquier número de proyectos (modelos).
- series de tiempo y datos de perfil, que se pueden compartir entre proyectos.
- imágenes utilizadas para anotar esquemas de modelos, que se pueden compartir entre proyectos.
- los resultados de cualquier número de ejecuciones de modelos, que se pueden compartir entre proyectos.

Una vez instalado y licenciado con éxito Aquator XV se puede comenzar a trabajar con el programa. Lo primero que aparece al arrancar el programa es la ventana de inicio. Haciendo click en la pestaña de New sale el menú de creación de un nuevo modelo [Imagen 14].

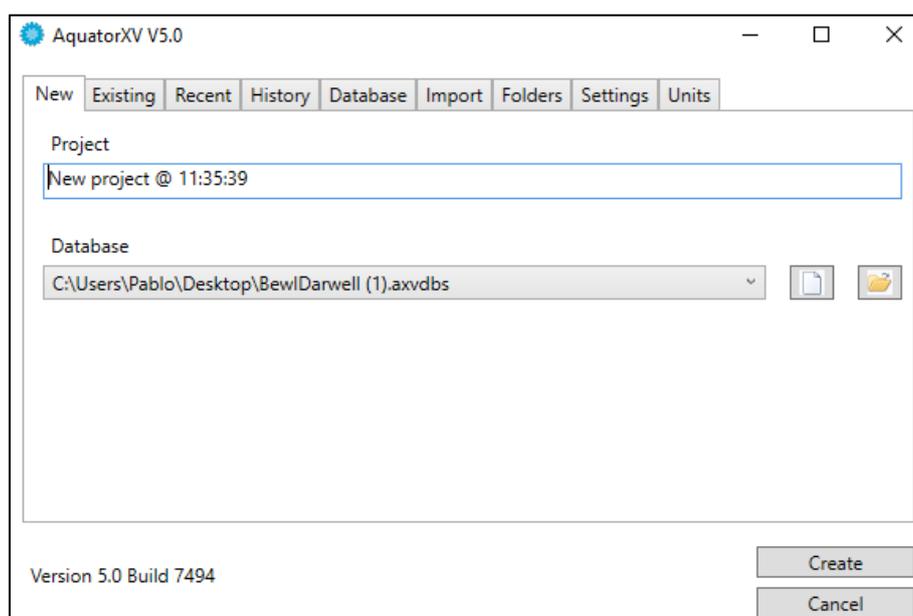


Imagen 14 Menú de creación

Es necesario poner un nombre al modelo que se va a crear, introduciéndolo en la caja de texto correspondiente. El nombre puede elegirse arbitrariamente y puede incluir signos de puntuación y dígitos.

Se necesita una base de datos para almacenar el proyecto. Puede elegirse una del desplegable o cargar una de un archivo con el botón junto a la caja del texto desplegable. También es posible crear una nueva base de datos del mismo modo.

En las pestañas adyacentes, *Existing* y *Recent* [Imagen 15], se presentan en forma de listo los proyectos ya existentes. En el primero se muestran todos los proyectos almacenados en una base de datos, elegida mediante lista desplegable. En la otra pestaña se muestran los últimos proyectos que se han guardado, independientemente de la base de datos a la que pertenezcan. Cuando se elige un proyecto, se muestra abajo en un cuadro de texto la base de datos a la que pertenece.

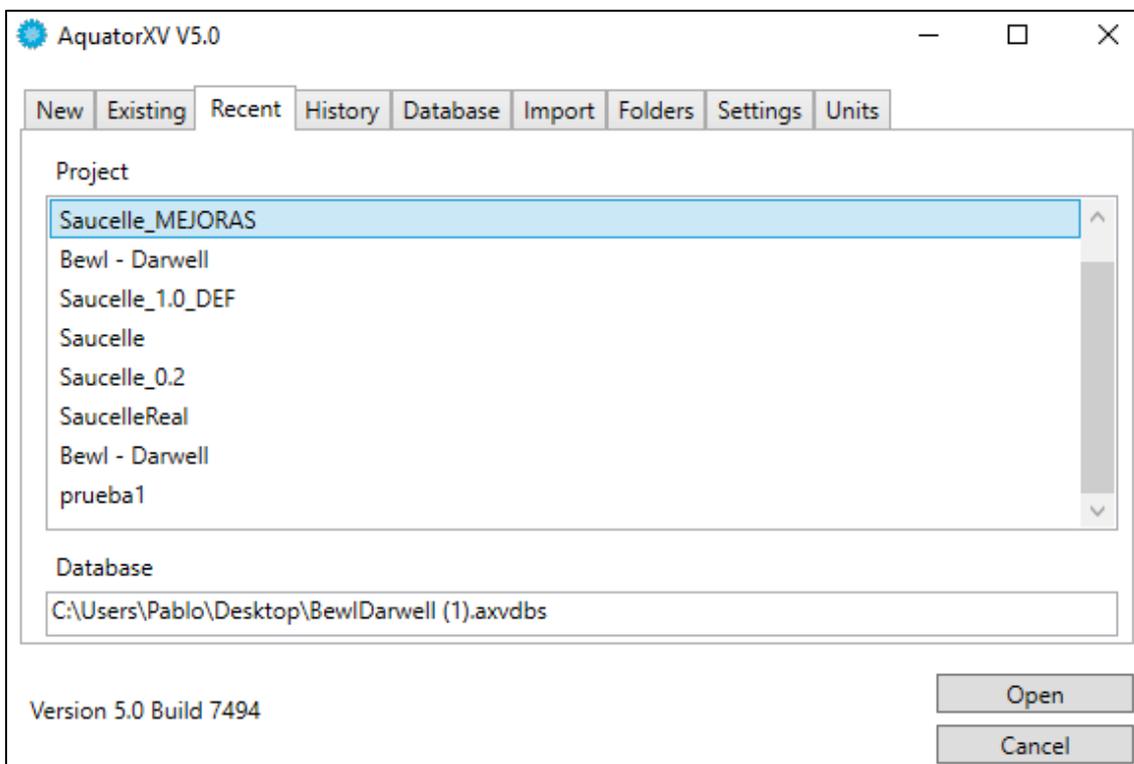


Imagen 15 Recent

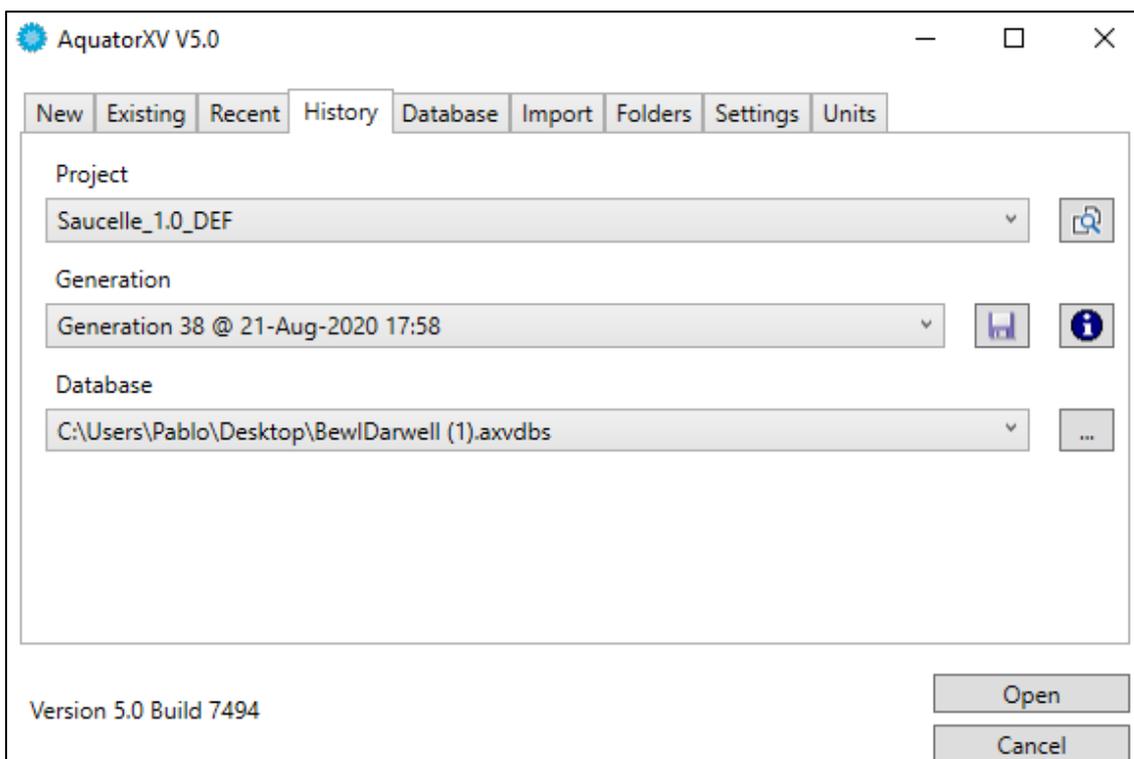
La siguiente de las pestañas, *History*, presenta una de las grandes cualidades del programa Aquator. Dentro de un mismo proyecto, siempre que se lleva a cabo un guardado este se realiza de manera automática como si se tratase de una nueva generación dentro de la base de datos.

Esto quiere decir que para proyecto se almacenan todas las versiones distintas que se han ido guardando a lo largo del tiempo. Cada una de estas versiones se considera una generación y se almacena con un número ascendente seguido de la fecha y hora del guardado.

En esta pestaña [Imagen 16] se debe elegir un proyecto de una lista desplegable. Una vez hecho, se llena un desplegable justo debajo con todas las versiones del proyecto. Es posible elegir una

y abrir el proyecto en esa versión, en vez de la última almacenada cómo pasa cuando se carga de manera normal.

Además de abrir versiones anteriores de proyectos, esta ventana permite exportar versiones concretas de un archivo como archivo de texto. Este tipo de archivo, de terminación axvprj (versión reducida de Aquator XV Project) permiten almacenar, enviar y recibir modelos y ensayos.



*Imagen 16 History*

Por último, se presenta la opción de comparar distintas versiones, o generaciones, de un proyecto mediante un icono situado a la derecha del nombre del proyecto. Se permite comparar cualquieras dos versiones, aunque de base siempre se carga la comparativa de una generación con su inmediatamente anterior [Imagen 17].

La comparativa que se realiza es de las líneas de código del proyecto, no de su versión visual. Se trata de un documento en el que se detallan cada uno de los parámetros, configuraciones y demás variables una tras otra. Para facilitar buscar los datos que interesen, se pueden activar en la barra de iconos superior las opciones de mostrar solo las líneas de código que sean diferentes en ambas versiones y aplicar un código de colores para que sea más fácil visualmente moverse por el documento.

El último de los iconos permite copiar al portapapeles de Windows todas las líneas de código diferentes en ambas versiones.

