



Received: 03/10/2021

Accepted: 14/10/2021

Anales de Edificación

Vol. 7, Nº3, 20-25 (2021)

ISSN: 2444-1309

Doi: 10.20868/ade.2021.4971

## Aplicación de BIM a la modelización de una presa arco. BIM Application to an Arch dam modeling.

Alexandro Cortijo García<sup>a</sup>, María Amelia de Miguel-Sin Monge<sup>a</sup>, Jesús Rodríguez Gamero<sup>a</sup>, Marcos García Alberti<sup>b</sup>, Antonio Alfonso Arcos Álvarez<sup>c</sup>

<sup>a</sup>MSc. Civil Engineer, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid (UPM) alexandro.cortijo.garcia@alumnos.upm.es; ma.demiguel-sin@alumnos.upm.es; jesus.rgamero@alumnos.upm.es.

<sup>b</sup>Departamento de Ingeniería Civil: Construcción ETSI Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid. marcos.garcia@upm.es

<sup>c</sup>Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno ETSI Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid. antonio.arcos@upm.es

**Resumen-- Building Information Modelling (BIM) es una metodología de trabajo basada en la modelización 3D que ofrece a los profesionales involucrados en los proyectos la información y herramientas necesarias para planificar, diseñar, construir y gestionar edificios e infraestructuras. El objetivo principal de este proyecto es el empleo de la metodología BIM para llevar a cabo la modelización de una presa arco-gravedad, partiendo para ello de la superficie de la cuenca y la geometría de la presa en cuestión. Es importante destacar que, según la literatura científica consultada, se trata de una de las primeras experiencias BIM dedicadas a este ámbito de la ingeniería civil, las presas. Esto es todavía más relevante al haber tenido en cuenta su auscultación. En primer lugar, se procedió a modelizar el conjunto presa - terreno. Para ello, se comenzó llevando a cabo la excavación y cuantificación del volumen de tierras necesario para la cimentación de la presa mediante el software de Autodesk, Civil 3D. A continuación, se modeló en Revit la presa arco de considerables dimensiones. Tras representar cada uno de los bloques que conforman la presa, se definieron las galerías y el aliviadero, de labio fijo y perfil creager. Para la gestión de la presa, y de cara a la explotación, se distinguieron diferentes aparatos de auscultación. Mediante DYNAMO se parametrizaron dichos aparatos y se les asoció una serie de datos y resultados en una hoja de cálculo. De esta forma, se hace posible visualizar la evolución de las medidas tomadas a lo largo de su vida útil y en cada una de las horas fijadas, representando gráficamente los valores obtenidos. Finalmente se empleó la aplicación InfraWorks para poder integrar el terreno y la presa arco para la presentación de la solución final.**

**Palabras clave—** BIM; Dynamo; Presa arco-gravedad; Auscultación.

**Abstract— Building Information Modelling (BIM) is a working methodology based on 3D modelling that provides professionals involved in projects with the information and tools necessary to plan, design, construct and manage buildings and infrastructures. The main objective of this project is the use of BIM methodology to carry out the modelling of an arch-gravity dam, starting from the surface of the basin and the geometry of the dam in question. It is important to highlight that, according to the scientific literature consulted, this is one of the first BIM experiences dedicated to this field of civil engineering, dams. This is even more relevant as its auscultation has been taken into account. First, the dam-terrain complex was modelled. To do this, we began by excavating and quantifying the volume of earth required for the dam foundations using Autodesk's Civil 3D software. Next, the arch dam of considerable dimensions was modelled in Revit. After representing each of the blocks that make up the dam, the galleries, and the spillway, with a fixed lip and creager profile, were defined. For the management of the dam, and with a view to its operation, different auscultation devices were distinguished. These devices were parameterised using DYNAMO and a series of data and results were associated with them in a spreadsheet. In this way, it is possible to visualise the evolution of the measurements taken throughout their useful life and at each of the set times, graphically representing the values obtained. Finally, the InfraWorks application was used to integrate the terrain and the arch dam for the presentation of the final solution.**

**Index Terms—** BIM; Dynamo; Arc-gravity dam; Auscultation.

A.C., M.A.M. and J.R. are students in civil engineering at Escuela Técnica superior de Ingeniería de caminos, canales y puertos at Universidad Politécnica de Madrid. M.G is associate professor from Departamento de Ingeniería civil: Construcción at Escuela Técnica superior de Ingeniería de caminos, canales y puertos from Universidad Politécnica de Madrid.

