

## **(10-017) - STUDY AND EXECUTION OF IRRIGATION MULTINTAKE OF THE BELLÚS DAM CALCULATED USING FINITE ELEMENTS**

Cabañero Fernandez, Javier <sup>2</sup>; Martín Utrillas, Manuel Guzmán <sup>2</sup>; Curiel Esparza, Jorge <sup>2</sup>; Cantó Perelló, Julián <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitat Politècnica de València, <sup>2</sup> Universitat Politècnica de valència

The Bellús dam, located in the municipality of Bellús (Valencia), manages the avenues of the Albaida river and serves, in turn, as a supply reservoir. The Bellús reservoir presents eutrophication problems with episodes of algae proliferation at different times of the year. The restoration of flows from the reservoir in conditions of anoxia (without dissolved oxygen) causes bad odors, likewise, the quality of the water in the reservoir at surface levels presents acceptable dissolved oxygen conditions.

This work develops the analysis and execution of a new free-standing intake tower in the Bellús dam, 22.50 m high, with a diameter of Ø 900 mm, with 10 intakes with a diameter of Ø 600 mm spaced at different levels of the Tower with the in order to capture water at the depth at which acceptable dissolved oxygen conditions exist. It involves a particularized design using finite elements and great care in the execution in which powerful lifting means and underwater means participate.

Keywords: dam; multi-take; water quality

## **ESTUDIO Y EJECUCIÓN DE MULTITOMA DE RIEGO DE LA PRESA BELLÚS CALCULADA MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

La presa de Bellús, situada en el término municipal de Bellús (Valencia), gestiona las avenidas del río Albaida y sirve, a su vez, de embalse para abastecimiento. El embalse de Bellús presenta problemas de eutrofización con episodio de proliferación de algas según distintas épocas del año. La restitución de caudales provenientes del embalse en condiciones de anoxia (sin oxígeno disuelto) provoca malos olores, así mismo, la calidad del agua en el embalse a cotas superficiales presenta unas condiciones aceptable de oxígeno disuelto.

Este trabajo desarrolla el análisis y ejecución de una nueva Torre de toma exenta en la presa de Bellús de 22,50 m de altura, de diámetro Ø 900 mm, con 10 tomas de diámetro Ø 600 mm espaciadas a diferentes cotas de la Torre con el fin de captar el agua a la profundidad en la que exista condiciones aceptables de oxígeno disuelto. Implica un diseño particularizado por elementos finitos y un gran cuidado en la ejecución en la que participan potentes medios de elevación y medios subacuáticos.

Palabras clave: presa; multitoma; calidad agua

Correspondencia: Javier Cabañero Fernández, [jacafer@doctor.upv.es](mailto:jacafer@doctor.upv.es)



©2024 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

La presa de Bellús está situada sobre el río Albaida en Bellús (Valencia) y se terminó en 1995. La función principal es la laminación de avenidas para lo que cuenta con aliviaderos de superficie a distintas cotas.

La presa, cuenta además con una toma de agua de abastecimiento en la cara de aguas arriba de la presa para dirigir el agua a una tubería. La toma de agua de abastecimiento se hace a una cota profunda debido a la situación de las embocaduras. La toma de abastecimiento se encuentra 34 metros debajo de la coronación formada por una conducción de DN 800 mm. (SNCZI-IPE, 2022).

En embalses eutrofizados la calidad de las aguas para abastecimiento depende de la altura de captación. En embalses eutrofizados la presencia de materia orgánica produce sabores y olores que afectan a la calidad de las aguas (Suarez, 1982).

Así mismo, la presa de Bellús recoge agua de la Cuenca Alta del río Albaida, zona cuya estructura económica proviene de la industria y la agricultura. A raíz del cambio climático y las actividades humanas, la proliferación de algas en embalses tiene efectos nocivos sobre la calidad de las aguas pudiendo limitar el uso de esta (Cui et al, 2023).

El embalse de Bellús presenta problemas de eutrofización con episodio de proliferación de algas según distintas épocas del año. La calidad del agua a cotas superficiales presenta una condiciones aceptable de oxígeno disuelto. La restitución de caudales provenientes del embalse en condiciones de anoxia (sin oxígeno disuelto) provoca malos olores (CHJ, 2019).