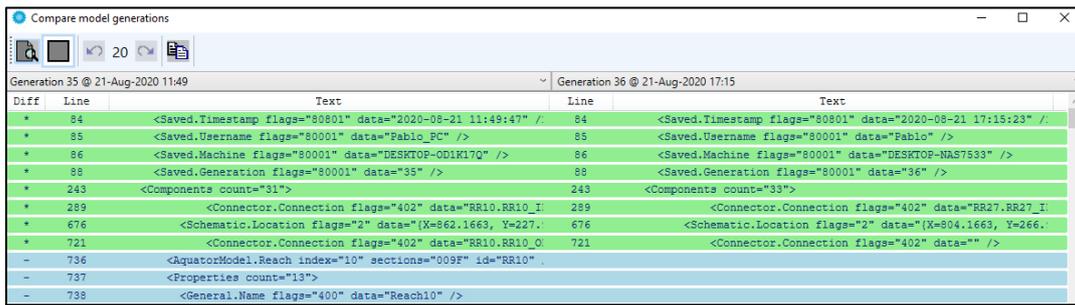


Imagen 17 Compare model generations

Las siguientes ventanas, *Database*, *Import* y *Folders*, sirven para la gestión de bases de datos. La primera de ellas indica que base de datos se tiene elegida para cargar o crear modelos, y desde la segunda se pueden importar bases de datos enteras o incluir proyectos en bases de datos ya existentes. La ventana *Folders* muestra las diferentes bases de datos y el lugar donde son guardadas dentro del ordenador.

A continuación, está la pestaña de Settings [Imagen 18], que permite cambiar la configuración de Aquator. Las primeras opciones que se presentan sirven para cambiar el modo de actuar el programa en algunas situaciones. El resto de las opciones están para que el usuario puede limitar el consumo de recursos del ordenador por parte de Aquator, limitando el tamaño de los modelos, el número de modelos y fallos almacenados y permitiendo la compresión de los archivos guardados.

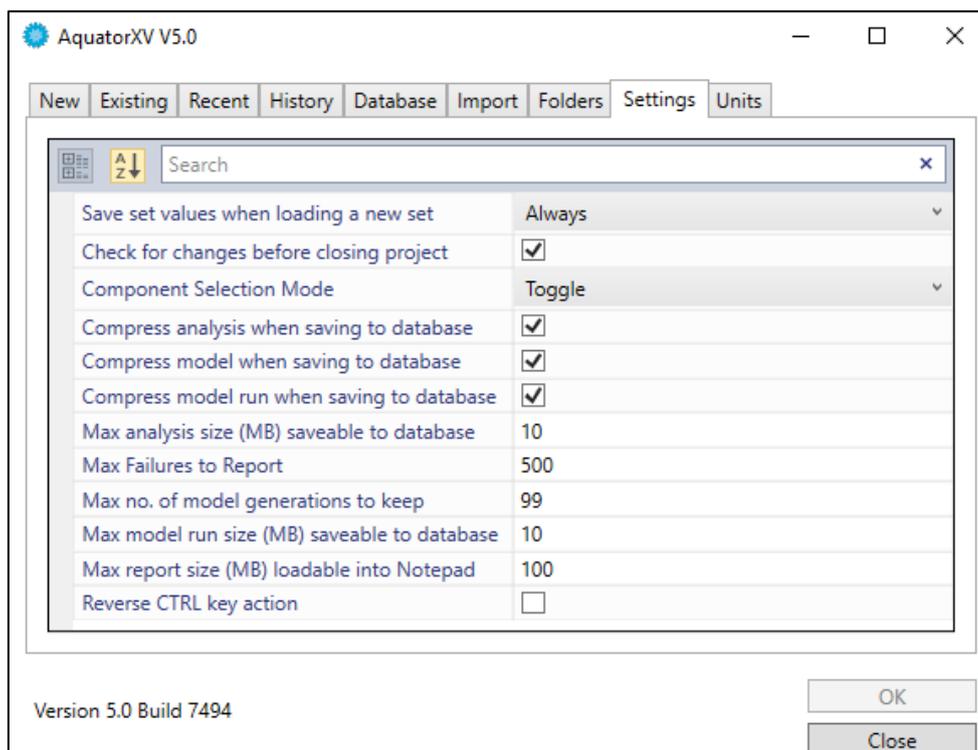


Imagen 18 Settings

La última de las pestañas, *Units*, sirve para alterar el número de decimales con los que opera Aquator. Se puede optar por configurar uno por uno este valor para cada una de las unidades que emplea el programa o definir un valor para todos y estandarizarlo.

### 3. Interfaz de usuario

Cada modelo de Aquator es presentado en formato visual en una ventana [Imagen 19]. Desde esta ventana cualquier modelo puede ser visualizado, modificado y ejecutado. Las diferentes partes de la ventana tienen un nombre que determinado por su uso y cuentan con unas características distintas. A lo largo de este apartado de la guía van a explicarse uno por uno.

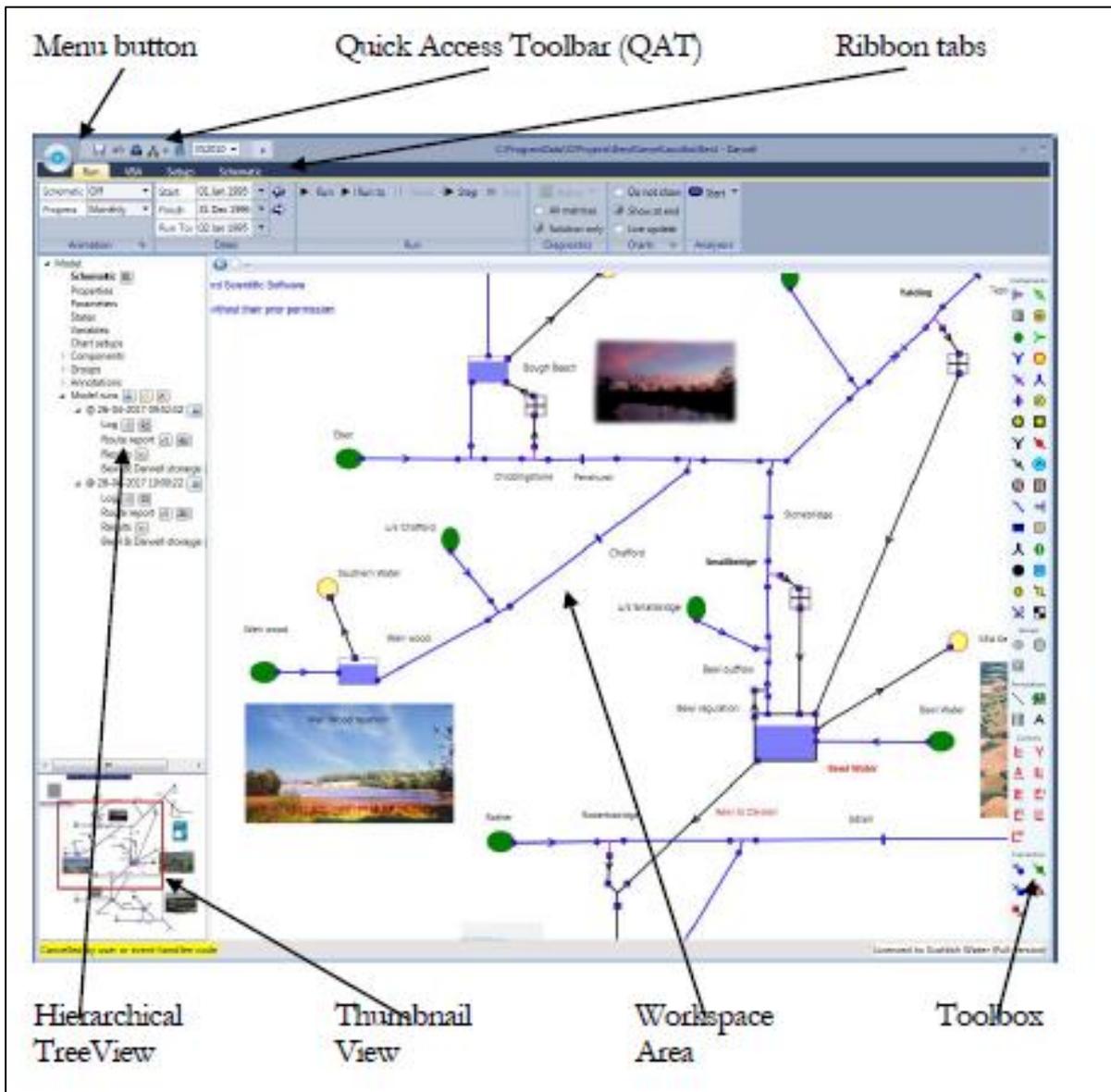


Imagen 19 Resumen de interfaz

#### 3.1 Menú – Menu button

En la parte superior izquierda de la pantalla se encuentra el botón que despliega el menú cuando se clickea en él. El menú desplegable [Imagen 20] contiene las operaciones básicas de gestión de archivos, como abrir un nuevo proyecto o guardar el que está en activo en ese momento.

Además de las operaciones clásicas, Aquator XV incorpora la opción de duplicar el proyecto en el que se esté trabajando, *clone*, abriendo una copia de este en una ventana nueva. Esta copia funciona exactamente igual que el original salvo que no puede guardarse ni exportarse. Se trata de una herramienta para llevar a cabo pruebas de simulación sin poner en riesgo el modelo definitivo.

La opción Database abre la ventana de gestión de bases de datos. Esta herramienta es de gran importancia ya que es lugar en el que se introducen las líneas temporales y los perfiles, piezas imprescindibles para la modelización de sistemas. Esto se explica en detalle en el capítulo 4 de esta guía, por lo que no se entrará en detalle en este momento.

La opción Report permite exportar a un documento de texto las variables y los datos de los componentes del modelo. Seleccionándola abre un pequeño desplegable que da a elegir entre tres formatos de texto: Excel, bloc de notas y Word. Eligiendo la que más interese abre una ventana emergente en la que se puede elegir distintos componentes. Las variables exportadas en el documento creado serán las relacionadas con los componentes seleccionados.

También permite exportar en dichos documentos variables y parametrización general del modelo, sin hacer referencia a ningún componente en concreto.

Por último, el desplegable de AquatorXV sirve de acceso directo a algunos documentos importantes relacionados con el programa. Entre ellos se encuentra la guía de usuario de los creadores del programa y el Error Log, un archivo de texto plano que se crea cuando la aplicación detecta algún error y se ve obligada a cerrarse.

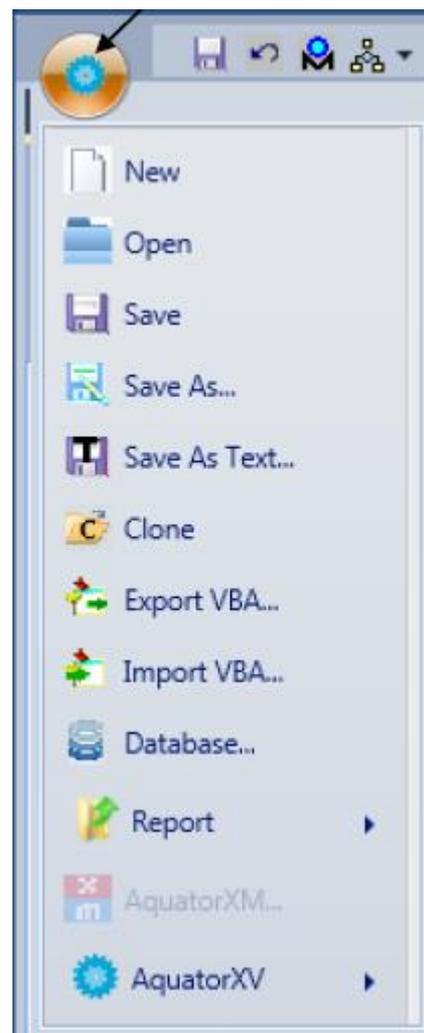


Imagen 20 Menu desplegable

### 3.2 Barra de acceso rápido – Quick Access Toolbar

En la parte superior de la interfaz de usuario se encuentra una barra horizontal con 5 iconos y un desplegable [imagen 21].