A.A. is associate professor from Departamento de Ingeniería y Morfología del terreno at Escuela Técnica superior de Ingeniería de caminos, canales y puertos from Universidad Politécnica de Madrid. Campus, Calle del Prof. Aranguren, 3, 28040 Madrid.

## I. INTRODUCCIÓN

EL objetivo principal de este proyecto es el empleo de la metodología BIM para llevar a cabo la modelización de una presa arco (Moreno Bazán, 2020). De esta forma se obtiene un único modelo que contenga información y se pueda emplear tanto en la construcción como en la explotación de la infraestructura en cuestión.

Como base de partida, se contó con la geometría de la presa y del terreno proporcionado por el profesor D. Miguel Ángel Fernández.

El modelo y la base de datos asociada a él permiten automatizar las siguientes tareas:

1. Generación del proceso constructivo de la presa, que incluye la modelización del terreno, la modelización de la presa y la asignación de fases de construcción a cada tongada.
2. Gestión y Explotación. Con el objetivo de poder emplear el modelo de cara a la explotación de la presa, se ha elaborado una base de datos relacionada con los elementos de auscultación de esta, que se detallará más adelante (Pavón, 2020, 2020).
3. Valoración de la ejecución: Elaboración del presupuesto (Aymer, 2020).

## II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Para la elaboración del trabajo se han empleado diferentes softwares informáticos:

### A. Revit

Revit es un software perteneciente a Autodesk que se utiliza para el modelado BIM. Permite visualizar en tres dimensiones proyectos de ingeniería o arquitectura previos a ser construidos. Asimismo, permite comprobar si el diseño funciona correctamente, así como conocer en qué puede fallar y en qué necesita mejorar. En este proyecto se ha utilizado Revit para modelar la presa, permitiendo conocer el volumen de hormigón necesario en cada fase, así como el volumen total empleado en la construcción.

Adicionalmente, desde Revit se ha empleado Dynamo, que es un entorno de programación visual que se puede asociar a diferente software para conseguir un diseño paramétrico

fundamentalmente geométrico y matemático que permite también interactuar con los elementos y parámetros propios de diferentes aplicaciones.

### B. Global Mapper

Global Mapper es una aplicación SIG que combina una gama completa de herramientas de procesamiento de datos espaciales con acceso a una gran variedad de los formatos de datos. Es entre otros una herramienta de procesamiento LIDAR.

### C. Civil 3D

Civil 3D es un software de Autodesk utilizado generalmente en la ingeniería civil. Se trata de una herramienta de diseño y cálculo muy útil en el desarrollo del diseño de carreteras, movimientos de tierras y replanteos.

En este proyecto se ha utilizado civil 3D para realizar la huella de la presa en el terreno y así poder cuantificar el movimiento de tierras necesario para la construcción.

### D. Presto

Presto es un programa a partir del cual se crean presupuestos, gestionan mediciones, tiempos y costes utilizado en la arquitectura e ingeniería civil.

Gracias a los volúmenes obtenidos tanto en Revit como en Civil 3D, del movimiento de tierras, hormigón y aparatos de auscultación, se puede obtener en Presto el presupuesto total de la obra.

### E. Infracworks

InfraWorks es un software de Autodesk muy utilizado en la planificación y diseño de infraestructuras. Facilita la integración del diseño de infraestructuras en un entorno real.

En este proyecto se utiliza Autodesk InfraWorks para integrar el terreno, la presa y el embalse.

El desarrollo del proyecto se ha llevado a cabo siguiendo el procedimiento explicado a continuación:

### F. Modelado del terreno.

El modelado del terreno consiste en generar una superficie representativa del terreno conforme a unas curvas de nivel taquimétricas originales (Fig. 1.).