Este trabajo desarrolla el análisis y ejecución de una nueva Torre de toma en la presa de Bellús con el fin de captar el agua a la profundidad en la que exista condiciones aceptables de oxígeno disuelto.

## 2. Objetivos

El proyecto remodela la toma de agua existente en el embalse de Bellús (Valencia) mediante el diseño y construcción de una Torre de toma de agua exenta aguas arriba del paramento de la presa, permitiendo la derivación de caudales procedentes del embalse a cotas superficiales. Con esta remodelación se pretende derivar aguas con la máxima concentración de oxígeno disuelto evitando condiciones anóxicas que desprenden malos olores,

La nueva toma de aguas mejora el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y la calidad de las aguas abajo del embalse.

## 3. Caso de estudio

La presa de Bellús (Valencia) es de tipología gravedad (hormigón vibrado) de planta recta cuyo uso principal es la laminación de avenidas del río Albaida (afluente del río Júcar por la margen derecha) (ESPAÑA-MITERD, 2023). Cuenta con 4 aliviaderos de labio fijo a la cota 155,00 msnm y con sendos aliviaderos en superficie regulados por compuertas del tipo Tainter a la cota 150,50 msnm.

A la cota 125 está la toma de agua existente que atraviesa la presa mediante una conducción de Ø900 mm. Por lo que la toma del agua se realiza a una cota profunda del embalse.

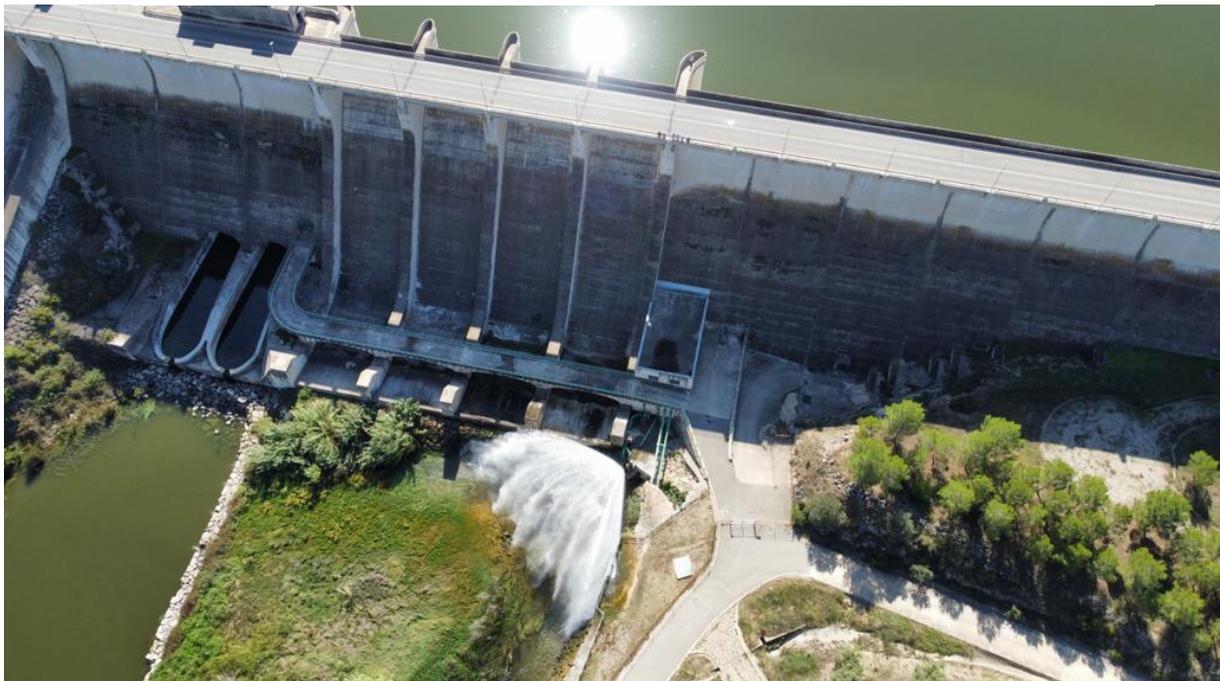
Así mismo, la masa de agua del embalse presenta proliferación de algas, más a menudo en verano, llegando a considerarse como un embalse hipertrófico. El volumen embalsado en verano disminuye desde los 25 hm<sup>3</sup> hasta los 6 hm<sup>3</sup> (Poner reseña del proyecto).