Imagen 21 Barra de acceso rápido

**Guardar.** Sirve para guardar el proyecto. Se guarda una nueva versión del modelo y una lista de todos los cambios realizados.

**Mostrar lista de deshacer.**[Imagen 22] Muestra una lista de los cambios que se pueden deshacer o rehacer.

Los cambios en color rojo indican los cambios que pueden deshacer y los que aparecen en azul son aquellos cambios desechos que pueden volver a hacerse.

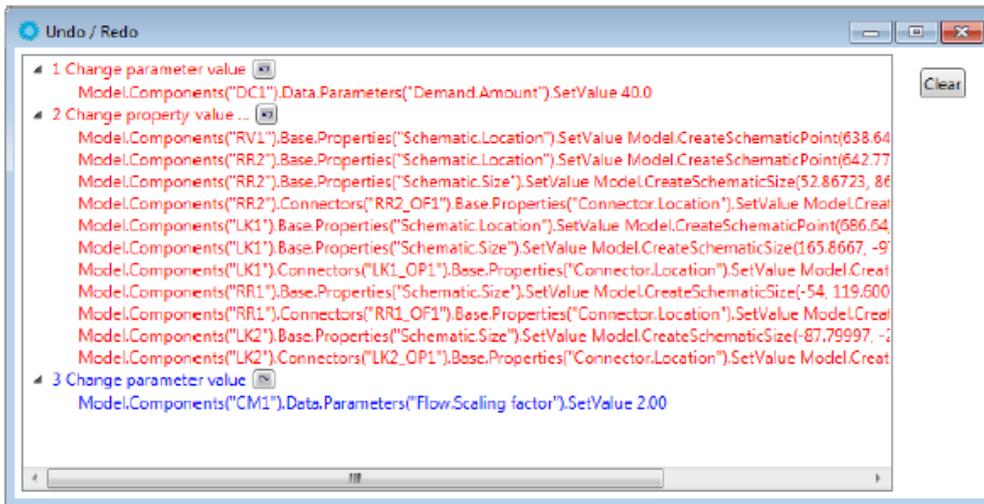


Imagen 22 Undo/Redo

**Configuración de modelo.** Abre la ventana de configuración del modelo actual.

**Mostrar VBA IDE.** Muestra la ventana de desarrollo de Microsoft Visual Basic for Applications Integrated Development.

**Gestión de la base de datos.** Abre la ventana de gestión de la base de datos.

**Tema.** Permite elegir entre varias opciones de aspecto visual.

### 3.3 Vista jerárquica – Hierarchical Treeview

Esto muestra la estructura de todo el modelo (componentes, grupos, licencias, ejecuciones del modelo, resultados, gráficos) en una estructura en forma de árbol donde los iconos de flechas pequeñas indican nodos en el árbol que se pueden expandir.

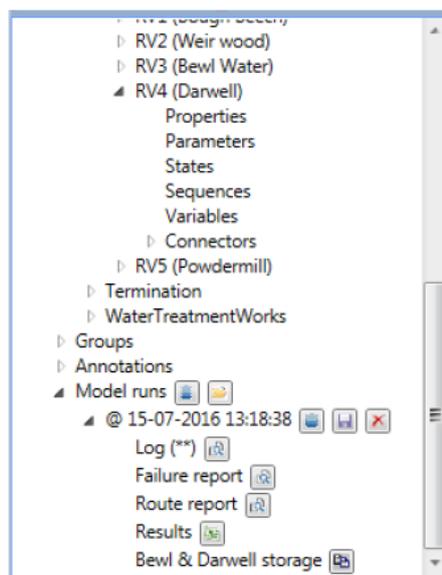


Imagen 23 Vista jerárquica

Al seleccionar (hacer clic en) un nodo, se mostrarán los datos de ese nodo en el área del espacio de trabajo. Por ejemplo:

- Al seleccionar Esquema, se mostrará el esquema.
- Al seleccionar el nodo Parámetros de un componente, se mostrarán los parámetros en una cuadrícula que se puede editar.
- Al seleccionar un gráfico se mostrará ese gráfico.

Los botones adyacentes a varios nodos permiten guardar, copiar al portapapeles y eliminar, según corresponda para cada tipo de nodo. Hay que tener en cuenta que la eliminación es irreversible y no se da ninguna advertencia.

### 3.4 Vista en miniature – Thumbnail View

Esta vista [Imagen 24], situada en la esquina inferior izquierda, muestra un esquema en miniatura pero completo y un rectángulo que muestra la parte del esquema completo realmente visible en el área del espacio de trabajo.

Cuando se usa el ratón para arrastrar el rectángulo en la vista en miniatura, la parte visible de tamaño completo en el área esquemática grande se mueve.

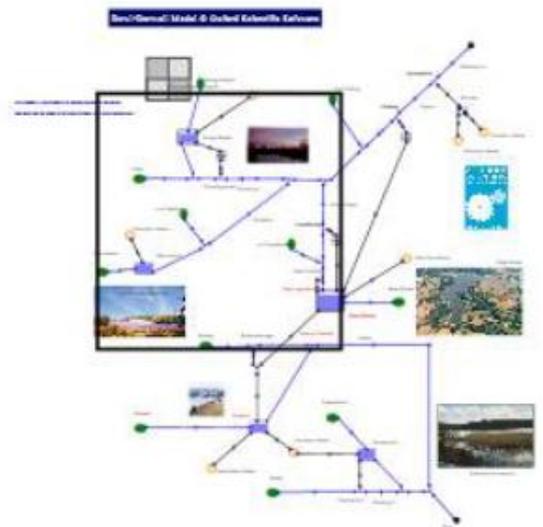


Imagen 24 Vista en miniatura

### 3.5 Área de trabajo – Workspace Area

El área central de la pantalla es el área de trabajo [Imagen 25]. Ocupa la mayor parte del espacio y es donde se monta el modelo empleando los componentes de la caja de herramientas. En este espacio se muestra en detalle lo que se indica en el diagrama de árbol jerárquico de la izquierda.

Si se selecciona *Schematic* se muestra el aspecto visual del modelo, con los componentes.

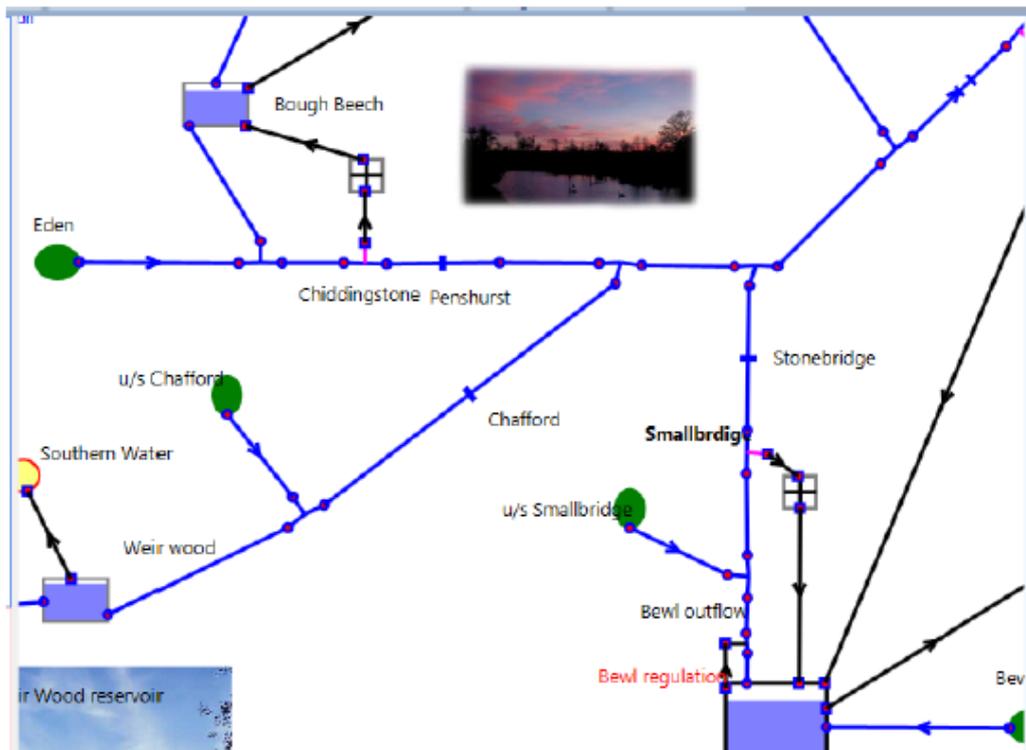


Imagen 25 Workspace

Para mover un componente se arrastra con el ratón, es decir, presionando el botón izquierdo sobre el símbolo del componente y moviendo el ratón. Lo mismo se hace para colocar un conector.

Para hacer una conexión se arrastra un conector al final de un Enlace (línea negra) o un Tramo de río (línea azul) hasta el conector que se va a unir. Los cuadrados se unen a los cuadrados, los círculos se unen a los círculos, el azul se une al rojo (entrada a la salida) y el verde se une al verde (bidireccional).

Se pueden seleccionar varios componentes haciendo click en ellos para moverlos de manera conjunta. Los componentes se pueden agrandar o empequeñecer, así como rotar, haciendo click en los cuadrados que bordean el componente.

Al seleccionar el nodo apropiado en el esquema de árbol, distinto a *Schematic*, aparecerá una cuadrícula de edición para el tipo de datos seleccionados en el área de trabajo.

Alternativamente, al hacer clic con el botón derecho en un símbolo del esquema y seleccionar *Edit* se mostrará un cuadro de diálogo en la parte superior del esquema con exactamente las mismas funciones de edición.

### 3.6 Caja de herramientas – Toolbox

A la derecha de la pantalla se encuentra la caja de herramientas [Imagen 26], un espacio en el que se encuentran los iconos de los componentes que se pueden añadir al modelo. Para hacerlo es tan sencillo como hacer click en uno y arrastrarlo hasta el área de trabajo.