Inicialmente se obtuvo la altimetría del terreno mediante el

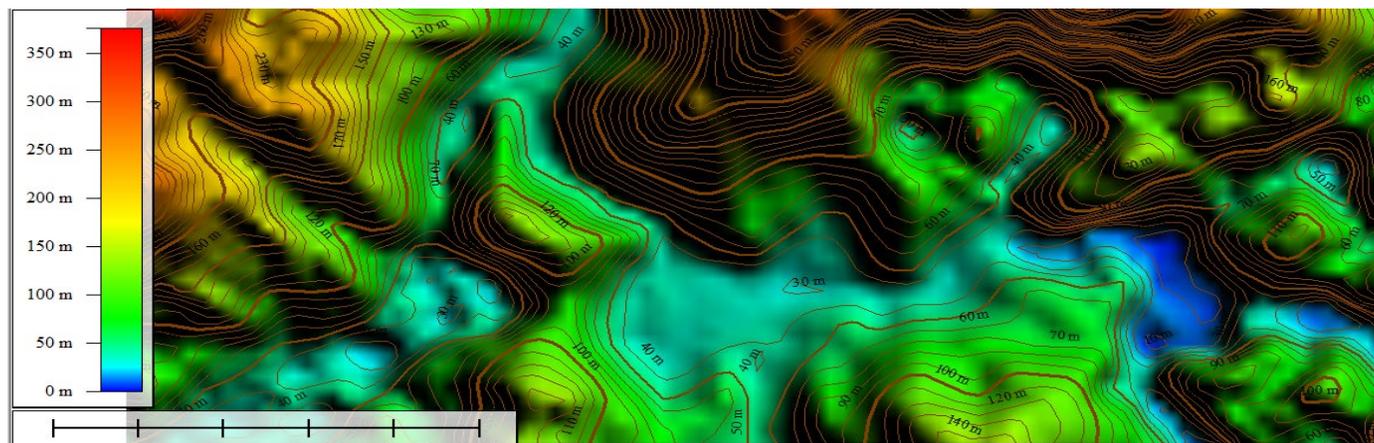


Fig. 1. Terreno inicial extraído del software Global Mapper (Fuente: Elaboración propia).

programa Global Mapper que permitió exportar en formato dwg las curvas de nivel del lugar en el que se sitúa la cerrada junto con una previsión del embalse a la cota NMN, Nivel Máximo Normal; que es de 55 metros.

Tras una primera actuación con el modelado del terreno, dada la cantidad de información, se optó por tomar un recorte de la zona donde posteriormente situaremos la presa para facilitar el trabajo y se ha descartado el resto de la cuenca.

Ya que la presa es arco bóveda se realizó una primera y única aproximación conforme a la huella de la coronación de 62,5 msnm a partir de un replanteo efectuado en Autocad conforme a una elipse (polilínea) que, se consideró, se adecua a la cerrada. A posteriori se estableció una cota de cimentación más profunda que la del propio terreno en sí, situándose esta cimentación a la cota 6,5 msnm.

Finalmente, para el modelado del terreno de la presa, se tuvo en cuenta la huella de la propia presa (shape) que se ha colocado sobre el terreno en su debida posición y se generó el movimiento de tierras conforme a unos taludes 3:2 ya que se valoró un terreno duro (matriz rocosa o similar) que permite unos taludes elevados.

Para la obtención del movimiento de tierras se generó un alineamiento aprovechando el replanteo de la coronación (polilínea) en el que se trazaron varios perfiles transversales y se generaron los movimientos de tierras correspondientes a la cota de cimentación si bien existe un pequeño relleno en el estribo derecho.

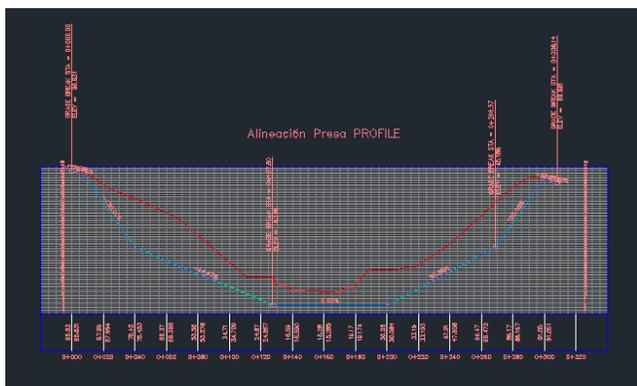


Fig. 2. Alineación de coronación de presa en Civil 3D (Fuente: Elaboración propia).