Diversas campañas de toma de datos sobre la calidad de las aguas realizada por la Confederación Hidrográfica del Júcar observaron perfiles limnológicos con las siguientes características:

- Variación de la temperatura del agua. A 5m descenso de 5°C, a 10m descenso de 10°C.
- Anoxia a los 5m de profundidad. En efecto, reducción a cero de la concentración de oxígeno disuelto a partir de los 5m.

La restitución de volumen de agua aguas abajo en condiciones de anoxia induce malos olores a las poblaciones existentes además de problemas en los ecosistemas acuáticos por la falta de oxígeno disuelto. Entre los parámetros más utilizados como índice de calidad de agua uno de los más utilizados es el oxígeno disuelto (Benitez, 2020).

**Figura 1 Vista aérea de la presa de Bellús desde aguas abajo antes del inicio de la actuación.**



### 3.1 Diseño de nueva Torre de toma

La restitución de volúmenes de agua implica realizar captaciones superficiales, por ello se diseña una Torre Multitoma de 22,50 m de altura, de diámetro Ø 900 mm, con 10 tomas de diámetro Ø 600 mm espaciadas a diferentes cotas de la Torre. La Torre MMultitoma se contempla como construcción mecanosoldada en acero AISI 316.

Las principales características de carga sobre la Torre Multitoma son:

- Cota máxima de la Torre: 151,50 m.s.n.m.

- Nivel inferior toma de agua existente en presa Bellús: 125,00 m.s.n.m.
- Carga máxima de agua: 26,50 m.

Según la norma DIN 19.704 de 2014 de estructuras hidráulicas metálicas se aplica un coeficiente de seguridad de 1,5 veces el límite elástico del material, comparación de tensión de Von Mises, considerando una presión normal de trabajo máxima de 2,65 kg/cm<sup>2</sup> que será la del diseño de los equipos.

El cálculo, abordado por elementos finitos, del coeficiente de seguridad se plantea a partir de las condiciones extremas en las que se analizan las relaciones entre las tensiones y deformaciones a carga extrema. Las condiciones de trabajos estimadas son servicio especial y la característica del acero es S275JR.

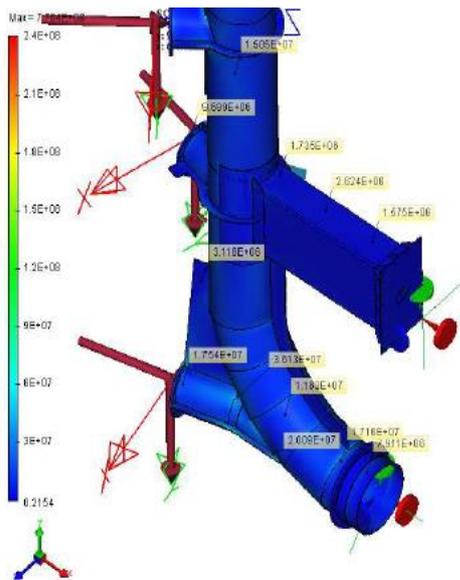
Las cargas estructurales consideradas en la realización de los cálculos han sido:

- Peso propio de la Torre Mutitoma.
- Peso propio de las válvulas y de las barras de transmisión. Cargas remotas.
- Presión hidrostática (considerada como presión de aplastamiento y como flotación de la Torre Mutitoma)
- Empujes hidrostáticos en las válvulas de toma en posición de cerradas (consideradas como fuerzas).

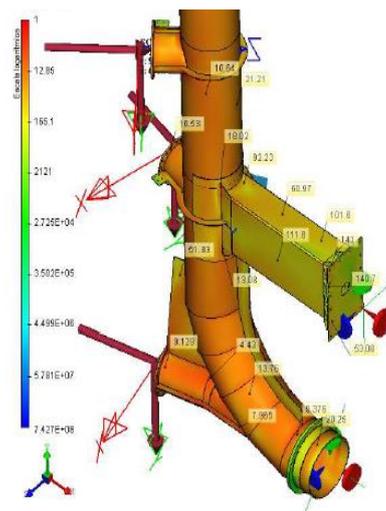
Para el diseño del modelo de elementos finitos se diseñó una malla de geometría tetraedro cuadrado con 1.090.606 número de elementos y 2.163.919 nodos.