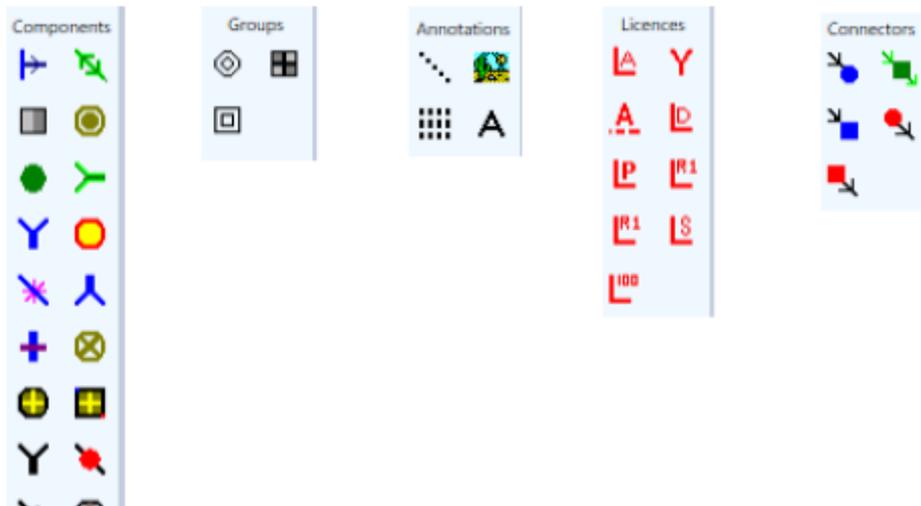


Imagen 26 Caja de herramientas

Los componentes, grupos y anotaciones se pueden colocar en cualquier área vacía del esquema. Las licencias se pueden colocar en cualquier componente o grupo que acepte licencias.

Los conectores se pueden colocar en cualquier componente que lo acepte. Los conectores cuadrados se utilizan para el sistema de suministro, mientras que los conectores circulares se utilizan para el sistema fluvial, las redes de agua natural. Azul significa entrada, rojo significa salida y verde significa un conector bidireccional.

Todos estos componentes serán detallados en un capítulo posterior de la guía.

### 3.7 Pestañas – Ribbon Tabs

En la parte superior de la pantalla se encuentra una tira de pestañas que se pueden seleccionar [Imagen 27].

Cada una de ellas tiene una función concreta. Al abrir un modelo solo aparecen cuatro de estas, ya que la pestaña de gráficas solo aparece en el momento en el que se configura alguna gráfica y se realiza la simulación.

Cómo en el resto de la guía, el apartado relacionado con Visual Basic no se explica.



Imagen 27 Pestañas

### 3.7.1 Pestaña Ejecutar – Run

Se encarga de controlar la simulación que se lleva a cabo en el modelo [Imagen 28].

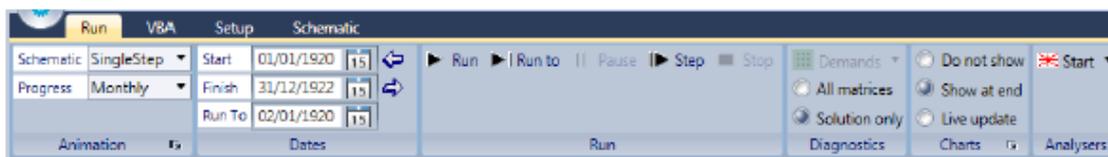


Imagen 28 Pestaña Run

Se pueden configurar las animaciones de progreso de las piezas desde el primer apartado, y la fecha de inicio y final de la simulación en el siguiente bloque de opciones.

Desde esta pestaña es el lugar donde se inicia y se termina la simulación, mediante los botones *Run* y *Pause*. La opción *Run to* sirve para simular solo hasta la fecha indicada en la tercera ventana del apartado *Dates*. Desde aquí también se puede controlar si las gráficas se hacen al terminar la simulación o si generan mientras esta tiene lugar.

### 3.7.2 Configuración – Setup

Esta pestaña permite al usuario configurar las zonas y escenarios de la simulación [Imagen 29].

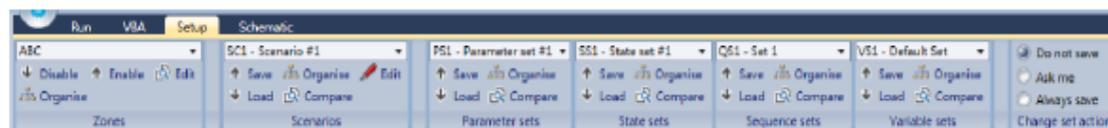


Imagen 29 Setup

Las zonas son una agrupación simple de componentes y grupos. Cualquier zona puede contener cualquier componente o grupo y los componentes y grupos pueden pertenecer a cualquier número de zonas.

Los escenarios son una construcción de Aquator que relaciona un modelo con un grupo de variables de entrada y configuración concreta, de manera que siempre se ejecute en las mismas condiciones.

La elección de un escenario selecciona implícitamente *un Parameter\_set*, *un State\_set*, *un Sequence\_set* y *un Variable\_set*. Estos son los conjuntos predeterminados del escenario. Este menú permite en un paso cambiar de un escenario a otro, por lo tanto, un conjunto de valores de estado y parámetro, un conjunto de enlaces de secuencia y un conjunto de indicadores de variables se actualizan. Esto reduce mucho el tiempo de pasar de una situación de simulación a otra.

### 3.7.3 Esquema – Schematic

Esta pestaña [Imagen 30] permite configurar la parte más estética del modelo. Se puede emplear para colocar fondos en el diseño, insertar fotos y cambiar su tamaño, alterar la fuente de la letra de los nombres de los componentes, etc.

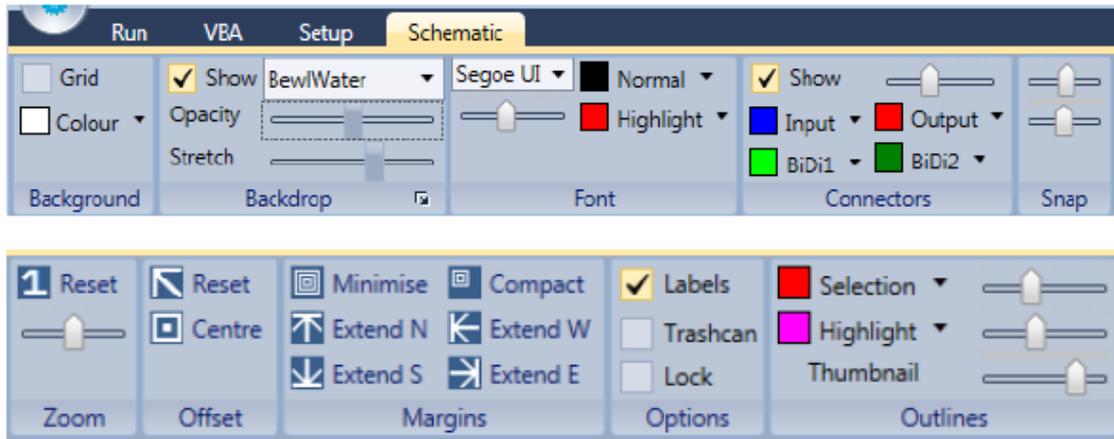


Imagen 30 Schematic

### 3.7.4 Gráfica – Chart

Esta última pestaña [Imagen 31] sirve para cambiar las opciones de aspecto de las gráficas incluidas en el proyecto. No sirve para generarlas, ni alterar su contenido ni sacarlas por pantalla, solo se encarga del apartado visual.

Todo lo necesario para poder usar gráficas se explica más adelante en esta guía.



Imagen 31 Pestaña Chart

## 4. Información técnica

En este capítulo de la guía se detallan las distintas herramientas y parámetros que se utilizan para modelar en Aquator. Se desglosan las diferentes ventanas y distribuciones de datos que se pueden incluir en cada componente y los distintos métodos para controlar y matizar el funcionamiento del proyecto durante la simulación.

### 4.1.1 Propiedades

Las propiedades [Imagen 32] son elementos de datos que tienen un valor único que lo identifica y que no afecta a los cálculos del modelo. Muchas de las propiedades son cosméticas, como la identificación de los parámetros, los colores de las gráficas que representan sus valores o los símbolos utilizados en la vista esquemática para representar estos valores.

Existen propiedades generales del modelo, que engloban los detalles cómo la fecha de creación, el nombre del modelo y del usuario, etc. Los componentes tienen su propia ventana de propiedades configurables, la cual tiene un aspecto similar a la siguiente imagen.

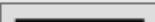
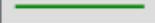
Group	Name	Units	Value
General	Name		Presa de Saucelle
	Created		20-Aug-2020 10:58
Schematic	Show name		<input checked="" type="checkbox"/>
	Line attributes		
	Line attributes (locked water)		
	Line attributes (control curve)		
	Line attributes (storage history)		
	Fill attributes (full)		
	Fill attributes (empty)		

Imagen 32 Propiedades generales

### 4.1.2 Parámetros

Si las propiedades son los valores que no afectan a la simulación, los parámetros son todos aquellos valores introducidos por el usuario que sí la afectan.

El modelo en sí tiene parámetros, al igual que todos los componentes y grupos. Cada parámetro es de un tipo de datos específico (número entero, número de coma flotante de doble precisión, cadena, enumeración, etc.) y en cualquier momento tiene un valor "actual" utilizado en todos los cálculos.

Los valores de los parámetros normalmente no cambian durante la ejecución de un modelo y para cambiar el valor del parámetro durante la ejecución de un modelo requiere el uso de VBA. Sin embargo, los valores de los parámetros se pueden cambiar entre ejecuciones editando o seleccionando un conjunto de parámetros donde un conjunto de parámetros es un conjunto de valores para cada parámetro. Así se habla de Valores "actuales" y valores "establecidos".

A la ventana de parámetros general del modelo se accede a través del esquema de árbol en el lado izquierdo de la ventana [Imagen 33].

Group	Name	Units	V	Value
Options	Fire events			<input checked="" type="checkbox"/>
	Auto-select events to fire			<input checked="" type="checkbox"/>
	Capture inputs			<input type="checkbox"/>
	Capture model			<input type="checkbox"/>
	Capture route flows			<input type="checkbox"/>
	Autoset advance order			<input checked="" type="checkbox"/>
	Animation	Mode		Off
Progress			Daily	▼
Limits	Max warnings			1
	Max failures			1
	Max errors			1
Action	After max warnings		None	▼
	After max failures		None	▼
	After max errors		None	▼
Optimiser	Cost weighting			0.8000
	Hold resource state mode		Off	▼
	Hold resource state period			7
	Goal		Combined	▼
	Goal (if demand not met)		Same	▼
	Min cost RS control		Ignore	▼

Imagen 33 Parámetros

A la lista de parámetros de los componentes se accede haciendo click con el botón derecho sobre la pieza y dándole a la opción *Edit*.

Algunos de los parámetros que se pueden introducir son de SI/No, se activan o se desactivan mediante un click en una casilla. Otros necesitan que se introduzca un valor numérico concreto. Estos cuentan con unidades, que aparecen en la columna junto al valor y no pueden alterarse [Imagen 34].

Group	Name	Units	V	Value
Model object	Setup order			1
Options	Fire events			<input checked="" type="checkbox"/>
	Enabled			<input checked="" type="checkbox"/>
	Animate on			<input type="checkbox"/>
Generation	Energy per MI	MWh		0.012
Income	Max flow	MI/d		21168.000
	Unit income	€/MI		0.00
	Weighting			1

Imagen 34 Parámetros de componente

#### 4.1.3 Estados

El valor de estado se comporta en todos los aspectos como un valor de parámetro, pero durante un modelo de ejecución se espera que el valor cambie. Los valores estatales determinan el

estado del modelo. Un ejemplo sería el nivel de ahorro de demanda en el comienzo de los cálculos de cada día: el nivel de ahorro de demanda bien puede cambiar de un día a otro día.