Para algunos de los pasos aquí seguidos se visionaron varios videos del canal de Youtube del Ingeniero topógrafo Dr. Aymer Delio Valencia Valencia, profesor de la Universidad Libre de Colombia además de la ayuda del profesor de la asignatura D. Antonio Alfonso Arcos.

**G. Modelado de la presa.**

Uno de los objetivos del proyecto es definir el proceso constructivo. La presa arco se hormigona en bloques de en torno a los 15 metros de ancho y una altura de tongada de 2 metros. Se comenzó creando cada uno de los bloques de la presa en base a las dimensiones en planta, obteniendo la figura que se muestra a continuación.

Para ello se empleó la herramienta de “creación de masa in situ”, ya que Revit no tiene los elementos necesarios ya creados (Fig. 3).

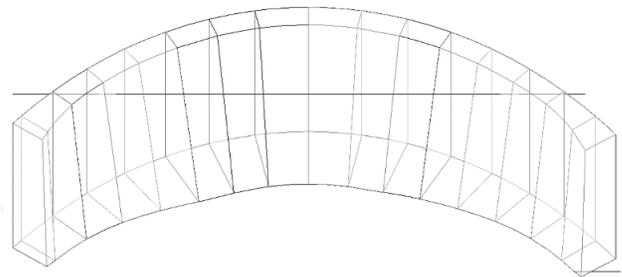


Fig. 3. Bloques iniciales (Fuente: Elaboración propia).

TABLE I  
ANCHURA DE CADA UNO DE LOS BLOQUES

Nombre del bloque	Anchura (m)
B16	4.16
B14	15
B12	15
B10	15
B8	15
B6	15
B4	15
B2	17
B1	17
B3	15
B5	15
B7	15
B9	15
B11	15
B13	15
B15	10.26

Posteriormente, conociendo la cota de cimentación de la base de cada uno de los bloques creados, se procedió a cortar cada uno de ellos individualmente. De esta forma, se llegó a la geometría que se muestra en la Fig. 4.

A continuación, se procedió a elaborar las galerías y el aliviadero. La presa consta de 3 galerías:

- Las galerías media y alta, a cotas 28 metros y 42.56 metros respectivamente, se encuentran 2 metros del talud vertical de aguas arriba y tienen una sección de 3 metros de altura y de ancho acabada en un arco de 1,50 metros de radio.
- La galería baja tiene unas dimensiones diferentes, se encuentra a la cota de 9 metros y a una distancia de 3 metros del talud vertical de aguas arriba con una sección de 2,5 metros de altura y de ancho acabada en un arco de 1,25 metros de radio.

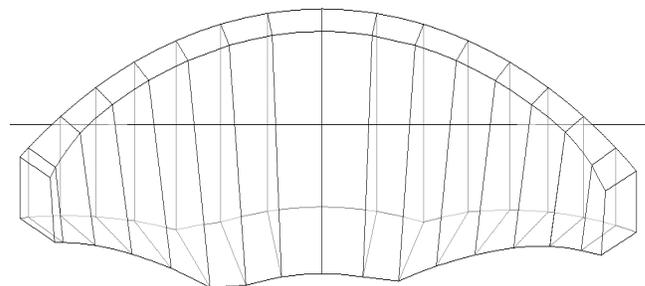


Fig. 4. Bloques con corte del terreno (Fuente: Elaboración propia).

La galería baja, también se le denomina galería perimetral, ya que va siempre a 3 metros del terreno y conecta con el exterior a través de los estribos y con las galerías media y alta.

Tras el diseño de galerías en Revit, se diseñaron las pilas y el aliviadero. El aliviadero es único, es decir, la presa no consta de un aliviadero auxiliar o de emergencia y se sitúa en los bloques centrales de la presa.