**Figura 2. Modelización por elementos finitos.**

**a) Tensiones de Von Mises sobre la embocadura y el apoyo que sustentará la Torre Mutitoma.**



**b) Coeficiente de seguridad sobre la pieza soporte.**

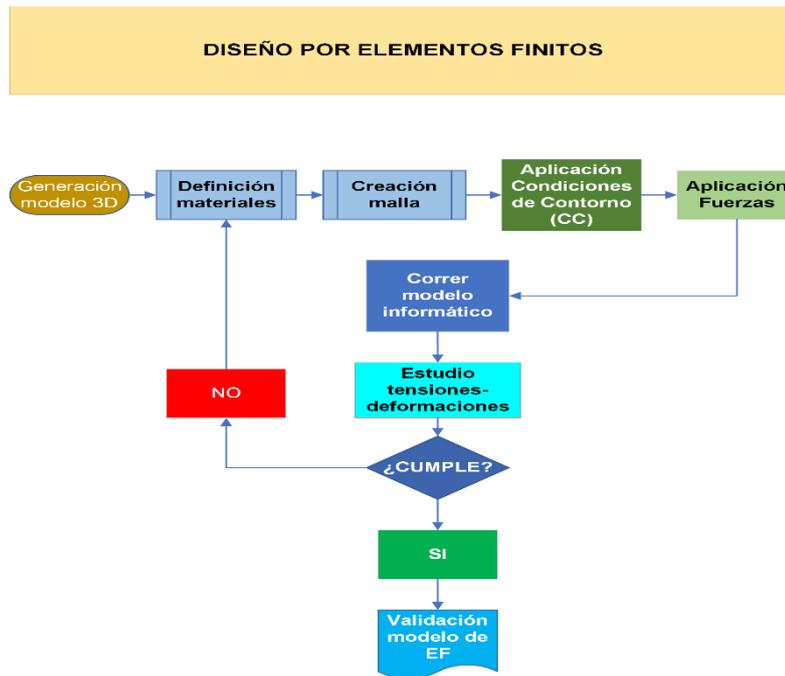


La modelización se realizó mediante el software de elementos finitos AUTOFEM (2018). El factor de seguridad se obtiene como la tensión admisible sobre el coeficiente de presión

normal de trabajo partido por 1,5. AUTOFEM calcula el estado de tensiones, procedente de una carga continua en el tiempo, en una estructura. (Cabañero,2012).Confecciona un análisis de resistencia estática lo cual es el problema que presenta la estructura de la Torre Multitoma de Bellús.

La tensión que debe resistir la Torre Multitoma debe ser inferior a la tensión de seguridad que será el límite elástico con una minoración a efectos de seguridad. Ver figura 2 (a) y 2 (b).

**Figura 3. Diagrama flujo metodología validación modelo 3D**



Se genera un modelo 3D, siguiendo el diagrama de flujo de la figura 3, incluyendo los materiales con sus propiedades elásticas, a continuación se crea la red de nodos y se aplican las prohibiciones de movimientos que aplica a la Multitoma. Inmediatamente se colocan las distintas fuerzas actuantes y se corre el modelo de elementos finitos. Las tensiones y deformaciones resultantes se estudian y si son asumibles se valida el modelo. En la hipótesis de no ser admitidos se debe reforzar las zonas con materiales de distintas propiedades elásticas.

Las tensiones en las zonas de la embocadura se estudiaron prolijamente al ser uno de los puntos de intersección con toma de la presa y por su particular geometría, figura 4, que obligaba a hacer una curva para salvar la base de la reja existente en la toma.



**Figura 5 En primer lugar la parte superior de la Multitoma, en segundo lugar la parte inferior sobre camión entrando en taller5**



### 3.4 Colocación en obra

Se trasladó en obra a través de transportes especiales autorizados por la Dirección General de Tráfico, ver figura 7, así como se solicitó permiso a Diputación de Valencia para realizar un corte total de la carretera CV-612 Bellús-Beniganim sobre la coronación de la presa de Bellús. Este corte total de carretera se autorizó para 5 días laborales.