Algunos valores de estado corresponden exactamente a variables, por ejemplo, el almacenamiento de un el depósito se mantiene como un valor de estado y como una variable. La característica que diferencia los estados de los perfiles y las series temporales, que serán explicados a continuación, es que los estados tienen solo el estado inicial como entrada del usuario y las variaciones del estado son fruto de los desplazamientos de agua del modelo, no son controlados por el usuario.

Por ejemplo, en el componente del embalse se introducen valores como los millones de litros de agua que contiene al comenzar la simulación o el porcentaje de agua embalsada [Imagen 35].

RV5 (Presa de Saucelle)					
Properties	Group	Name	Units	Value	
Parameters <b>States</b> Sequences Variables Connectors	Storage	Initial value	MI	171950.00	
		Initial value (%)	%	95.000	
	Demand saving	Yesterdays level		0	
	Yesterdays	Supply	MI/d	0.000	
		Demand	MI/d	0.000	

Imagen 35 Estados de embalse

#### 4.1.4 Perfiles

Los perfiles son series de datos para dar un valor distinto a una variable a lo largo de la simulación. A diferencia de los estados, que los cambios de valor se generaban en el modelo, aquí el usuario decide el valor de entrada para cada día.

Los perfiles constan de 366 valores diarios o 12 valores mensuales de datos de entrada, si se trata de diario o mensual, reutilizados para cada año de ejecución del modelo. Si es diario y no un año bisiesto el 60 el valor (es decir, el valor del 29 de febrero) se omite. Para valores mensuales el valor para cada día se calcula por replicación (los llamados datos instantáneos como flujo) o dividiendo por el número de días del mes (los llamados datos acumulados como lluvia o evaporación).

Los perfiles no se configuran dentro de cada componente, sino que se crean de manera global en la base de datos y después pueden ser referenciados en cualquier componente para que su variable tome dichos valores contenidos en el perfil. Estos se pueden añadir en la ventana *Sequences* de cada componente, eligiendo la fila de la variable que se quiere controlar y eligiendo en la lista desplegable de la columna *Profiles*.

Group	Name	Units	V	Time series	...	Profile	...
Climate	Rainfall	mm		<None available>		<None available>	
	Evaporation	mm		<None available>		<None available>	
Climate change	Rainfall factor			<None available>			
	Evaporation factor			<None available>			
	Percent storage	%		<None available>			

Imagen 36 Perfiles

En el icono situado a la derecha de la lista desplegable se puede alterar el filtro que se aplica para que no salgan en la lista desplegable todos los perfiles de la base de datos.

Para ello es necesario abrir la base de datos y entrar en el apartado *profiles*. A la hora de crearlos hay que seleccionar el tipo de datos que contiene: valores de caudal, volúmenes, porcentajes...

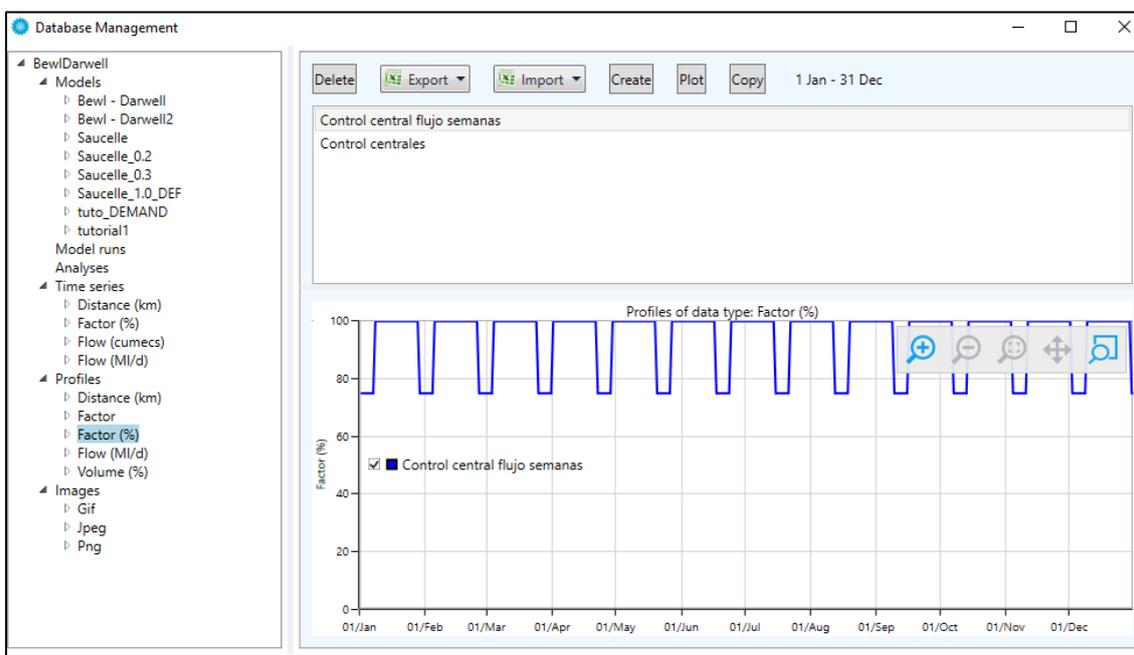


Imagen 37 Ejemplo perfil

Los distintos perfiles se agrupan dentro de los tipos que existen, para que sea más fácil localizarlos. Además, desde el gestor de bases de datos se pueden borrar y crear nuevos perfiles, exportarlos o importarlos desde Excel y representarlos en forma de gráfica en esa misma ventana.

Para crear un perfil es necesario ponerle un nombre único, es decir que no se repita con otros elementos de la base de datos, y el tipo de variable que controla. También hay que elegir si se trata de un serie de datos diarios o mensuales. Para introducir los datos es necesario tenerlos guardados en el portapapeles de Windows, es decir, haber sido copiados de una lista.

Esto se hace con facilidad de una tabla de datos de Word o Excel. Una de las columnas debe contar con las fechas y la otra con los valores a utilizar. En caso de que se introduzcan más columnas se puede elegir cuál es la que representa a la variable interesada con el selector de columna de Aquator.

Este es el aspecto que debería tener una tabla de valores preparada para crear un perfil de valores [Imágenes 38 y 39].

	A	B	C
1			
2	01/10/2019	75	
3	02/10/2019	75	
4	03/10/2019	75	
5	04/10/2019	75	
6	05/10/2019	75	
7	06/10/2019	75	
8	07/10/2019	75	
9	08/10/2019	100	
10	09/10/2019	100	
11	10/10/2019	100	

Imagen 38 Tabla excel de entrada de datos

Imagen 39 Ejemplo perfil creado

#### 4.1.5 Series temporales

Los datos de la serie temporal son una serie de datos de entrada diarios o mensuales con modelo de ejecución [Imagen 40]. Para los valores mensuales, el valor de cada día se calcula por replicación (los llamados datos instantáneos como flujos) o dividiendo por el número de días del mes (los denominados datos acumulativos como la lluvia o evaporación). Los datos de series de tiempo se mantienen en la base de datos subyacente independientemente de cualquier modelo.

A continuación, el modelo "vincula" la serie temporal a un requisito de datos de series temporales, por lo que los datos de series de tiempo pueden ser compartidos por varios modelos

almacenados en la misma base de datos. Estos se pueden añadir en la ventana *Sequences* de cada componente, eligiendo la fila de la variable que se quiere controlar y eligiendo en la lista desplegable de la columna *Time series*.

Group	Name	Units	V	Time series	...
Max refill	Control level 3	%			
	Control level 4	%			
	Control level 5	%			
	Compensation control level	%		<None available>	
	Compensation target	MI/d			...
	Flood drawdown control level	%		<None available>	
	Flood drawdown target	MI/d			...

Imagen 40 Secuencias

La principal diferencia entre las series temporales y los perfiles es que los primeros son genéricos para todo el año, mientras que la base de datos no engloba un año natural entero, sino que hay delimitar su principio y su final.

En el resto de los aspectos, como su creación y eliminación, se realiza de igual manera que los perfiles, salvo que es necesario configurar las fechas limitantes [Imagen 41].

**Create new time series**

Name:

Type:

Constant value  Clipboard data

Value:

Start:   Daily

Finish:   Monthly

Imagen 41 Nueva serie de tiempo

En la mayoría de los casos en los que se emplea una serie temporal o un perfil, este valor sobrescribe al valor individual introducido en el parámetro fijo del mismo nombre.

#### 4.1.6 Variables

Todos los componentes cuentan con una pestaña dentro de su configuración llamada Variables, la cual se encarga de mostrar por pantalla todas las variables que se generan en dicho modelo. Además de indicar su nombre y las unidades en las que se mide, aporta otros datos interesantes para la simulación.

En las columnas llamadas mediante las letras R, S, T y X se pueden activar diferentes opciones de diseño y visualización referentes a cada una de las variables.

- "R" = captura de resultados durante la ejecución del modelo.
- "S" = mostrar en el esquema cuando está animado.
- "T" = importar como serie temporal al final de la ejecución del modelo.
- "X" = preseleccionar para exportar después de que termine la ejecución del modelo.

En la columna de style se muestra el aspecto de la línea que representa a esta variable en cada una de las gráficas que se generen. Por último, se indica en qué gráficas de las creadas se visualiza cada una de las variables del componente.

En el ejemplo [Imagen 42] que se puede ver en la ilustración [XX], la variable estatus level aparece representada en la gráfica B por una línea discontinua roja y la variable Outflow.Net aparece en negro en la gráfica A.

Group	Name	Units	R	S	T	X	Style	A	B	C	D	E	F
Operation	Status level		R				-----		B				
Outflow	Net	MI/d	R	S			—————	A					
	Natural	MI/d					—————						
	Abstractions	MI/d					—————						
	Releases	MI/d					—————						

Imagen 42 Variables

#### 4.1.7 Rutas

La ruta es un camino único desde una oferta hasta una demanda. Puede haber varias rutas entre una oferta y una demanda particulares. Para especificar una ruta, por lo tanto, se debe especificar cada componente a lo largo de la ruta [Imagen 43].

La notación utilizada es para concatenar los identificadores de componentes (que son invariantes) separados por un guión. Haciendo click derecho en un componente y abriendo su apartado de rutas, aguas arriba o aguas abajo, muestra una ventana donde se contempla la ruta, como en el siguiente ejemplo.

TM1-RR10-AB2-GS2-AB3-RR9-CF4-RR7-CF3-RR6-CF2-RR5-GS1-AB1-RR4-CF1-RR2-RV1						
ID	Name	Delay	Regulator	Abstraction	Constraint	
RV1	Bough Beech	-	-	-	-	
RR2	Reach2	0	-	-	-	
CF1	Confluence1	-	-	-	-	
RR4	Reach4	0	-	-	-	
AB1	Chiddingstone	-	-	Direct	Prescribed	
GS1	Penshurst	-	-	-	Prescribed	
RR5	Reach5	0	-	-	-	
CF2	Confluence2	-	-	-	-	
RR6	Reach6	0	-	-	-	

Imagen 43 Ejemplo de ruta

#### 4.1.8 Costes

Casi todos los componentes tienen un parámetro configurable llamado "Costo.unitario" y "Costo.Ponderación". El verdadero costo de mover agua a lo largo de esa ruta es la suma del "Costo.unitario" de los componentes a lo largo de esa ruta. Por tanto, la intención de estos valores es que deben reflejar los costos del mundo real y son estos costos los que se informan en las salidas de ejecución del modelo.