Se trata de un aliviadero de labio fijo con perfil CREAGER, donde descarga el agua con un paramento variable aproximado de 1H:2V, hasta que produce un salto al final de él a la cota de 36 m. El aliviadero se compone de 6 pilas de 13 metros de altura y 5 compuertas de 6x6m desde la cota NMN, Nivel Máximo Normal; de 56,50 metros hasta el NAP, Nivel de Avenida de Proyecto; de 62,50 metros (Fig. 5).

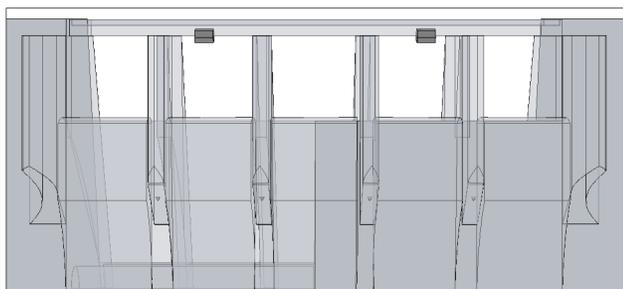


Fig. 5. Pilas aguas arriba de la presa (Fuente: Elaboración propia).

H. Fases de construcción

Sobre el modelo anterior, se generaron distintos niveles cada dos metros desde la cimentación, a cota +6.00m, hasta llegar a la cota de coronación de la presa a la cota +62.50m. En total, la presa se divide en 16 bloques con 28 tongadas los de mayor altura.

Usando la herramienta de “suelos de masa”, se cortaron cada uno de los bloques con los niveles creados, obteniendo un total de 334 suelos de masa.

Para poder asignarle una fase de construcción a cada uno de los suelos de masa, debemos tener en cuenta una serie de factores, como la estabilidad de los bloques, la disipación del calor de hidratación, el desvío del río y el tiempo de endurecimiento necesario del hormigón. Para resolver la desviación del río se ha creado una especie de galería que atraviesa el bloque 1 de la presa.

La máxima capacidad de hormigón al día considerada se corresponde con el volumen de la mayor tongada. En este caso corresponde a la primera tongada del bloque 2. La capacidad máxima de hormigonado se ha fijado en torno a 700 m<sup>3</sup>.

Para poder asociar cada suelo de masa a cada fase de construcción se obtuvo una “tabla de planificación” en el modelo creado en Revit. De esta forma, se puede obtener el volumen de cada tongada. Realizando una serie de cálculos empleando el programa Excel, se llegó a una programación de hormigonado aproximada.

El aliviadero se añadió como la última fase de construcción. Por tanto, para la asignación de suelos de masa a cada fase de construcción, se ha trabajado con el modelo mostrado en la Fig. 6.

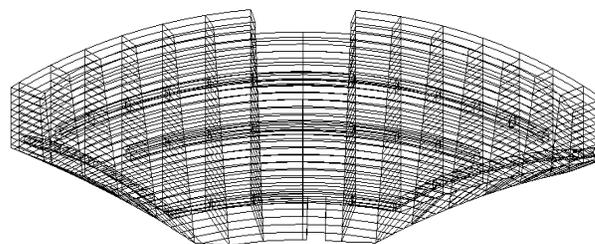


Fig. 6. Modelo de asignación de suelos de masa a cada fase de construcción (Fuente: Elaboración propia)

I. Explotación

Se decidió incluir la posibilidad de usar el modelo en el proceso de explotación de la presa, ya que es una de las características por las que destaca la metodología BIM. Para ello, sobre el modelo de la presa se han creado una serie de familias sencillas para simular la existencia de cada uno de los elementos de auscultación.

TABLE II  
FAMILIAS DE ELEMENTOS INCLUIDOS EN EL DISEÑO DE LA PRESA DE ARCO

	Piezómetros de cuerda vibrante
	Temómetros
	Medidores tridimensionales de juntas
	Aforadores thompson
	Puntos de nivelación
	Limnógrafo digital
	Extensómetro de varillas
	Péndulo directo
	Péndulo inverso

Al crear distintas familias es posible asignarle a cada ejemplar los datos deseados. En este caso la intención ha sido usar la herramienta DYNAMO de Revit para obtener en un Excel la identificación de cada aparato, la marca, el modelo, la fecha de próxima calibración y la medición proporcionada a distintas horas del día. De esta forma, es posible visualizar la evolución de las medidas en cada una de las horas fijadas representando gráficamente los valores obtenidos.