La secuencia de operaciones fue:

- La Torre se acopia en dos mitades en la coronación de la presa, en el parking existente en la margen izquierda, ver figura 6.
- Se realiza a continuación los trabajos de ensamblaje de las dos mitades de la Torre, unión de los vástagos de accionamiento y colocación de las válvulas de compuerta con sus correspondientes rejas,

**Figura 6 Torre en aparcamiento de estribo izquierdo de presa de la presa de Bellús ya ensamblada.**



Se traslada la Torre Multitoma a su punto de instalación mediante batea extensible y cabeza tractora. Ver figura 7.

**Figura 7 Torre sobre batea extensible y cabeza tractora.**



La Torre se eleva con dos grúas, figura 8, una de ellas para la elevación, que alza la Torre mediante cadenas, y una segunda grúa que la retiene mediante eslingas o cadenas para posicionarla correctamente. Los puntos de anclaje están previamente definidos y existen en la estructura

**Figura 8. Procedimiento de izado multitoma**

**(a) Izado de Torre con dos grúas de gran tonelaje**



**(b) Torre izada en coronación**



Una vez la Torre vertical, la grúa la introduce en el agua. Ver figura 9.

**Figura 9 Introducción Torre Multitoma en el agua. Ver en coronación de presa flotadores (sacos color blanco).**



En el agua se le colocan flotadores de tipo abierto, sacos abiertos por el fondo, para reducir su peso de 15.700 kg a entre 5.700 kg a 7.700 kg con el fin de ayudar la colocación. Se procede, con ayuda de submarinistas, a colocar la Torre en su posición mediante de trácteles sumergidos y anclados al paramento de la presa. Se colocan anclajes iniciales para absorber la carga neta de la Torre, 5.700 a 7.700 kg, mediante anclajes químicos en el apoyo que ancla la Torre Multitoma a la pared. Mediante un equipo de trabajos verticales se coloca el soporte deslizante superior. Una vez la Torre Multitoma es autoportante se retira la grúa que la soporta. Se continúa con la colocación de anclajes químicos sumergidos. Una vez fraguan los anclajes sumergidos se retiran los flotadores, ver figura 10 (a). Posteriormente, se colocará la estructura superior que soporta los accionamientos de las válvulas. Antes de los soportes de las válvulas se colocarán los cardan que valgan para transmisión de movimientos circulares que aperturen las válvulas y valgan de holgura frente a movimientos verticales de las barras de transmisión provocados por los esfuerzos térmicos provocados por el soleamiento de estas. Ver figura 10 (b).

**Figura 20 Instalación torre de toma**

**(a) Torre de toma en el agua con flotadores que ayuden a la sustentación**



**(b) Parte superior de la Torre Multitoma donde se alojan los motores que accionan las barras de transmisión que aperturan las válvulas.**



Los motores se actúan mediante un cuadro situado dentro de una caseta hecha ad hoc para proteger los motores. Dicho cuadro se energizó con una línea desde las casetas de operación de las ataguías de los desagües de fondo situada a 80 metros de la caseta de la Torre Multitoma, ver figura 10 (b) y 11.

#### **4. Resultados**

Se realizaron satisfactoriamente las siguientes actuaciones:

- Modelización y construcción de Torre Multitoma.
- Colocación de válvulas en taller y parte de barras de transmisión.
- Desplazamiento a presa mediante transportes especiales en dos mitades.
- Montaje de dos mitades y la totalidad de barras de transmisión.
- Transporte en batea y cabeza tractora a coronación de presa con corte total de la carretera.
- Izado de Torre Multitoma mediante dos grúas de gran tonelaje.
- Introducción de Torre en agua y colocación de flotadores.
- Colocación de Torre y anclaje de la misma con submarinistas.
- Retirada de grúa de sustento una vez Torre Multitoma es autoportante.
- Colocación de estructura superior donde se alojan los motores.

- Construcción cerramiento caseta y energización de la misma.