La configuración de control de costes y los métodos de optimización solo funcionan en redes de suministro con centros de demanda.

Para fines de optimización, estos costos reales no se utilizan. En cambio, para cada componente a lo largo de la ruta, "Costo.unitario" se multiplica por "Costo.Ponderación" y los valores resultantes se suman para toda la ruta. Es este costo ponderado para la ruta que utilizan los algoritmos de optimización que se emplean.

Por lo tanto, el propósito del parámetro y la secuencia "Cost.Weighting" es influir los algoritmos de optimización sin afectar los costos informados en la ejecución del modelo salidas. Alterando la ponderación mediante una serie de datos temporal se puede reducir o ampliar el coste de manera proporcional para varios procesos de distinto coste real.

#### 4.1.9 Redes fluvial y redes de suministro

La red fluvial es la parte natural del sistema, es decir, los ríos, representados en un modelo AquatorXV con componentes de Tramo. Las conexiones de la red fluvial se muestran como pequeños círculos en el esquema.

El agua normalmente se mueve en la red fluvial "empujando" el agua de algunos componentes aguas arriba. Por ejemplo, una cuenca empujará agua hacia su conexión río. Esto modela el mundo real donde los componentes posteriores no tienen control sobre la cantidad de agua que fluye. En el límite, un río simplemente se inunda.

La red de suministro es la parte artificial del sistema, como depósitos, tuberías, bombas, obras de tratamiento de agua y centros de demanda. La red de suministro tiene conexiones que se muestran como pequeños cuadrados en el esquema.

La única forma en que se puede mover agua en la red de suministro es mediante una solicitud de agua siendo encaminado de una demanda a una oferta. Se dice que el agua se "tira" hacia la demanda. Por diseño, es imposible "empujar" agua hacia cualquier parte de la red de suministro, como ocurre en la parte fluvial. Los componentes aguas abajo, como las tuberías, tendrán una capacidad limitada y, cantidades arbitrarias de agua en la red de suministro no serían sensatas.

El agua que se mueve en el sistema de suministro pasa de la oferta a la demanda. Existen cuatro variables que tienen en cuenta todos los movimientos de agua.

- **Cantidad Paso A (por encima de la curva de control).** El exceso de agua movido para minimizar el costo de suministro se denomina Pase A
- 
- **Cantidad Paso A (por debajo de la curva de control).** El agua máxima movida para maximizar el estado de los recursos de los suministros es denominada la cantidad de Pase B
- 
- **Cantidad Paso C (movimiento de agua personalizado).** Cualquier agua forzada a moverse por código VBA personalizado.
- **Cantidad total.** La cantidad total de agua movida, es decir, la suma de las tres cantidades anteriores.

## 5. Componentes

En el programa de Aquator se emplean componentes para formar el modelo que se va a utilizar, tal y cómo se ha explicado en capítulos anteriores de esta guía. En este se explican los principales componentes, detallando su uso y sus variables principales.

Aunque algunos de los componentes tienen funcionamientos complejos y cuentan con decenas de parámetros configurables, en este manual solo se tratan aquellos de mayor relevancia o que se emplean en modelos básicos.

### 5.1.1 Parámetros generales

La gran mayoría de elementos configurables cuentan con una serie de parámetros que son comunes a todos ellos. Dichos parámetros son los siguientes:

- **"Model object.Setup order"**

El orden en el que se configura un componente cada día de la ejecución del modelo. Si hay una razón particular para inicializar un componente antes que otro, entonces el último componente que se va a iniciar debe tener un valor mayor para este parámetro.

- **"Options.Fire events"**

El código de VBA que personaliza un componente generalmente es activado por un controlador de eventos, donde un evento es un momento definido en los cálculos. Este parámetro debe ser Verdadero (marcado en la cuadrícula de edición de la interfaz de usuario) para que funcionen los controladores de eventos.

Por el contrario, se puede establecer en False para que no se ejecute ningún código personalizado para el componente.

- **"Options.Animate on"**

Algunos componentes pueden animarse en el esquema mientras se ejecuta el modelo, aunque esto puede perjudicar el rendimiento. Este parámetro controla si la animación es activado (el valor del parámetro es verdadero) o desactivado (falso).

- **"Options.Enabled"**

Normalmente, este parámetro se deja en True. Si es False, se dice que el componente es discapacitado y conceptualmente no participa en la ejecución del modelo, permitiendo el paso de caudal a través de ellos sin afectarlos.

### 5.1.2 Abstracción

El componente de abstracción modela una abstracción de río. Es típicamente conectado a un componente aguas arriba, un componente aguas abajo, y un componente de enlace a través del cual se extrae agua del río.

Cuenta con una entrada de agua de tipo natural y dos salidas: una de tipo de red natural fluvial y la otra de red artificial o de suministro. Es uno de los pocos componentes de Aquator que conectan una red de aguas fluviales con una red de suministro. Su principal función es sacar agua de la red fluvial y desviarla por la red de suministro hasta las zonas de demanda.

Hay dos modos de funcionamiento que reflejan dos formas de realizar los cálculos necesarios. Se puede elegir entre las dos formas de operar haciendo click en el parámetro que se quiera dentro del apartado "Operation".

- La **abstracción directa** reduce el flujo descendente y el componente de abstracción en sí es el suministro, no el componente ascendente que originalmente añadió agua al río.
- La **abstracción indirecta** aumenta el flujo ascendente al enrutar una solicitud de agua a través de la abstracción, río arriba.

Si el retraso de tiempo es de un día o más, solo la abstracción es posible. Si se habilitan tanto la abstracción directa como la indirecta, se emplea por defecto la indirecta.

- **"Max supply.Enforce"**.

Para hacer cumplir un suministro máximo de la abstracción, se establece el parámetro en "True".

- **"Max supply.Amount"**

Este parámetro se utiliza para limitar el suministro al valor especificado a menos que una serie de tiempo o perfil esté vinculado a la secuencia del mismo nombre, en la que caso de que el valor de la serie temporal o el valor del perfil tenga prioridad.

### 5.1.3 Enlace bidireccional

El componente Enlace bidireccional es un enlace cuya dirección de flujo puede cambiarse a diario. Esto significa que una vez que la dirección del flujo es fija para un día de la ejecución del modelo, no se puede cambiar hasta que al día siguiente de la simulación.

- **"Flow.Max amount - forward"**
- **"Flow.Max amount - reverse"**

Estos dos comandos limitan el flujo de caudal máximo en cada una de las direcciones.

- **"Direction.Algorithm"**
- 

Esta opción permite modificar el algoritmo que controla la dirección seleccionando cual es el criterio elegido para que Aquator asigne uno de los dos sentidos de corriente. Con el menú desplegable se puede elegir priorizar un bajo coste de operación, un caudal maximizado, etc.

#### 5.1.4 Mezclador

El componente mezclador se puede utilizar de dos formas: para mezclar agua en una proporción especificada; o para mezclar el agua entrante para mantener un nivel específico de calidad del agua. En el último caso, el componente interactúa con las rutinas de optimización, minimizando costos y / o maximizando el estado de los recursos manteniendo la calidad.

##### - "Blender.Algorithm"

Esta opción permite modificar el algoritmo que controla el funcionamiento de este componente. Si se establece en Ninguno, el mezclador no impone ninguna restricción a la magnitud de los flujos en los conectores de entrada.

##### - "Blender.Failure margin"

Este parámetro determina el umbral en el que se reporta error en el mezclador.

El mezclador cuenta con una pestaña de configuración a la que se puede acceder mediante la opción "Setup". Cuenta con cuatro pestañas diferentes: Method, Fixed ratios, Determinands, and Limits and levels.

La pestaña de métodos presenta la opción de elegir entre los tres modos de funcionamiento.

- *Apagado*. El mezclador actúa de forma transparente, es decir, los flujos de entradas son similares a los de la salida del propio componente.
- *Mezclar (proporciones fijas)*. La pieza mezcla los flujos de entrada en una proporción fija.
- *Mezclar (proporciones óptimas)*. El mezclador actúa para optimizar los flujos en las entradas (minimizar el costo de suministro y / o maximizar el estado de los recursos de los suministros) sujeto a mantener los niveles determinantes por debajo de los límites especificados.

Cómo puede observarse en la foto [Imagen 44], la segunda pestaña sirve para introducir los valores de las proporciones que se pueden fijar.

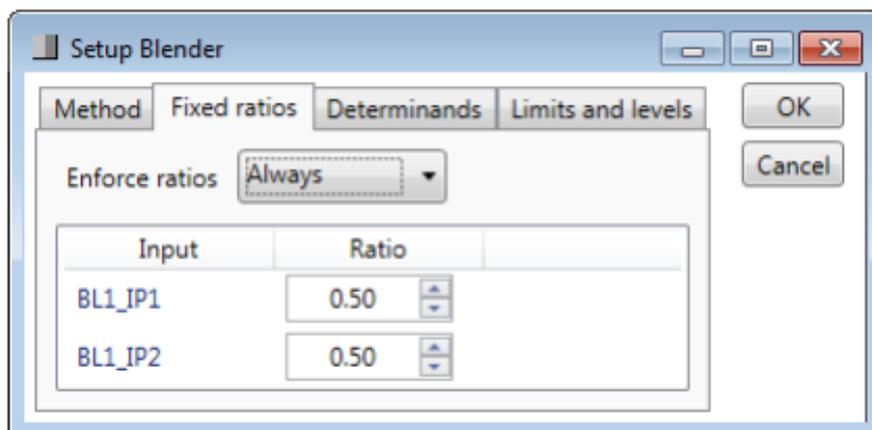


Imagen 44 Setup Blender

### 5.1.5 Cuenca

El componente básico de captación de AquatorXV es una serie de flujo simple de valores medios diarios o mensuales. En uso típico, el componente inyecta el flujo en un río al comienzo de los cálculos de cada día.

- **"Flow.Amount"**

Flujo diario para inyectar en el río, normalmente anulado por una serie de tiempo o perfil vinculado a la secuencia del mismo nombre.

### 5.1.6 Acoplador

El acoplador tiene una función simple: habilitar la interconexión de componentes bidireccionales con componentes unidireccionales. En uso tendrá un enlace en cada uno de los conectores de entrada y salida y un enlace bidireccional en el tercer conector.

### 5.1.7 Confluencia

El componente de Confluencia une dos tramos río arriba en uno alcance corriente abajo.

### 5.1.8 Centro de demanda

El componente del Centro de demanda modela una demanda, típicamente una ciudad o pueblo, o posiblemente una demanda industrial. La demanda de este componente es la que impulsan el modelo cuándo cuenta con redes de suministro.

Se pueden agregar conectores de entrada adicionales. Cada conector de entrada puede especificar una demanda mínima que debe ser suministrada a través de ese conector y no puede ser satisfecho con suministro adicional en otros conectores.

Se pueden agregar uno o más conectores de flujo de salida para modelar los retornos de efluentes. El parámetro "Return.Factor" del conector y la secuencia especifican el porcentaje de la demanda que debe ser devuelto al sistema fluvial.