Para la programación en DYNAMO, se empleó el paquete “BimorphNodes” para extraer información del modelo. Inicialmente, desde Revit se extraen las familias que se desean exportar. Dentro de la lista de todas las tablas de planificación, la 22 es la que se quiere exportar a Excel. El nodo “Schedule.GetData” (Fig. 7), perteneciente al paquete empleado, extrae toda la información de la tabla seleccionada anteriormente. Finalmente, con la herramienta “Data.Export.Excel”, se obtiene la tabla en el “File Path” indicado.

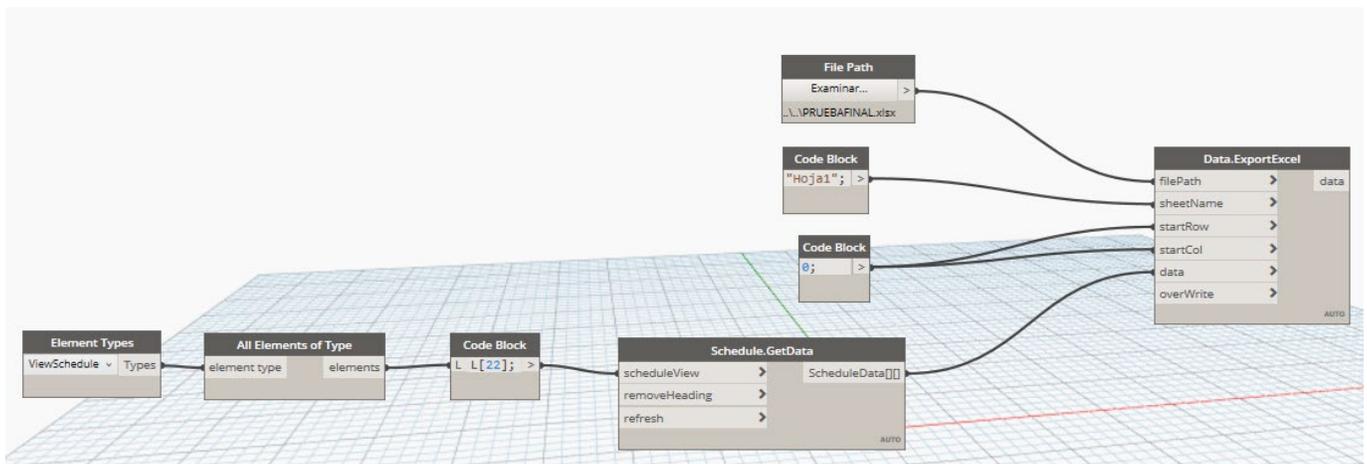


Fig. 7. Pilas aguas arriba de la presa (Fuente: Elaboración propia).

**J. Presupuesto**

Tras la modelización del terreno, el programa CIVIL 3D proporciona las mediciones del movimiento de tierras, permitiendo exportarlas a PRESTO. En cuanto a la modelización de la presa se utilizó un proceso similar desde el programa REVIT exportando el volumen (metros cúbicos) de hormigón en el cuerpo de presa, aliviadero o en el bloque de desvío del río, así como las cantidades de aparatos de auscultación.

Con estas mediciones exportadas y algunas añadidas a través del programa, para darle un valor añadido, como son el acondicionamiento medioambiental, los taladros para las inyecciones o la viga prefabricada para la construcción del aliviadero se ha llegado al presupuesto mostrado en la Fig. 8:

A modo de información, los precios empleados en los materiales se tratan de precios de ejecución material, donde la mano de obra ya está incluida en el precio. A la hora de establecer los precios también se ha tenido en cuenta un 10% del precio real dedicado a imprevistos en obra.