**Figura 3. Imagen de obra terminada con la caseta de alojamiento de motores.**



## 5. Conclusiones

El objetivo de la actuación es la derivación de los caudales lo más cercano a la superficie de la lámina de agua, es por ello, que se necesita construir una Torre Multitoma exenta al cuerpo de presa la cual debe soportar esfuerzos gravitatorios, empujes de flotación, presiones exteriores, esfuerzos térmicos por soleamientos directos y esfuerzos de montaje por izados. Gracias a esta actuación se pueden utilizar aguas superficiales para riego en la Presa de Bellús lo que justifica esta obra.

Se utilizan métodos de cálculo que permiten, con elementos de diferentes geometrías y características, combinar las fuerzas actuantes con las tensiones admisibles de los materiales

La utilización de métodos de elementos finitos ayuda a modelizar y validar piezas, la toma de la Torre Multitoma en la actual embocadura de la presa de Bellús. Gracias al método de los coeficientes de seguridad se puede validar de manera fiable y rápida las tensiones admisibles en la Torre Multitoma.

La ejecución de la obra ha sido un proceso de colocación de la Torre Multitoma, mediante izado con dos grúas, siendo una singularidad añadida que también se debe tener en cuenta en el cálculo.

Se contó con sostenimiento mediante izado de grúa mientras los anclajes consiguen que sea autoportante. La colocación de flotadores ayudó a la colocación de la Torre en su ubicación definitiva.

Debido a la calidad de las aguas de los embalse españoles, eutrofizados, se prevé que este tipo de obras se realice con asiduidad.

## 6. Referencias

AutoFEM Analysis. Structural Finite Element Analysis for Autocad. Versión 3.1-7455 DE 29/07/2018. Publicado en: <https://autofem.com/es/>

ALEMANIA. Norma DIN. DIN 19704-1:2014-11. Hydraulic steel structures – Part 1: Criteria for design and calculation.

ALEMANIA. Norma DIN. DIN 931-1:1926-01. Hexagon head bolts with shank; M 1,6 to M 39; Product grade A and B.

ALEMANIA. RAL (Reichs-Ausschuß für Lieferbedingungen und Gütesicherung). Ral 2003.

ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMÉRICA. American Iron and Steel Institute (AISI). Clasificación AISI aceros inoxidables.

Benitez, A., Cantó, J., Martín, M., Martínez, J., Curiel, J. (2020). Proceedings from the International Congress on Project Management and Engineering. Asignación sostenible de recursos hídricos en humedales basada en parámetros físico-químicos. <http://dSPACE.aeipro.com/xmlui/handle/123456789/2485>

Cabañero, J., Martín, M., Curiel, J., Cantó, J. (2022). Proceedings from the International Congress on Project Management and Engineering. Análisis del diseño y ejecución de accionamientos de compuertas tainter de aliviadero de la presa de Bárcenas mediante elementos finitos. <http://dSPACE.aeipro.com/xmlui/handle/123456789/3143>

CHJ. Confederación Hidrográfica del Júcar. (2017). Comisaría de Aguas. Informe del Estado Tráfico del Embalse de Bellús.

CHJ. Confederación Hidrográfica del Júcar. (2019). Proyecto de Multitoma a diferentes niveles y conducto de suministro de caudales al cauce en el embalse de Bellús.

Cui, J., Xu, H., Cui, Y., Song, C., Qu, Y., Zhang, S., Zhang, H. (2023). Improved eutrophication model with flow velocity-influence function and application for algal bloom control in a reservoir in East China. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119209>

ESPAÑA. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. SNCZI-Inventario de Presas y Embalses, 2022. Disponible en: <https://sig.mapama.gob.es/snczi/index.html?herramienta=DPHZI>

Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses. Boletín Oficial del Estado, 14 de abril de 2021, núm. 89, pp.42480-42533.

FEMA. Federal Emergency Agency. (2004). Federal Guidelines for Dam Safety.

Chavez,P. (2007). Deriving reservoir operational strategies considering water quantity and quality objectives by stochastic fuzzy neural networks.  
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2006.11.011>

Suárez, L.M. (1982). Ingeniería de Presas. Obras de toma, descarga y desviación.

SPANCOLD. Comité Español de Grandes Presas (2005). Guía técnica de seguridad de presas nº1. Seguridad de presas.

SPANCOLD. Comité Español de Grandes Presas (2022). Gobernanza de Presas y Embalses.

USACE. U.S. Army Corps of Engineers. (2017). Manage of water control systems.

### **Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible**