- **"Demand.Amount"**

La demanda del centro de demanda. Generalmente anulado por un perfil o una serie de tiempo vinculado a la secuencia del mismo nombre.

- **"Fail.If demand not met"**

Si se establece en Verdadero y no se puede satisfacer la demanda, establece el estado del centro de demanda en Fracaso.

#### 5.1.9 Descarga

El componente de descarga se encuentra en un río y agrega una descarga al flujo.

- **"Discharge.Amount"**

La cantidad de agua que se agregará al río.

#### 5.1.10 Desviación

El componente de desvío bifurca el caudal de un río en dos brazos. El componente se muestra en el esquema con el brazo de salida principal dibujado con una línea continua y el brazo de salida desviado dibujado con puntos.

Si se aplica un umbral de flujo de entrada distinto de cero o un flujo desviado máximo distinto de cero entonces el componente de desvío funcionará correctamente en la parte superior del río, por encima de cualquier componente regulador o de abstracción. El umbral y / o los valores máximos pueden no se aplicará correctamente si esta condición no se cumple.

- **"Rule.Start threshold"**

Si el flujo de entrada está por debajo de este valor, no se desvía ningún flujo.

- **"Rule.Transfer rate"**

El porcentaje de la entrada por encima del umbral de inicio enviado al brazo desviado.

#### 5.1.11 Agua subterránea

El componente de agua subterránea es la pieza modelo que sirve como fuente de agua subterránea, es decir, permite la obtención de agua de este punto por un sistema de red de suministro.

- **"Max supply.Enforce"**
- **"Max supply.Amount"**

Para hacer cumplir un suministro máximo del agua subterránea, hay que establecer el primero de los parámetros en True. Luego, el segundo parámetro se usa para limitar el suministro al valor especificado a menos que una serie de tiempo o perfil esté vinculado a la secuencia del mismo nombre, en la que caso de que el valor de la serie temporal o el valor del perfil tenga prioridad.

#### 5.1.12 Hidrogenerador – Tipo Red fluvial o Tipo Red de suministro

El componente de hidrogenerador tipo río o tipo red de suministro se puede agregar a un río o a una red para que el caudal se aproveche como fuente de energía y se monetice, es decir, proporcione ingresos.

- **"Max.Flow"**

Limita el caudal de agua que puede ser turbinada. A partir de este limite el caudal no genera beneficios ni potencia.

- **"Energy per MI"**

Establece la potencia generada por la turbina por cada millón de litros que pasa a través de ella.

- **"Income.Unit income"**

Establece cuánto beneficio económico se genera por cada millón de litros.

#### 5.1.13 Unión

El componente unión une dos brazos aguas arriba en el sistema de suministro en un brazo corriente abajo.

#### 5.1.14 Enlace

El componente enlace une unos componentes con otros en una red de suministro. Es esencialmente una tubería con parámetros que controlan opcionalmente el caudal mínimo y máximo.

- **"Flow.Max amount "**

El caudal máximo permitido a través del enlace.

- **"Flow.Min amount "**

El caudal mínimo permitido a través del enlace.

#### 5.1.15 Tramo

El componente tramo representa una sección del río con pérdidas opcionales y retrasos de tiempo.

- **"Reach.Fixed loss per km"**

Se descuenta una pérdida fija del caudal del río antes de cualquier regulación o extracción. Si el caudal del río es menor que la pérdida fija, entonces la pérdida se limita al caudal del río. Para calcular la pérdida fija, este parámetro se multiplica por la longitud de alcance dada por la propiedad "Reach.Length", es decir, la longitud del alcance no es un parámetro y tiene por lo tanto, un valor único no se ve afectado por conjuntos de valores de parámetros.

- **"Flow.Travel time"**

Tiempo de viaje a través del alcance en días. Debe ser una cantidad entera.

#### 5.1.16 Embalse

El componente del embalse es un modelo bastante completo de una reserva de agua con una gran cantidad de parámetros y secuencias que controlan su operación. Actúa como una oferta para satisfacer las demandas y como una demanda para rellenarse.

### Conectores del componente

Además de un conector de salida estándar, llamado aliviadero, también incluye cinco elementos que añaden el conector de salida de tipo río con nombre al depósito. La versión con nombre similar se realiza a través de su conector, si está presente, de lo contrario a través del conector del aliviadero que siempre está presente. Cualquier otro tipo de conector (entrada, entrada, salida o bidireccional) se puede arrastrar desde la caja de herramientas y soltar en el depósito tantas veces como sea necesario.

Estos posibles conectores son:

- Compensation outflow
- River outflow
- Hydropower outflow
- Irrigation outflow
- Flood drawdown outflow

Se consideran conectores normales salvo que su uso se configura mediante una serie de parámetros específicos:

- **"Release.XXXX control level"**

Delimita el porcentaje de llenado del embalse a partir el cuál se comienza a extraer agua a través de esta salida.

- **"Release.XXXX target"**

Este comando indica cuánto caudal se envía cómo máximo por dicha salida cuando se cumple la condición anterior.

### Capacidad del embalse

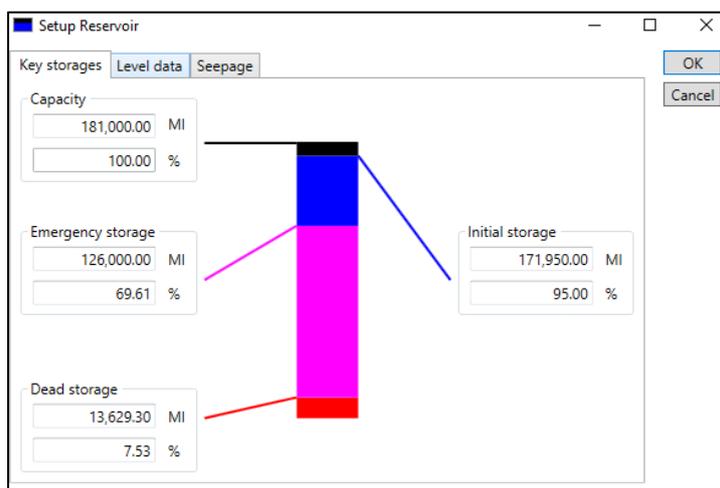


Imagen 45 Setup embalse

Cómo puede verse en la ilustración [Imagen 45], este componente cuenta con una ventana de setup donde pueden parametrizarse las capacidades del mismo. En los distintos valores que se pueden introducir se muestra el dato en cantidad de millones de litros o en porcentaje. Ambas ventanas de cada mismo valor se encuentran relacionadas, ajustándose automáticamente una si se introduce el valor en la otra.

#### 5.1.17 División

El componente división bifurca un enlace ascendente en la red de suministro en dos enlaces descendentes. Dado que todas las demandas de agua en el suministro viajan de red aguas arriba no hay requisitos o facilidades para una regla que rige la relación de flujos en los brazos aguas abajo.

#### 5.1.18 Cese de caudal

El componente de cese de caudal se utiliza para terminar un río y sirve para acumular agua saliendo del sistema de recursos que de otro modo sería en paradero desconocido. Todos los conectores del sistema deben estar conectados a algo o el sistema no se simulará.

#### 5.1.19 Trabajos de tratamiento de aguas

Este componente es una abstracción de tratamiento de aguas con costo, capacidad, pérdida y proceso opcional y retornos de agua limpia.

Los conectores de entrada y salida se pueden arrastrar desde la caja de herramientas y añadirse a la depuradora tantas veces como necesario. Conectores de salida de propósito especial para agua limpia y retornos de agua de proceso puede agregarse usando el menú contextual del botón derecho del trabajo de tratamiento de agua.

- **"Flow.Max amount "**

El caudal de agua máximo que puede tratarse.

- **"Cost.Unit cost"**
- **"Cost.Weighting"**

Configuran el coste de tratar el caudal.

## 6. Resultados de simulación

Una vez se termina de llevar a cabo una simulación es el momento de extraer los datos generados en la misma. Para ello, se pueden extraer los datos de manera directa en formato de texto o se pueden mostrar por pantalla mediante gráficas.

Cada vez que se ejecuta la simulación se crea un archivo de modelo simulado que puede encontrarse en el esquema de árbol a la izquierda de la pantalla. En él se incluye el registro de simulación, el resumen de rutas, los resultados de la simulación y todas las gráficas que se hayan configurado. En la ilustración [Imagen 46] puede verse un ejemplo de registro de simulación.

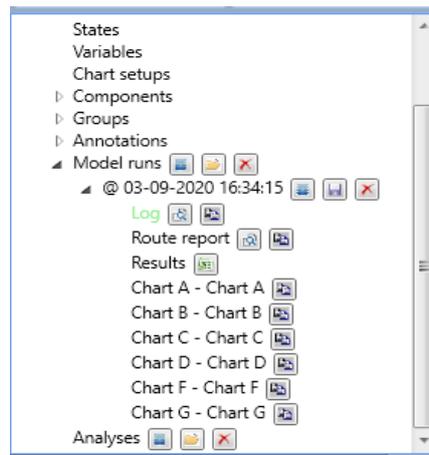


Imagen 46 Ejemplo de simulación ejecutada

### 6.1 Extracción de datos.

Mediante el icono situado a la derecha de *Results* se abre un desplegable en el que se puede exportar los datos de dicha simulación. Dicho menú puede verse en la ilustración [Imagen 47].

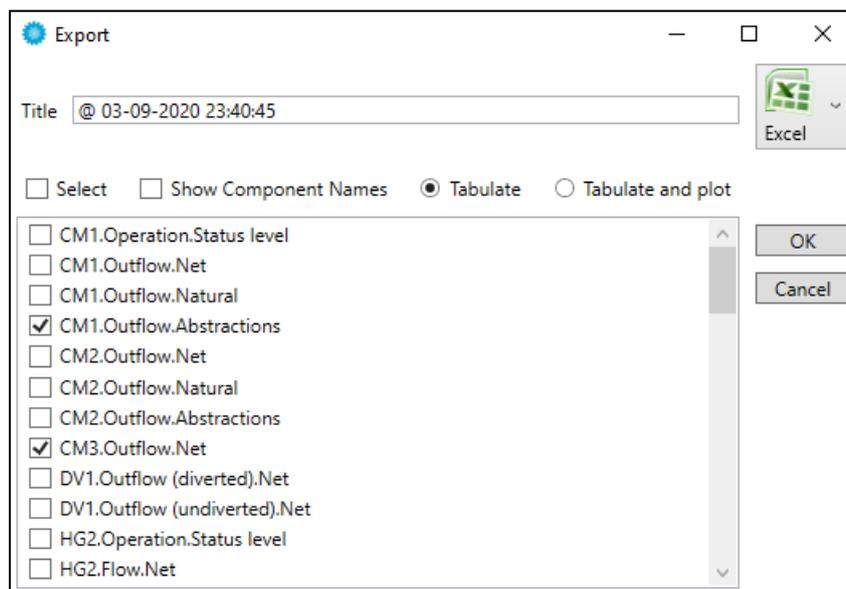


Imagen 47 Menu de exportación de datos

Los archivos que se crean con los datos pueden ser en formato Excel o en formato txt. Al exportar los datos es necesario hacer click en las variables que interesan, pues todas las variables aparecen listadas por orden según los componentes a los que afectan. Mediante las opciones superiores se puede elegir mostrar en pantalla los componentes de cada variable y seleccionar todas a la vez.