**K. Diseño final de la infraestructura**

Mediante el programa InfraWorks se ensamblaron las distintas piezas. Por un lado, el terreno final exportado desde Civil 3D se realizó en formato xml pues ha resultado el óptimo

en términos de renderizar; y sobre el que se le ha insertado una sencilla ortofoto desde BingMaps. Para la colocación de la presa en su emplazamiento exacto se optó por exportar la presa desde el programa REVIT en formato IFC pues es el más manejable en lo que se refiere al peso de los archivos.

Tras este paso se procedió a implementar una serie de ornamentos que mejoran la visibilidad del producto final, y que son: el río restante fruto del previsible caudal ecológico que emana del desagüe de fondo, la masa de agua del embalse a cota NMN, Nivel Máximo Normal; una carretera de acceso a la presa con una intersección para acceder a estribo lateral y coronación y dar un camino de servicio al personal de explotación y mantenimiento de la presa, arbolado en las montañas, un puente que cruza un pequeño valle y finalmente se han incorporado un coche y una pequeña embarcación. Todo ello para dar un toque de realismo al modelado 3D.

La carretera es de dos carriles de 2,5 metros cada uno y posee una velocidad de proyecto de 30 km/h. Se ha intentado que los acuerdos verticales tuvieran una pendiente inferior del 8% pero no ha sido posible en la totalidad del trayecto. El puente ha sido ensamblado posteriormente.

Finalmente se elaboró un video que muestran un pequeño recorrido de la presa y su entorno más próximo para poder tener una revisión visual del modelo y que se hiciera visible la intención del proyecto.

**RESUMEN DE PRESUPUESTO**

**PRESA ARCO**

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE	%
01	01 - Movimiento de tierras .....	673.277,02	9,44
02	02 - cuerpo de presa .....	5.451.076,76	76,46
03	03 - Aliviadero .....	340.840,36	4,78
04	04 - Auscultación .....	237.395,08	3,33
05	05 - Desvío del río .....	41.377,13	0,58
06	06 - Acondicionamiento medioambiental .....	385.757,93	5,41
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>		<b>7.129.724,28</b>	
10% IVA .....		712.972,43	
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>		<b>7.842.696,71</b>	

Asciede el presupuesto a la expresada cantidad de SIETE MILLONES OCHOCIENTOS CUARENTA Y DOS MIL SEISCIENTOS NOVENTA Y SEIS EUROS con SETENTA Y UN CÉNTIMOS

Fig. 8. Resumen del presupuesto (Fuente: Elaboración propia)

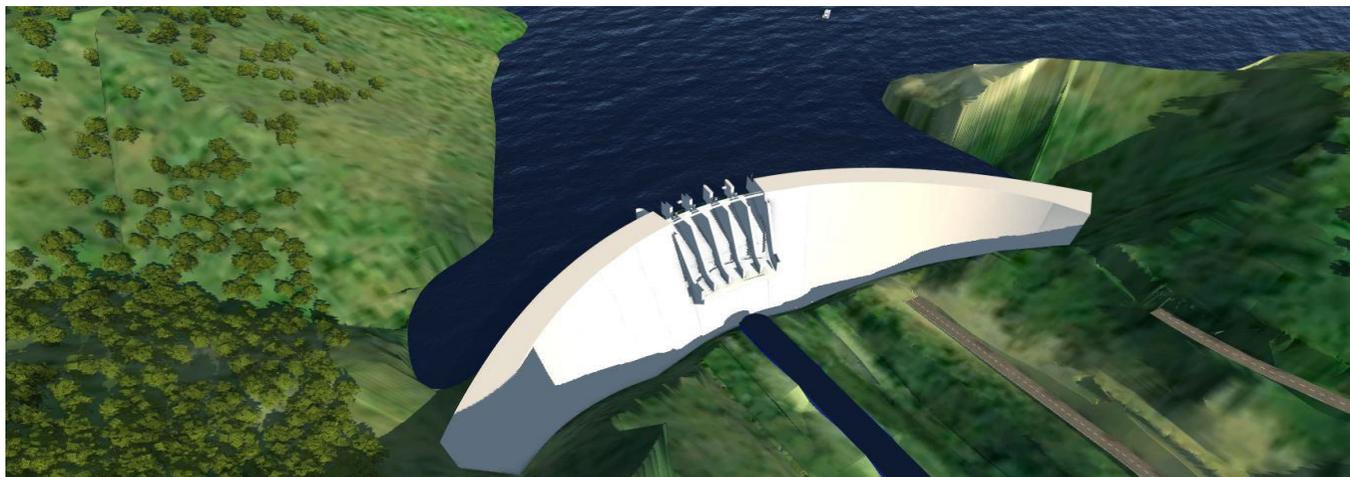


Fig. 9. Representación de la presa. (Fuente: Elaboración propia)

### III. RESULTADOS

El resultado del proyecto se basa en la obtención de la modelización de la presa en REVIT, la excavación del terreno en CIVIL 3D y el presupuesto en PRESTO. Además, a través del complemento de REVIT DYNAMO, se ha conseguido relacionar el modelo con la medición de los distintos aparatos de auscultación mediante una hoja de Excel.

Por otro lado, con InfraWorks se ha obtenido la integración de la presa en el entorno, como se muestra la Fig. 9.

### IV. CONCLUSIONES

Con este trabajo se ha demostrado que es posible emplear herramientas creadas para otro tipo de construcciones en la modelización de infraestructuras, como es este caso, de la presa arco-gravedad.

El trabajo realizado en la presa arco, además de ser un modelado 3D, con una perspectiva más exacta del producto final, tiene las siguientes ventajas:

a) Cuantificación: con ello utilizamos datos de propiedades de modelado para automatizar o simplificar el proceso de cómputo de cantidades. La información proporcionada por la herramienta de cubicación se puede importar o vincular al software de estimación de costes. En nuestro caso son los volúmenes de movimiento de tierras, así como los bloques de hormigón de la presa que van directamente al PRESTO mediante la herramienta Cost-it.

b) Planificación 4D: permite al equipo de proyecto aprovechar el modelo de proyecto para analizar plazos y las secuencias de construcción. Esto se ha reflejado asignando fases de construcción en el programa REVIT.

c) Auscultación: mediante la generación de hojas de cálculo desde los aparatos de auscultación incluidos en el modelo, se puede llevar un seguimiento del proceso de explotación de la presa.

Con todo esto, podemos definir la modelización BIM de la presa arco como un proyecto de construcción inteligente que, a

diferencia de un proyecto de construcción tradicional, tendrá un aumento de la productividad, eficacia y mejora de la toma de decisiones, teniendo una mejor coordinación, gestión, diseño y costes.

El trabajo realizado abre las puertas a implementaciones adicionales que pueden mejorar aún más los procesos de construcción y explotación.

Así pues, futuros desarrollos pueden consistir en conectar las bases de datos de auscultación (hojas Excel) de forma automática con los aparatos de auscultación mediante procedimientos de IoT.

Igualmente puede ligarse el modelo a aplicaciones externas de fuentes de información meteorológica o hidrográfica para la mejora de la explotación y la gestión de la seguridad de la infraestructura.

Es importante destacar, que se trata de un trabajo pionero en el estudio de las posibilidades de BIM para la ingeniería de presas. Futuros desarrollos junto con este trabajo muestran un gran campo de desarrollo futuro de la metodología BIM dentro de la Ingeniería de Presas.

### REFERENCES

- Aymer Delio Valencia Valencia.  
<https://www.youtube.com/channel/UCbui120aVq7uFcTviFvmlFg/featured>
- Moreno Bazán, Á.; Alberti, M.G.; Arcos Álvarez, A.; Trigueros, J.A. New Perspectives for BIM Usage in Transportation Infrastructure Projects. *Appl. Sci.* 2020, 10, 7072. <https://doi.org/10.3390/app10207072>
- Pavón, R.M.; Alvarez, A.A.A.; Alberti, M.G. Possibilities of bim-fm for the management of covid in public buildings. *Sustain.* 2020, 12, 1–21, doi:10.3390/su12239974.
- Pavón, R.M.; Arcos Alvarez, A.A.; Alberti, M.G. Possibilities of BIM-FM for the Management of COVID in Public Buildings. *Sustainability* 2020, 12, 9974. <https://doi.org/10.3390/su12239974>



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.