## 6.2 Gráficas

Para crear gráficas es necesario abrir el menú Setup Charts [Imagen 48], que se puede abrir haciendo click en la barra superior. Nada más abrirlo surge una lista de todas las gráficas que se han creado ya, junto a las variables que contiene y el tipo de línea que lo representa.

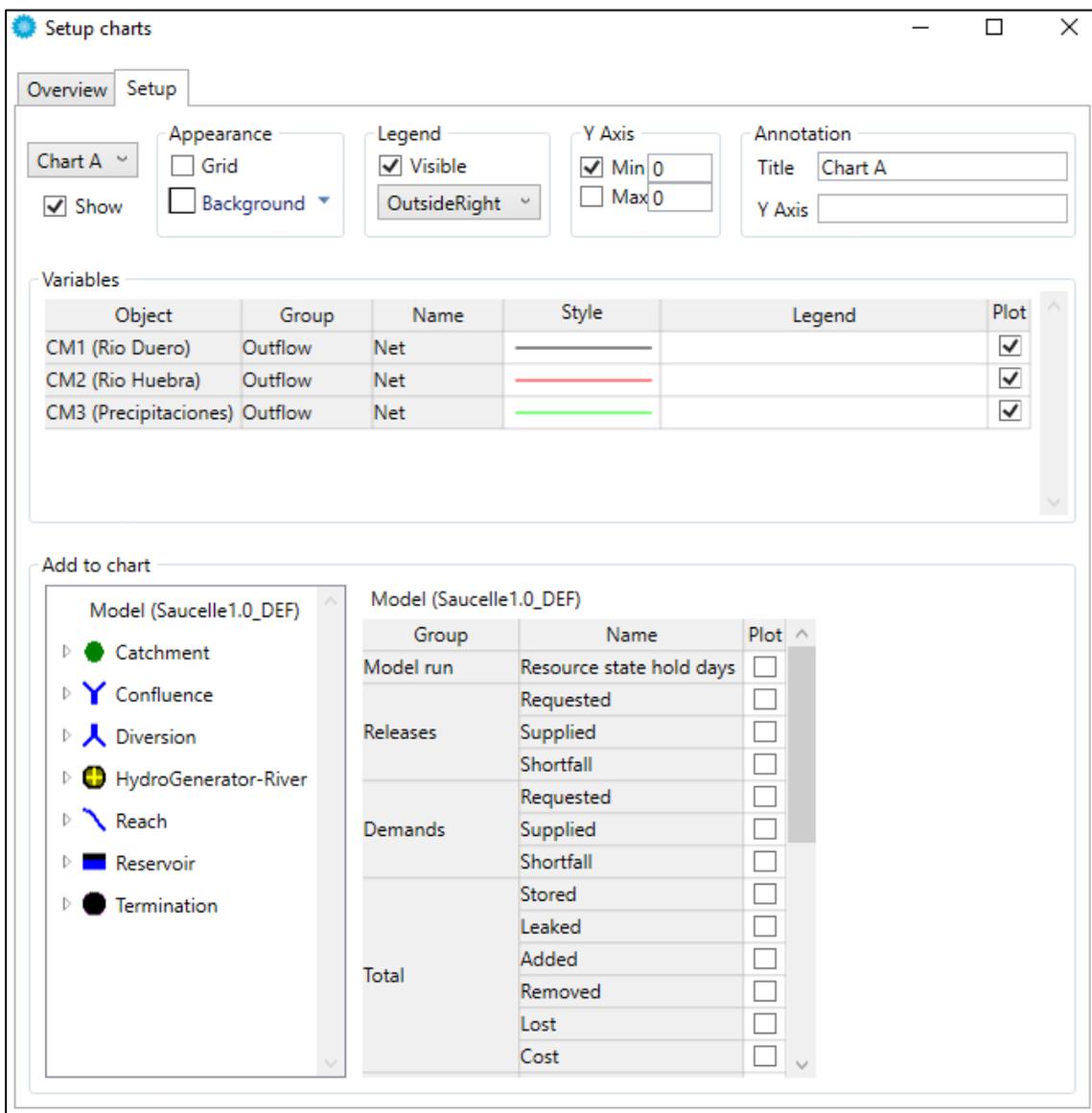


Imagen 48 Setup Charts

Para crear cada una gráfica hay que elegirla del panel desplegable, como el de la ilustración [X], donde se nombran con una letra del abecedario cada una. En la parte superior del panel se configuran los aspectos estéticos de la misma. En la parte inferior se seleccionan las variables

que se quiere que aparezcan en la gráfica, desplazándose por los diferentes componentes y haciendo click en las variables deseadas, en la columna plot.

Haciendo click en la columna *Style* de cada variable se puede cambiar el color, tipo de línea, grosor, etc. tal y como se muestra en la siguiente ilustración [imagen 49].

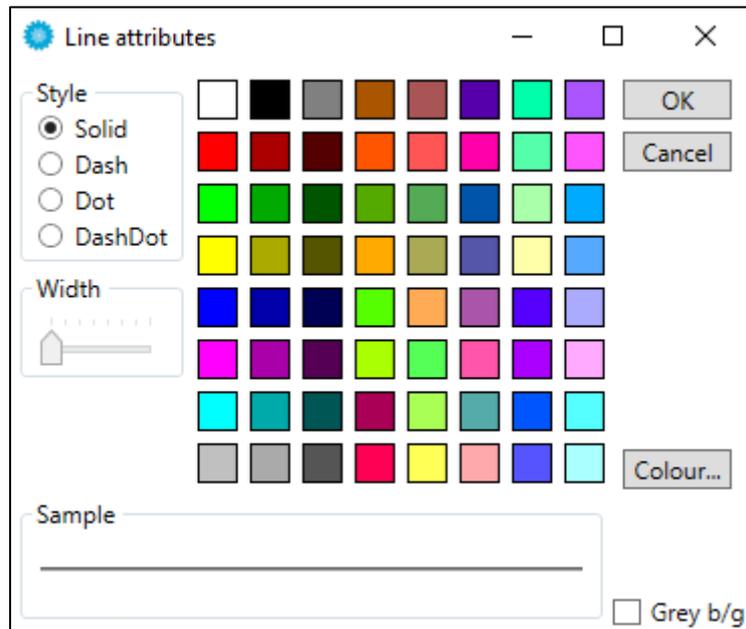


Imagen 49 Opciones de línea

Las gráficas creadas se pueden visualizar por pantalla haciendo click sobre el nombre de cada una en el esquema de árbol, como en la ilustración [XX].

## 7. Sistemas de análisis

Aquator cuenta con sistemas de análisis que pueden implementarse mediante la pestaña Analyser, en la barra superior. En esta guía solo se incluye un pequeño resumen de cada uno, sin entrar a detallar su funcionamiento.

### 7.1 Deployable output – English and Welsh method

El propósito de este analizador es determinar el rendimiento o la salida desplegable (DO) de un sistema de recursos hídricos utilizando el método utilizado en Inglaterra y Gales. El método implica establecer una mínima y una máxima demanda general en una zona de recursos y aumentar la demanda hasta que se encuentra un fallo. El DO del sistema se define como la demanda que se encuentra justo por debajo de la demanda que causa una falla.

Este analizador permite especificar el incremento de demanda así como el rango que se debe ser estudiado. Usando las fechas de ejecución ya especificadas para el modelo, hay una ejecución de modelo para cada demanda general, comenzando con la demanda mínima. Los centros de demanda que van a tener sus demandas escaladas durante el análisis son especificados.

Estas demandas luego se escalan, manteniendo la misma demanda relativa entre centros de demanda individuales de modo que el total sea igual al total general para una ejecución de modelo en particular.

Especificar los centros de demanda de esta manera permite contar con otros centros de demanda que mantienen su demanda constante para cada una de las ejecuciones del modelo. Estos centros de demanda pueden estar presentes en el modelo para representar otros usos como centrales eléctricas o demandas fuera de la zona de recursos.

### 7.2 Risk analysis

El propósito de este analizador es ayudar con el funcionamiento de los sistemas de recursos hídricos durante el próximo año mediante el cálculo de dos tipos de riesgo.

El primero es el riesgo de que cada nivel de restricción de la demanda dure un número de días del próximo año. El segundo es el riesgo de embalse el almacenamiento está por debajo de cierto nivel en cualquier día del año siguiente.

El primer tipo de riesgo se aplica a las restricciones de demanda generadas por el ahorro de demanda grupos.

### 7.3 River flow analysis

Este analizador lleva a cabo técnicas estándar de análisis hidrológico en serie de flujo. Se admiten dos técnicas: curva de duración del flujo (FDC) y análisis de baja frecuencia de flujo (LFF).

El análisis de frecuencia de flujo tiene aplicaciones similares a la duración del flujo análisis. Ambos ayudan a cuantificar el régimen de bajo caudal de un río. La técnica de frecuencia de flujo es más adecuada para describir eventos raros con retorno períodos de 10 a 25 años porque la frecuencia se expresa en términos de rendimiento período de años.

En Aquator, ambas técnicas pueden operar con datos de series temporales almacenados en la base de datos y en los resultados de la ejecución del modelo. Además, ambas técnicas también apoyan el análisis de más de una serie a la vez.

Por ejemplo, es posible producir un solo gráfico que muestra dos o más curvas de duración del flujo para el flujo modelado generado a partir de una serie de ejecuciones de modelos. El análisis de la duración del flujo da el porcentaje de tiempo que un valor de flujo particular es igualado o superado.

## Anexo I. Errores más frecuentes

- **Al cargar el modelo desaparecen enlaces entre piezas y no aparecen en pantalla los conectores de algunos componentes.**

Este error surge cuando existe una incongruencia entre el idioma o la hora del ordenador donde se ejecuta Aquator y el propio programa. Para solucionarlo es necesario poner el sistema operativo en idioma inglés de Reino Unido y poner la hora de Londres. (GMT +0)

- **Al cargar el modelo aparecen partes de la pantalla en negro o gris, como la parte de la miniatura o el esquema en árbol.**

Se trata de un error ocasionado por la misma razón que el anterior, y la solución es idéntica.

- **No se crean modelos o no se guardan al crear copias alternativas de modelos ya creados.**

Emplear signos de puntuación con la configuración del en español produce errores en algunas ocasiones al nombrar ficheros. Se recomienda emplear la configuración inglesa del teclado o evitar usar este tipo de caracteres al nombrar elementos.

- **No cargan correctamente los colores de los menús.**

Este error puede corregirse cambiando el *theme* de Aquator en la barra de acceso rápido (*Quickbar*) a otro cualquier y volviendo al anterior.

- **Se desplazan muchas piezas del modelo al mismo tiempo al arrastrar una sola.**

A veces se quedan seleccionadas varias piezas al hacer click en ellas. Antes de ir a mover una pieza se puede hacer click en una parte vacía del modelo para limpiar la selección.

- **No aparecen datos en las gráficas.**

La principal causa de este error es que no haya concordancia entre las fechas de simulación y las fechas de las series de tiempo introducidas en la base de datos.

- **El programa se cierra sin previo aviso al bloquearse.**

No se ha encontrado solución a este problema.